Juni 2014. Vol. 1 No. 1

ISSN 2356-5438D29

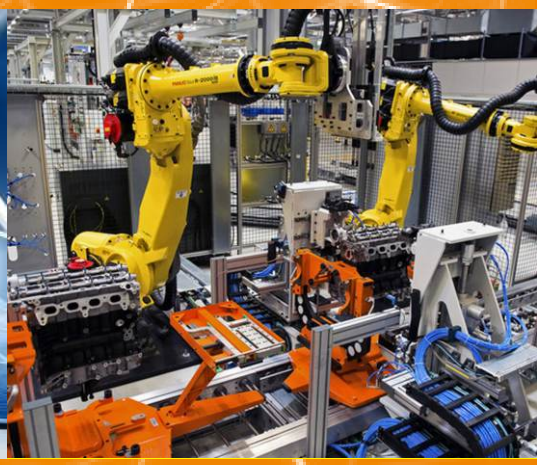
Jurnal Ilmiah

jurutera

Jurnal Umum Teknik Terapan
Fakultas Teknik Universitas Samudra







Akses jurnal online di:
www.teknik.unsam.ac.id

DEWAN REDAKSI

Penanggung Jawab:
Dekan fakultas Teknik Universitas Samudra

Ketua Penyunting
Ir. Syamsul Bahri Widodo, M.T., Universitas Samudra

Wakil Ketua Penyunting
Teuku Azuar Rizal, S.T.,M.T., Universitas Samudra

Penyunting Pelaksana
Elida Novita Lidya, S.T., M.Eng, Universitas Samudra
Taufan Arif Adlie, S.T.,M.T., Universitas Samudra
Subhan, S.T.,M.T. Universitas Samudra

Penyunting Ahli
Prof. Dr. T.M. Indra Mahlia, University of Tenaga (UNITEN) Malaysia
Prof. Dr. Ir. Yuwaldi Away, M.Sc., Universitas Syiah Kuala
Dr. Ir. Engkos Kosasih, M.T., Universitas Indonesia
Dr. Ir. Sofyan Saleh, M.Eng., Universitas Syiah Kuala
Dr. Ir. Syifaul Huzni, M.Eng., Universitas Syiah Kuala
Ir. Hamdani, M.T., Universitas Samudra
Ir. Hj. Yulina Ismida, M.T., Universitas Samudra
Asmadi Suria, S.T.,M.T., Universitas Samudra
Lely Masthura, S.T.,M.Eng., Universitas Samudra

Tata Pelaksana Usaha
Nasruddin, S.T.,M.T., Universitas Samudra
Wiki Sabardi, S.T.,M.T., Universitas Samudra
Ipak Neneng M.B., S.T.,M.T. Universitas Samudra

Sekretariat
Sumarni, S.T.
Hidayati, S.E.
Mardalena, S.E.

Jurnal Ilmiah
jurutera

ISSN 2356-5438.
Fakultas Teknik
Universitas Samudra.
Langsa, Aceh, 24416
Indonesia

©2014 Hak Cipta Dilindungi.

No	Judul [Penulis]	Halaman
1	Analisis Hubungan Komponen Technoware, Humanware, Infoware dan Organware, Dengan Kepuasan Kerja Karyawan yang Dimoderator Gaya Kepemimpinan pada PT. Ecogreen Oleochemicals Medan, [Wiky Sabardi, Dewiyana]	001 – 008
2	Perencanaan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) untuk Unit Desalinasi Air Laut di Wilayah Pesisir Kota Langsa [Syamsul Bahri W1, T. Kamaruzzaman, Razali Thaib]	009 – 013
3	Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung L. [Syamsul Bahri W, Taufan Arif Adlie, Hamdani]	014 – 017
4	Kajian Numerik Perbaikan Desain Pada Arah Aliran Jet Pump [Nasruddin, Zainal Arif, dan T. Azuar Rizal]	018 – 026
5	Kaji Eksperimental Pendinginan Panel Surya Menggunakan Media Udara [T. Azuar Rizal, Muhammad Amin, dan Puput Heri Saputra]	027 – 030
6	Analisa Perubahan Temperatur dan Kelembaban Relatif pada Inkubator Penetas Telur yang Menggunakan Fan dan Tidak Menggunakan Fan [Nasruddin, Zainal Arif]	031 – 035
7	Life Cycle Analysis pada Pembangkit Tenaga Listrik Mini Hidro di Lhoksandeng, Meuruedu, Pidie Jaya [Teuku Azuar Rizala, Nasruddin, Hamdani]	036 – 039
8	Kaji Eksperimental Unjuk Kerja Pengering Surya Tipe Lorong Untuk Mengeringkan Ikan [Syamsul Bahri Widodo, Muhammad Amin dan Hamdani]	040 – 045
9	Kaji Eksperimental Pemanfaatan Material Penyimpan Panas Pada Kolektor Pemanas Air Surya [Muhammad Zulfri, Razali Thaib, dan Hamdani]	046 – 049
10	Pengujian Unjuk Kerja Turbin Angin Type Savonius Dua Tingkat Delapan Sudu Lengkung U [Syamsul Bahri dan Suheri]	050 – 055
11	Kaji Eksperimental Kolektor Surya Dengan Parafin Sebagai Penyimpan Energi Panas [Zaini, Dailami dan Ahmad Syuhada]	056 – 065
12	Kaji Eksperimental Kolektor Surya Dilengkapi Material Penyimpan Energi Panas [Muhammad Amin, T.M.I Riayatsyah]	066 – 071
13	Perencanaan Ketel Uap Menggunakan Bahan Bakar Biomassa Sawit Dengan Kapasitas Uap 100 Ton/Jam Pada Daerah Aceh Selatan [Ibrahim dan Aqli Bill Haqqi]	072 – 076
14	Karakteristik Batubara Pada Cekungan Meulaboh Di Kabupaten Aceh Barat Dan Nagan Raya, Provinsi Aceh [Hamdani danYossi Oktarini]	077 – 084
15	Analisis Pemanfaatan Boil-Off Gas Sebagai Bahan Bakar Kapal Pengangkut Gas [T. Azuar Rizal, Hamdani dan Muhammad Amin]	085 – 096

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Analisis Hubungan Komponen Technoware, Humanware, Infoware Dan Organware, Dengan Kepuasan Kerja Karyawan yang Dimoderator Gaya Kepemimpinan pada PT. Ecogreen Oleochemicals Medan

Wiky Sabardi[1], Dewiyana[2]

[1,2)] *Jurusan Teknik Industri, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Analisis,
hubungan keterkaitan,
karakteristik teknologi

A B S T R A K

Keunggulan teknologi merupakan salah satu penggerak dari kompetisi, walaupun memang tidak semua perubahan teknologi dapat memberikan keuntungan strategis bagi perusahaan. PT. Ecogreen Oleochemicals Medan adalah suatu perusahaan manufaktur yang memproses minyak inti sawit menjadi bahan baku untuk pembuatan diterjen, sampho, sabun serta bahan baku industri farmasi. Dengan produk yang dihasilkannya adalah fatty acid, fatty alcohol, dan gliserin. Dalam menjalankan kegiatan operasi pengolahan, perusahaan membuat target produksi yang tertuang dalam tujuan perusahaan, tetapi target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan sampai saat ini selalu tidak terpenuhi. Hasil analisis dari penelitian ini memperlihatkan adanya hubungan keterkaitan faktor penguasaan karyawan terhadap aspek karakteristik teknologi dengan budaya perusahaan dan kepuasan kerja karyawan. Secara umum, gaya kepemimpinan atasan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan memiliki pengaruh yang kuat dibandingkan dengan penerapan aspek karakteristik teknologi perusahaan dalam hubungannnya dengan kepuasan kerja karyawan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan. Aspek karakteristik teknologi yang dimoderator dengan gaya kepemimpinan tidak mempengaruhi kepuasan kerja, tetapi gaya kepemimpinan tersebut mempengaruhi kepuasan kerja dengan semakin baiknya gaya kepemimpinan maka akan meningkatkan kepuasan kerja. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi manajemen perusahaan, untuk perbaikan disegala lini perusahaan, sehingga dengan sendirinya perusahaan tetap eksis dan mampu bersaing dengan industri oleochemical lainnya

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Dalam menghadapi era globalisasi dan persaingan industri yang semakin ketat, perusahaan harus memiliki tingkat performansi yang tinggi. Keunggulan teknologi merupakan salah satu penggerak dari kompetisi tersebut, walaupun memang tidak semua perubahan teknologi dapat memberikan keuntungan strategis bagi perusahaan.

PT. Ecogreen Oleochemicals Medan adalah suatu perusahaan yang memproses minyak inti sawit menjadi bahan baku untuk pembuatan diterjen, sampho, sabun serta bahan baku industri farmasi. Produk yang dihasilkannya adalah fatty acid, fatty alcohol, dan gliserin. Pabrik ini berada didesa Gabion, kelurahan Bagan Deli, kecamatan Medan – Belawan. Pabrik ini dibangun menggunakan proses teknologi dari Jerman Barat, sedangkan peralatan dan mesin-mesin disuplay dari Eropa barat, dan Amerika Serikat.

Dalam menjalankan kegiatan operasi pengolahan, perusahaan membuat target produksi yang tertuang dalam tujuan perusahaan, tetapi target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan sampai saat ini selalu tidak dapat terpenuhi. Adapun salah satu faktor yang menjadi

Alamat e-mail: wikysabardi@ymail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

penyebabnya adalah model dari gaya kepemimpinan atasan tersebut

Pola kepemimpinan atasan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan terlihat sangat berpengaruh, hal ini dapat terlihat ketika mengatasi troble shoting yang terjadi, yang memerlukan kordinasi dengan pihak yang terkait, yang mengakibatkan birokrasi yang panjang, demikian juga dengan perawatan dan perbaikan peralatan memerlukan waktu yang lama, disebabkan karena kurang lengkapnya ketersediaan spare part di gudang

Dengan melakukan analisis terhadap aspek penguasaan kandungan teknologi dapat memperlihatkan adanya indikasi kekuatan dan kelemahan dari hubungan teknologi dengan kedinamisan proses transformasi ditingkat perusahaan

Mengingat pentingnya perusahaan dalam mencapai target produksi tersebut untuk memenuhi pasar dan permintaan konsumen maka perusahaan perlu segera menemu kenali upaya-upaya yang efektive untuk mengatasinya khususnya, dalam pemanfaatan teknologi yang telah dikembangkan.

Problematika utama yang akan menjadi dasar penelitian ini adalah rendahnya kemampuan pencapaian target produksi yang dapat diperoleh dari perusahaan, untuk itu berbagai faktor perlu diidentifikasi, terutama yang berhubungan dengan technoware, humanware, infoware, organware, dan kepuasan kerja karyawan sehingga penelitian ini akan mengidentifikasi keterkaitan hubungan dan pengaruh antara technoware, humanware, infoware dan organware dengan performansi perusahaan di PT Ecogreen Oleochemicals Medan

Sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah: Merumuskan hubungan antara technoware, humanware, infoware dan organware dengan persepsi karyawan terhadap tingkat kepuasan kerja karyawan, Demikian juga pengaruh terhadap pengaruh gaya kepemimpinan atasan terhadap tingkat kepuasan kerja karyawan.

Diharapkan, penelitian ini dapat memberikan pelengkap terhadap pihak manajement mengenai perubahan dan terobosan yang sangat diperlukan untuk peningkatan kompetensi karyawan

Penelitian hanya berfokus pada aspek karakteristik teknologi yang meliputi penilaian kecanggihan technoware, penilaian kecanggihan humanware, penilaian kecanggihan infoware dan penilaian kecanggihan organware tanpa mencari penyebab terjadinya perbedaan unsur-unsur dominan, pembahasan tersebut hanya berdasarkan teori

2. Tinjauan Literatur

2.1. Konsep Teknologi

2.1.1. Pengertian Teknologi

Ada beberapa kriteria yang dapat dikembangkan untuk melakukan penilaian terhadap aspek penguasaan kandungan teknologi dari suatu perusahaan. Salah satu kriteria yang dapat digunakan adalah kriteria yang dikembangkan oleh United Nations-Economic and Social Commision for Asia and The Pasific (UNECAP 1989), dalam Technology Atlas Project

Technology Atlas Project (1989) berawal dari dasar pemikiran bahwa teknologi merupakan variabel strategik penting dalam perkembangan sosio-ekonomi pada lingkungan internasional yang semakin kompetitif saat kini.

Selanjutnya Technology Atlas Project (1989) bertujuan untuk :

1. Menawarkan alat analisis pembantu keputusan (decision support tool) dalam bentuk suatu metodologi untuk mengintegrasikan pertimbangan teknologi dalam pengembangan proses perencanaan.
2. Mengembangkan alat ukur untuk area-area penting yang masih belum memperoleh perhatian yang cukup memadai
3. Berusaha menjadi jembatan dimana pendekatan analitikal dapat diperkenalkan untuk formulasi dan perbaikan dari kebijakan-kebijakan dan rencana-rencana teknologi

Technology Atlas Project (1989) mengembangkan kerangka yang telah mengintegrasikan pertimbangan-pertimbangan teknologi kedalam suatu metodologi yang disebut techno-economic atau disebut pula sebagai model Teknometrik.

Metodologi yang dikembangkan oleh Technology Atlas Project tersebut memberikan penekanan pada pandangan bahwa teknologi merupakan kombinasi dari peralatan-peralatan fisik dan pengetahuan know-how yang saling berhubungan. Metodologi dari analisis kandungan teknologi merupakan pendekatan kuantitatif untuk mengukur kontribusi teknologi dari komponen teknologi pada proses transformasi.

Technology Atlas Project (1989) melihat teknologi sebagai inti dari aktivitas transformasi suatu input menjadi output. Input dari aktivitas transformasi tersebut masuk kedalam suatu elemen dengan tingkat kandungan teknologi yang lebih tinggi. Maka perbedaannya terletak pada pertambahan kandungan teknologinya.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Menurut Technology Atlas Project (1989). Penentuan status kecanggihan komponen teknologi pada suatu fasilitas transformasi (perusahaan) akan membutuhkan pengetahuan mendalam mengenai aspek-aspek teknis yang berhubungan dengan suatu spesifikasi kinerja. Penentuan status kecanggihan komponen teknologi ini membutuhkan input-input yang dipertimbangkan oleh para teknisi, operator dan spesialis lainnya yang mengetahui secara baik aspek-aspek operasional.

2.2. Komponen-komponen Dasar Teknologi

Menurut United Economic and Social Commision for Asia and Pacifik (UNESCAP 1989) dalam Technologi Atlas Project, teknologi dapat dipandang dalam konteks produksi sebagai kombinasi dari empat komponen yang berintegrasi secara dinamis dalam suatu proses transformasi. Keempat komponen dasar tersebut adalah fasilitas rekayasa (facilities), kemampuan insani (abilities), informasi (fact), dan organisasi (frame works).

Menurut Technology Atlas Project (1989) Dalam suatu proses transformasi, keempat komponen teknologi diperlukan secara simultan. Tidak ada proses transformasi yang dapat dilakukan tanpa salah satu dari komponen tersebut. Keempat komponen dasar tersebut akan dijelaskan berikut ini :

4. Fasilitas rekayasa yang disebut technoware, merupakan object-embodied technology. Fasilitas rekayasa mencakup peralatan (tools), perlengkapan (equipments), mesin-mesin (machine), alat pengangkutan (vehicles), dan instruktur fisik (physical intrastructur).
5. Kemampuan insani, yang disebut humanware, merupakan person-embodied technology. Kemampuan insani ini mencakup pengetahuan (knowledge), keterampilan (skills), kebijakan (wisdom), kreativitas (creativity), dan pengalaman (experience).
6. Informasi yang disebut infoware, merupakan document-embodied technology. Informasi berkaitan dengan proses (proceses), prosedur (procedures), teknik (techniques), metode (methods), teori (theory), spesifikasi (specifications), pengamatan (observation), dan keterkaitan (relationship).
7. Organisasi, yang disebut organware, merupakan institution-embodied technology. Organisasi mencakup praktek-praktek manajemen (managements practises), linkages, dan pengaturan organisasional (organizational arrangements).

Menurut Technology Atlas Project (1989) Keempat komponen teknologi tersebut berkaitan satu sama lainnya. Keterkaitan keempat komponen teknologi tersebut adalah sebagai berikut :

8. Technoware merupakan inti dari sistem transformasi. Technoware dibangun, disiapkan, dan dioperasikan oleh humanware.
9. Humanware merupakan elemen kunci dari suatu operasi transformasi. Humanware menggunakan infoware dalam menjalankan operasi transformasi.
10. Infoware juga digunakan oleh humanware dalam melakukan pembuatan keputusan dan dalam mengoperasikan technoware.
11. Organware mengarahkan dan mengendalikan infoware, humanware, dan technoware dalam menjalankan operasi trasnformasi.

Menurut Technology Atlas Project (1989) Dalam suatu kegiatan transformasi, masing-masing komponen teknologi tersebut mempunyai tingkat sofistifikasi. Suatu variasi tingkat sofistifikasi, dalam masing-masing komponen teknologi, dapat terjadi karena empat hal berikut:

12. Kompleksitas operasi yang meningkat menyebabkan kebutuhan untuk mengembangkan dan menggunakan technowere dengan tingkat sofistifikasi yang lebih tinggi.
13. Kebutuhan atas keterampilan akan meningkat untuk membangun, memperbaiki, memasang, dan mengoperasikan technoware dengan tingkat sofistifikasi yang bervariasi, juga membutuhkan humanware dengan sofistifikasi yang berbeda.
14. Karena tingkat sofistifikasi technoware dan humanware meningkat, sofistifikasi infoware yang dibutuhkan sebagai acuan juga meningkat.
15. Karena adanya peningkatan jumlah dan ruang lingkup operasi dalam kegiatan transformasi maka fungsi-fungsi manajemen akan semakin kompleks. Hal ini menyebabkan tingkat sofistifikasi yang dibutuhkan dalam organware untuk mengintegrasikan technoware, humanware, dan infoware akan semakin tinggi.

2.2.1. Penilaian Kecanggihan Teknologi

Menurut United Economic and Social Commision for Asia and Pacifik (UNESCAP 1989) dalam Technologi Atlas Project, penentuan status komponen teknologi untuk suatu bagian fasilitas transformasi, yang bersesuaian dengan penilaian kecanggihan, membutuhkan pengetahuan

yang mendalam mengenai teknik dan spesifikasi performansi yang berkaitan. Kriteria umum yang dapat digunakan sebagai acuan pemilihan pengukuran yang spesifik, perlu ditetapkan untuk melakukan penilaian kecanggihan dari keempat komponen teknologi dari suatu fasilitas transformasi, adapun kriterianya dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 1. Penilaian Kecanggihan Technoware

Kriteria		Deskripsi
Kompleksitas operasi	:	Kompeksitas operasi yang dinilai dari berbagai aspek, seperti tingkat keluaran keragaman produk, keragaman masukan material, temperatur, dan tekanan pada operasi.
Presisi	:	Toleransi spesifikasi yang diperbolehkan yang berkaitan dengan dimensi, atribut material, parameter proses, atribut komponen, dan lingkungan operasi.
Penanganan bahan	:	Penilaian yang meliputi sifat-sifat fisik (status, mampu alir, ukuran unit, konfigurasi geometrik, kekerasan, tingkat korositas, keawetan) dari material yang dipindahkan dan kebutuhan pemindahan (rute, metode, kecepatan periodik) dengan memperhatikan material yang dipindahkan.
Pengendalian proses	:	Tingkat dan kesulitan pengendalian pemeriksaan dengan memperhatikan peraturan lingkungan, peraturan keselamatan, tingkat standarisasi, pemantauan kualitas, pemantauan proses.
Kontribusi fasilitas rekayasa	:	Kontribusi fasilitas rekayasa dalam perencanaan, pembuatan, pengoperasian, dan pemasaran.

Tabel 2. Penilaian Kecanggihan Humanware.

Kriteria		Deskripai
Kreativitas	:	Kemampuan berkreasi yang dinilai berdasarkan berbagai aspek seperti kecerdasan, imajinasi dan intuisi.
Orientasi berprestasi	:	Keinginan untuk mencapai prestasi yang dinilai berdasarkan aspek-aspek seperti orientasi, keberhasilan, keberanian, sifat kompetitif, dan dinamika.
Orientasi bekerja sama	:	Kemampuan bekerja sama, yang dinilai berdasrkan aspek-aspek seperti semangat kelompok, penghargaan atas bantuan orang lain, kepekaan sosial, dan penghargaan atas martabat tenaga kerja.
Orientasi melakukan efisiensi	:	Keinginan untuk melakukan kerja secara efisien, yang dinilai berdasarkan aspek-aspek seperti kemauan bekerja keras, kesadaran, dan kemauan menerima tanggung jawab.
Kemampuan menghadapi resiko	:	Kecenderungan untuk menanggung resiko, yang dinilai berdasarkan aspek-aspek seperti kemauan bereksperimen, kesediaan untuk berubah, dan kemauan untuk mengambil inisiatif.
Kedisiplinan	:	Menghargai waktu dan cenderung menggunakannya sebagai sumber daya yang bernilai, yang terlihat dari berbagai aspek seperti pencapaian sasaran berdasarkan waktu, dan fokus ke masa depan

Tabel 3. Penilaian Kecanggihan Orgaware

Kriteria		Deskripsi
Efektivitas kepemimpinan	:	Kemampuan organisasi untuk memotivasi karyawan melalui keputusan yang efektif yang terlihat dalam sasaran organisasi dan pasibilitas management puncak
Otonomi kerja	:	Tingkat kemandirian yang diberikan pada karyawan yang dinilai berdasarkan aspek pendelegasian tugas, sistem kerja informal.
Pengarahan organisasi	:	Perusahaan yang secara keseluruhan diberi arah seperti yang terlihat melalui perhatian pada perencanaan, pemikiran strategik, umpan balik dan pengendalian kerja yang seksama.
Keterlibatan organisasional	:	Karyawan dilibatkan dalam organisasi, seperti terlihat pada aspek-aspek kebanggaan dalam persahabatan, komunikasi dalam organisasi yang baik, kesempatan untuk berkembang, dan penghargaan pada individu dan kelompok.
Orientasi terhadap stakeholder	:	Organisasi berkomitmen memenuhi harapan stakeholder (pelanggan, pemegang saham, karyawan, pemasok, pemerintah, dan masyarakat umum).
Iklim inovasi	:	Iklim inovasi dalam organisasi, yang dinilai berdasarkan aspek-aspek seperti penilaian, perbandingan kinerja, penelitian dan pengembangan yang terarah, perspektif internasional, orientasi teknologi dan kepekaan untuk berubah dalam lingkungan bisnis.
Integritas organisasi	:	Integritas dari tindakan organisasi, yang merupakan kesesuaian antara rencana atau komitmen dengan tindakan nyata organisasi, yang dapat dinilai dari aspek-aspek seperti pelaksanaan etika bisnis dan penghargaan atas prestasi secara nyata.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan nilai validitas

Validitas adalah untuk menunjukkan tingkat/derajat sebagai bukti pendukung kesimpulan yang ditarik dari skor yang diturunkan dari ukuran atau tingkat skala yang seharusnya diukur. Kalau kita menarik kesimpulan bahwa skor pada suatu pengukuran mencerminkan tingkat kepuasan, maka kita perlu informasi untuk menilai seberapa baik kesimpulan itu didukung.

Validitas ini bertujuan untuk membuktikan valid tidaknya data tersebut, dan yang dibandingkan adalah nilai r hitung dengan r tabel. Berikut ini akan dipaparkan nilai untuk validitas X1 dalam tabel 5.1.

Tabel 5.1. Tabel rekapitulasi nilai validitas X1

Rasio	X1-1	X1-2	X1-3	X1-4	X1-5	X1-6	X1-7	X1-8
r hitung	0.502	0.480	0.180	0.457	0.498	0.299	0.397	0.394

Rasio	X1-9	X1-10	X1-11	X1-12	X1-13	X1-14	X1-15	X1-16
r hitung	0.380	0.514	0.509	0.441	0.590	0.633	0.553	0.612

Rasio	X1-17	X1-18	X1-19	X1-20	X1-21	X1-22	X1-23	X1-24
r hitung	0.433	0.485	0.542	0.511	0.286	0.338	0.398	0.406

Rasio	X1-25	X1-26	X1-27	X1-28	X1-29	X1-30	X1-31	X1-32
r hitung	0.359	0.336	0.490	0.275	0.368	0.445	0.274	0.395

Keterangan:

X1 – 1 = Output perusahaan dihasilkan dari suatu proses produksi yang cukup kompleks

X1 – 2 = Proses produksi perusahaan menghasilkan berbagai macam variasi (jenis) output.

X1 – 3 = Proses produksi memerlukan input material yang beragam atau bervariasi.

X1 – 4 = Input-input material yang dibutuhkan dalam proses produksi, telah melalui proses penentuan spesifikasi dengan kriteria tertentu sebelumnya.

X1 – 5 = Proses produksi menuntut tingkat toleransi yang terbatas serta ketepatan spesifikasi yang tinggi.

X1 – 6 = Proses produksi hanya bisa dilakukan pada lingkungan operasi spesifik tertentu

X1 – 7 = Saya merasa telah menguasai dengan baik sifat-sifat fisik input material yang dibutuhkan proses produksi.

X1 – 8 = Saya merasa telah menguasai dengan baik rute (jalur) pemindahan material dalam proses produksi.

X1 – 9 = Saya merasa telah menguasai dengan baik metode yang digunakan untuk pemindahan material dalam proses produksi

.X1 – 10 = Pengendalian (kontrol) terhadap proses produksi telah memperhatikan aspek-aspek dan peraturan mengenai lingkungan.

.X1 – 11 = Pengendalian / kontrol terhadap proses operasi produksi telah memperhatikan aspek-aspek dan peraturan mengenai keselamatan kerja..

.X1 – 12 = Proses produksi menuntut tingkat standarisasi yang tinggi

X1 – 13 = Telah ada proses pemantauan terhadap aspek kualitas output yang dihasilkan dari proses produksi.

X1 – 14 = Para karyawan dituntut untuk memiliki potensi kecerdasan yang memadai dalam hal penguasaan teknologi yang berhubungan dengan proses produksi

X1 – 15 = Para karyawan dituntut untuk memiliki potensi imajinasi dan intuisi yang cukup dalam hal penguasaan teknologi yang berhubungan dengan proses produksi.

X1 – 16 = Saya memiliki orientasi pada keberhasilan dalam usaha mencapai prestasi kerja.

X1 – 17 = Saya memiliki sikap kompetitif dan sikap dinamis dalam usaha mencapai prestasi kerja.

X1 – 18 = Saya lebih bersemangat untuk bekerja secara berkelompok dibandingkan dengan bekerja sendiri

X1 – 19 = Dalam menjalin kerjasama, saya sangat menghargai bantuan yang diberikan oleh orang lain dalam menyelesaikan pekerjaan.

X1 – 20 = Saya memiliki rasa kepekaan sosial yang tinggi dalam menjalin kerjasama.

X1 – 21 = Saya berusaha untuk bekerja seefisien mungkin

X1 – 22 = Saya memiliki tanggung jawab untuk selalu berusaha melakukan pekerjaan seefisien mungkin.

X1 – 23 = Saya bersedia menimba pengalaman dengan melakukan eksperimen / percobaan dengan hal yang berhubungan dengan pekerjaan.

X1 – 24 = Saya punya keinginan untuk berusaha memperbaiki diri dalam hal yang berhubungan dengan pekerjaan

X1 – 25 = Saya memiliki keinginan untuk mengambil inisiatif dalam hal yang berhubungan dengan pekerjaan.

X1 – 26 = Saya memiliki keinginan untuk mencapai sasaran kerja berdasarkan waktu yang telah ditetapkan.

X1 – 27 = Saya selalu berusaha menghargai waktu dengan cara berorientasi kemasa depan.

X1 – 28 = Saya merasa metode penyimpanan informasi perusahaan mudah untuk dikuasai.

X1- 29 = Dengan penguasaan saya terhadap metode penyimpanan informasi tersebut, saya merasa mudah untuk melakukan proses pencarian dan penggunaan informasi yang diperlukan.

X1 – 30 = Saya merasa adanya hubungan keterkaitan yang jelas antara perusahaan dengan karyawan perusahaan.

X1 – 31 = Perusahaan selalu menjamin informasi yang tepat dan *up to date* karena kesempatan untuk memperbaharui informasi tersebut sangat terbuka.

X1 – 32 = Cara berkomunikasi yang digunakan perusahaan mudah untuk dilakukan.

Hasil Validitas untuk X2 dapat kita lihat dari table 5.2.

Tabel 5.2. Tabel rekapitulasi nilai validitas X2

Rasio	X2 - 1	X2 – 2	X2 - 3	X2 – 4	X2 – 5
r hitung	0.669	0.145	0.266	0.769	0.741

Rasio	X2 - 6	X2 – 7	X2 - 8	X2 – 9	X2 - 10
r hitung	0.744	0.818	0.717	0.603	0.396

Keterangan:
X2 – 1 = Atasan saya biasa memberikan pengarahan khusus sehingga bawahan mengetahui dengan tepat apa yang diharapkan dari diri mereka.
X2 – 2 = Atasan saya biasa menentukan sendiri tentang bagaimana para bawahan menyelesaikan pekerjaannya.
X2 – 3 = Atasan saya biasa mengatur jadwal pekerjaan yang harus diselesaikan para bawahannya.
X2 – 4 = Atasan saya biasa menunjukkan sikap yang ramah serta memberikan pengertian yang sungguh-sungguh untuk mendukung bawahan.
X2 – 5 = Atasan saya sering memberikan bantuan pada bawahan dalam menyelesaikan pekerjaan.
X2 – 6 = Atasan saya sering mendorong bawahan untuk percaya diri dalam melaksanakan tugas.
X2 – 7 = Atasan saya sering berkonsultasi dan melibatkan bawahan dalam proses pengambilan keputusan.
X2 – 8 = Atasan saya sering meminta saran, usulan, dan gagasan dari bawahan.
X2 – 9 = Atasan saya memberikan sasaran kerja yang menantang bagi bawahan.
X2 – 10 = Atasan saya selalu menuntut kinerja yang tinggi dari para bawahan.

Hasil nilai Validitas untuk X4 dapat kita lihat dari table 5.3.

Tabel 5.3. Tabel rekapitulasi nilai validitas X4

Rasio	X4 - 1	X4 – 2	X4 - 3	X4 - 4	X4 - 5
r_{hitung}	0.647	0.646	0.423	0.555	0.644

Rasio	X4 -6	X4 -7	X4 –8	X4 -9	X4 -10	X4-11
r_{hitung}	0.743	0.440	0.542	0.606	0.719	0.044

Keterangan :
X4 – 1 = Pekerjaan saya telah memberikan kesempatan bagi saya untuk menggunakan keahlian dan kemampuan saya secara maksimal
X4 – 2 = Pekerjaan saya menawarkan berbagai macam variasi tugas dan saya memiliki kesempatan untuk melakukan tugas yang sesuai dengan kemampuan saya sendiri
X4 – 3 = Sistem upah/gaji perusahaan adalah wajar dan adil sesuai dengan tingkat keahlian dan standart upah yang ada
X4 – 4 = Perusahaan memiliki kebijakan promosi yang jelas
X4 – 5 = Karyawan merasa nyaman dengan lingkungan kerja dan membuat pekerjaan dapat diselesaikan dengan baik
X4 – 6 = Perusahaan telah menyediakan peralatan keselamatan kerja yang lengkap yeng menjamin keselamatan, kesehatan dan keamanan di lingkungan fisik pekerjaan
X4 – 7 = Rekan kerja saya memiliki sikap yang ramah dan saya memiliki kemudahan untuk dapat membentuk persahabatan yang erat dengan rekan kerja saya
X4 – 8 = Atasan saya memiliki sikap yang pengertian, suka memberi pujian atas kinerja saya yang bagus
X4 – 9 = Pengetahuan teknis atasan saya lebih baik dari saya
X4 – 10 = Atasan saya selalu berusaha untuk memperhatikan pendapat dan keluhan saya
X4 – 11 = Apakah Anda merasa perlu untuk pindah dari tempat pekerjaan anda saat ini

3.2. Perhitungan nilai reliability

Reliability menunjukan pada suatu pengertian bahwa suatu instrument cukup dapat dipercaya untuk digunakan sebagai alat pengumpul data karena instrument tersebut sudah baik, dan ini dapat dilihat dari kekonsistenan responden untuk menjawab pertanyaan, jika diberikan pertanyaan yang sama pada periode waktu berikutnya.

Reliability ini menunjukan pada tingkat keterandalan sesuatu, yang didefinisikan sebagai seberapa jauh pengukuran bebas dari varian kesalahan acak (free from random – error variance), kesalahan acak akan menurunkan tingkat keandalan hasil pengukuran

Hasil untuk perhitungan reliability statistics X1 dapat kita lihat pada table 5.4.

Tabel 5.4. Tabel perhitungan nilai reliability X1

Cronbach's Alpha	N of items
0.732	33

Hasil untuk perhitungan reliability statistics X2 dapat kita lihat pada table 5.5.

Tabel 5.5. Tabel perhitungan nilai reliability X2

Cronbach's Alpha	N of items
0.748	11

Hasil untuk perhitungan reliability statistics X4 dapat kita lihat pada table 5.6.

Tabel 5.6. Tabel perhitungan nilai reliability X4

Cronbach's Alpha	N of items
0.734	12

3.3. Modifikasi Model

Untuk Model 1, model regresi linier X2, untuk mendapatkan model ini dapat kita ambil acuan dari table 5.7.

Tabel 5.7. Tabel coefficients untuk model regresi linier X2

Model	Unstandardized Coefficients		Std. Coef.	t	Sig
	B	Std. Error	Beta		
1(Constant)	24.876	6.210		4.006	0.000
Total X1	0.093	0.048	0.167	1.927	0.056

Dependent variabel : Total X4

X4 = 24.876 + 0. 093 X1
X1 = Aspek Karakteristik Teknologi
X4 = Kepuasan Kerja

Untuk model ini aspek karakteristik teknologi tidak mempengaruhi kepuasan kerja. Semakin besar X1 maka akan semakin besar juga nilai X4, artinya nilai X1 mempengaruhi nilai X4. Untuk pembuktiannya dapat kita lihat bahwa nilai signifikan lebih besar dari α (0.05)

Untuk Model 2, model regresi linier X4, untuk mendapatkan model ini dapat dilihat dari table 5.8.

Tabel 5.8. Tabel coefficients untuk model regresi linier X4

Model	Unstandardized Coefficients		Std. Clef.	t	Sig
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	15.770	5.855		2.693	0.008
Total X1	0.025	0.045	0.046	0.561	0.576
Total X2	0.513	0.094	0.445	5.483	0.000

Dependent variabel : Total X4

X4 = 15.770 + 0.025 X1 + 0.513 X2
X1 = Aspek Karakteristik Teknologi
X2 = Aspek Gaya Kepemimpinan
X4 = Kepuasan Kerja

Untuk model ini aspek karakteristik teknologi dengan gaya kepemimpinan tidak mempengaruhi kepuasan kerja, tetapi gaya kepemimpinan tersebut mempengaruhi kepuasan kerja. Walaupun aspek karakteristik teknologi dengan gaya kepemimpinan yang semakin baik kurang mempengaruhi kepuasan kerja, tetapi untuk semakin baik gaya kepemimpinan akan semakin meningkatkan kepuasan kerja. Untuk pembuktiannya dapat kita lihat bahwa nilai signifikan lebih kecil dari α (0.05)

3.4. Pembahasan Terhadap Model - Model

3.4.1. Untuk Model 1

Keterkaitan Aspek Karakteristik Teknologi terhadap kinerja perusahaan diukur melalui persepsi karyawan terhadap tingkat kepuasan kerja

Temuan penelitian

1. Penguasaan karyawan terhadap aspek karakteristik object embedded technology yang mencakup fasilitas rekayasa berupa kompleksitas operasi, presisi, penanganan bahan serta pengendalian proses bukan merupakan pendorong terciptanya kepuasan kerja karyawan
2. Penguasaan karyawan terhadap aspek karakteristik human embedded technology yang mencakup kemampuan berwujud maya yang berupa kompetensi yang melekat pada diri manusia ternyata tidak dapat menciptakan kepuasan kerja karyawan
3. Penguasaan karyawan terhadap aspek karakteristik document embedded technology yang berwujud informasi yang diwadahi oleh sistem dan organisasi tidak mampu untuk mendorong terciptanya kepuasan kerja karyawan

Pengaruhnya adalah sebagai berikut:

1. Kepuasan kerja karyawan PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant cenderung memiliki aspek kondisi kerja yang mendukung (*Supportive Conditions*). Kondisi kerja yang mendukung tersebut terutama dalam hal tersedianya peralatan keselamatan kerja yang lengkap yang menjamin keselamatan kesehatan dan keamanan di lingkungan fisik pekerjaan.
2. Secara keseluruhan kepuasan kerja karyawan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant cukup baik. Penguasan yang dimiliki karyawan atas penerapan karakteristik teknologi secara umum tidak memiliki pengaruh yang cukup signifikansi dalam membentuk kepuasaan kerja karyawan.

Dari uraian diatas dapat diketahui beberapa hal mengenai keterkaitan aspek karakteristik teknologi terhadap kinerja perusahaan yang diukur melalui persepsi karyawan terhadap tingkat kepuasan kerja karyawan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant

1. Terbukti bahwa tidak terdapat keterkaitan antara aspek karakteristik teknologi dengan kinerja perusahaan yang diukur melaui persepsi karyawan terhadap tingkat kepuasan kerja
2. Tingkat penguasaan atas fasilitas produksi menunjukan tingkat penguasaan teknologi yang tinggi. Dengan penguasaan karyawan yang semakin tinggi maka persepsi umum yang dimiliki karyawan akan semakin baik tetapi ini tidak dapat meningkatkan kepuasan kerja karyawan
3. Kondisi kerja seperti dalam hal tersedianya peralatan keselamatan, kesehatan dan keamanan lingkungan fisik pekerjaan sifatnya hanya membantu pekerjaan tetapi tidak menimbulkan kepuasan kerja karyawan
4. Tingkat akses dan penguasaan atas aspek informasi yang tinggi hanya mendukung untuk terciptanya lingkungan kerja yang positif tetapi tidak meningkatkan kepuasan kerja karyawan.

3.4.2. Untuk Model 2

Keterkaitan aspek karakteristik teknologi terhadap kinerja perusahaan diukur melalui persepsi karyawan terhadap tingkat kepuasan kerja yang dimoderasi oleh variabel gaya kepemimpinan

Temuan penelitian

Gaya kepemimpinan atasan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant belum memberikan pengaruh yang baik terhadap pembentukan kepuasan kerja karyawan.

Secara umum gaya kepemimpinan atasan belum dapat memperkuat hubungan antara karakteristik teknologi dengan kepuasan kerja karyawan. Pengaruhnya adalah sebagai berikut :

1. Secara umum, gaya kepemimpinan atasan meiliki tingkat pengaruh yang lebih kuat dibandingkan penerapan karakteristik teknologi perusahaan dalam hubungannnya dengan kepuasan kerja karyawan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant
2. Dengan demikian bila PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant ingin meningkatkan kepuasan kerja karyawannya, faktor gaya kepemimpinan atasan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan. Karena partisipasi aktif dari atasan diharapkan meningkatkan kepuasan kerja karyawannya.

Uraian diatas menjelaskan mengenai keterkaitan aspek karakteristik teknologi terhadap kinerja perusahaan yang diukur melalui persepsi karyawan terhadap kepuasan kerja yang dimoderator oleh gaya kepemimpinan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant

1. Aspek karakteristik teknologi yang dimoderator dengan gaya kepemimpinan tidak mempengaruhi kepuasan kerja, tetapi gaya kepemimpinan tersebut mempengaruhi kepuasan kerja
2. Gaya kepemimpinan yang baik kurang mempengaruhi kepuasan kerja, tetapi dengan semakin baiknya gaya kepemimpinan maka akan meningkatkan kepuasan kerja

4. **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Tidak adanya keterkaitan antara aspek karakteristik teknologi dengan kinerja perusahaan yang diukur melaui persepsi karyawan terhadap tingkat kepuasan kerja karyawan PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant. Secara keseluruhan kepuasan kerja karyawan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant cukup baik.
2. Adanya keterkaitan antara aspek karakteristik teknologi dengan kinerja perusahaan yang diukur melalui persepsi karyawan terhadap kepuasan kerja karyawan PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant yang dimoderator oleh gaya kepemimpinan. Secara umum gaya kepemimpinan atasan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant belum dapat memperkuat hubungan antara karakteristik teknologi dengan kepuasan kerja karyawan, akibatnya gaya kepemimpinan dari seorang atasan di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant belum dapat menghasilkan pengaruh yang cukup baik terhadap pembentukan kepuasan kerja karyawan.
3. Aspek karakteristik teknologi yang dimoderator dengan gaya kepemimpinan tidak mempengaruhi kepuasan kerja, tetapi gaya kepemimpinan tersebut mempengaruhi kepuasan kerja, dengan semakin baiknya gaya kepemimpinan seorang atasan maka akan meningkatkan kepuasan kerja karyawan PT. Ecogreen Oleochemicals Medan Plant

DAFTAR PUSTAKA

Babcock, Daniel L., *Managing Engineering and Technology*, Second edition, Printice-Hall, Inc, New Jersey, 1996

Betz, Frederick, *Strategtic Technology Management*, McGraw-Hill Companies, New York, 1993

Hair, Joseph et.all, *Multivariate Data Analysis*, Fifth Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1998

Khalil, Tarek M., *Management of Technology : The key to Competitiveness and Wealth Creation*, McGraw-Hill Companies, Inc., 2000

Narayan, V. K., *Managing Technology and Inovation for Competitive Advantage*, Prentice-Hall, Inc., 2001

Richardus Eko Indrajit., *Pengantar Konsep Dasar Manajemen Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, Elek Media, Jakarta

Robert A. Bulgelman and Modesto A. Maidique, Homewood, Illinois., *Strategic Management of technologi and Innovation*, Irwin, 1983

S. Sibarani., *Management Teknologi*, Lentera Zaman

Technology Atlas Project : An Overview of the Framework for Technology-based, Development Economic and Social Commision for Asia and Pasific (ESCAP), United Nations, 1989.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Perencanaan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) untuk Unit Desalinasi Air Laut di Wilayah Pesisir Kota Langsa

Syamsul Bahri W[1], T. Kamaruzzaman[2], Razali Thaib[3]

[1,2)] *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Meurandeh, Langsa, Aceh, 24416*

[3)] *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim tgl Bulan Tahun
Direvisi dari tgl Bulan Tahun
Diterima 00 February 00

Kata Kunci:
Desalinasi air laut,
Kebutuhan energi,
Optimasi pembangkit tenaga hibrid,
Biaya Energi,
Tarif air bersih.

A B S T R A K

Kota langsa memiliki luas 262,4 km^2 dengan jumlah penduduk 157.011 jiwa. Penyediaan air bersih bagi penduduk Kota Langsa dilakukan oleh PDAM Tirta Keumuneng dengan jumlah air 3,1 juta m^3/tahun, jumlah penduduk terlayani hanya 40%. Salah satu daerah yang belum terlayani adalah wilayah pesisi Kota Langsa yang berjarak ± 17 km dari sumber air bersih. Seiring dengan pertambahan penduduk dan berkurangnya sumber air mengakibatkan masyarakat wilayah pesisir sangat sulit memperoleh pelayanan air bersih dari PDAM Tirta Keumuneng. Salah satu cara untuk menyediakan sumber air bersih untuk wilayah tersebut adalah dengan memasang unit desalinasi air laut. Wilayah pesisir Kota Langsa memiliki potensi energi angin dan energi surya yang cukup baik yang ditunjukkan oleh kecepatan angina rata-rata tahunan berkisar 5-6,2 m/dtk, dan radiasi surya berkisar 3,6-4,5 kWh/m^2/hari. Pada kajian ini telah dilakukan perancangan sistem pembangkit listrik dengan memanfatkan energi terbarukan untuk menggerakan unit desalinasi air laut. Hasil analisa diperoleh kebutuhan air untuk wiayah pesisir dengan 220 KK adalah sebesar 70 m^3/hari. Hasil analisa kebutuhan energi spesifik sistem desalinasi menggunakan software ROSA 9.0 adalah sekitar 5,75 kWh/m^3. Dan hasil analisa optimasi sistem pembangkit listrik tenaga hibrid (energi angina, surya, diesel) dengan software HOMER diperoleh kondisi optimal adalah pada porsi pembangkitan energi masing-masing, yaitu energi surya (PV) sebesar 13%, energi angin (turbin angin) sebesar 63% , dan generator diesel sebesar 24%. Paper ini akan membahasan secara detail simulasi sistem desalinasi air laut, daya keluaran pembangkit listrik tenaga hibrik dan biaya energi.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Kota langsa memiliki luas 262,4 km^2 dengan jumlah penduduk 157.011 jiwa. Penyediaan air bersih bagi penduduk Kota Langsa dilakukan oleh PDAM Tirta Keumuneng dengan jumlah air 3,1 juta m^3/tahun. PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa adalah badan usaha milik pemerintah Kota Langsa. Sarana air bersih ini dibangun pada tahun 1928 dengan memanfaatkan air Waduk Alur Gampu kapasitas terpasang 20-40 liter per detik dengan sistem pengolahan *Slow Sand Filter* (SSF). Pada tahun 1980 dibangun WTP Konvensional kapasitas 60 liter per detik memanfaatkan air baku Sungai Krueng Langsa yang dipompakan dari *intake* ke prasedimentasi kapasitas 450 m3 serta *Water Treatment Plant* kapasitas 60 liter per detik.

Kebutuhan akan penyediaan dan pelayanan air bersih dari waktu ke waktu semakin meningkat yang cenderung tidak dapat diimbangi oleh kemampuan pelayanan. Peningkatan kebutuhan ini disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk. Peningkatan kebutuhan air tersebut jika tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas produksi air bersih akan menimbulkan masalah dimana air bersih yang tersedia tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pada wilayah tersebut.

Alamat e-mail: ir.syamsulbahriwidodo@yahoo.co.id
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa telah mengupayakan memberikan pelayanan untuk memenuhi kebutuhan akan air bersih namun pada kenyataannya PDAM ini sering mendapatkan keluhan dari masyarakat atau pelanggan. Keluhan masyarakat tentang semakin sulitnya untuk mendapatkan air bersih tampaknya masih menjadi kendala yang belum dapat diatasi sepenuhnya oleh pemerintah kota dalam hal ini PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa.

Kecamatan Langsa Barat adalah kecamatan yang terletak didaerah pesisir Kota Langsa terdiri dari 11 desa. Dari desa tersebut ada 6 desa dengan jumlah penduduk 11.600 jiwa merupakan desa yang sangat susah mendapatkan pelayanan air bersih dari PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa. Salah satu usaha yang dapat ditempuh dalam menanggulangi kondisi tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi desalinasi air laut menjadi air tawar layak minum.

Menurut Carta, et al (2003). Desalinasi air laut adalah proses energi-intensif. Sebagian besar tersedia instalasi desalinasi air laut skala besar di seluruh dunia menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber penyedia energi. Disisi lain pemakaian bahan bakar fosil selain membutuhkan biaya bahan bakar yang terus meningkat, juga mempunyai pengaruh terhadap pemanasan global.

Kondisi ini mendorong Badan Energi Atom Internasional (IAEA) untuk mengusulkan penggunaan pembangkit tenaga nuklir pada instalasi desalinasi skala besar, dan penggunaan sumber energi terbarukan untuk instalasi desalinasi skala kecil (Carta et. al. 2003).

Pemanfaatan potensi energi angin untuk penyedia energi listrik instalasi desalinasi air laur metode *Reverse Osmosis* (RO) telah mulai dipelajari sebagaiana dilaporkan oleh (Feron 1985; Marcos et.al. 2003). Namun, pemanfaatan energi terbarukan untuk desalinasi air laut sapai saat ini belum diterapkan secara luas. Selain itu, sebagian besar desain yang diusulkan masih terhubung ke jaringan listrik yang tersedia (Carta et. al. 2003).

Bertitik total dari uraian diatas, pada penelitian ini telah dilakukan perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) untuk unit desalinasi air laut di wilayah pesisir Kota Langsa.

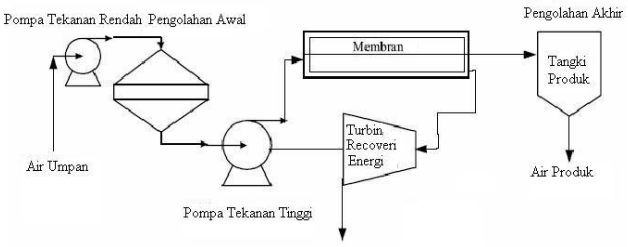
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, dimulai dengan perhitungan kebutuhan air untuk 6 desa di wilayah Kecaatan Langsa Barat dengan jumlah penduduk 11.600 jiwa yang tergabung dala 220 KK. Pada tahap kedua merancang sistem desalinasi air laut menggunakan teknologi *Reverse Osmosis* (RO). Perhitungan kebutuhan energi unit desalinasi air laut dilakukan menggunakan software ROSA 9.0. Kemudian dilanjutkan dengan optimasi penyediaan energi hibrid (energi angin-surya-diesel) untuk unit desalinasi air laut menggunakan software HOMER.

Menurut Marie dan Pedersen, (2001), permintaan air bersih rumah tangga untuk daerah adalah 116 m^3/rumah tangga/tahun. Dengan demikian, untuk wilayah pesisir Kota Langsa dengan 220 KK, kebutuhan air bersih rata-rata adalah rumah tangga, kita mengasumsikan kebutuhan air rata-rata 70 m^3/hari atau 25.520 m^3/tahun.

Gambar 1. Memperlihatkan instalasi unit desalinasi RO yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari pengolahan awal, pompa tekanan tinggi, modul RO dan pengolahan akhir. Tujuan langkah pengolahan awal adalah untuk menghindari risiko penyumbatan, fouling dan scaling pada membran.. Setelah dilakukan pengolahan awal, air laut dipompa ke bejana tertutup dimana air laut ditekan ke membran sampai tekanan > 50 bar. Karena buangan brine tekanannya masih relatif tinggi, suatu turbin rekoveri energi digunakan untuk *recycle* energi dan untuk mengurangi daya yang diperlukan untuk proses. Air produk RO mempunyai TDS < 500 ppm. Stage ke dua diperlukan untuk memperoleh air dengan TDS 20-50 ppm.

Kompisisi kimia dan fisika air laut yang dijadikan umpan unit desalinasi adalah sebagaiaman ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir Rancangan Unit Desalinasi *Reverse Osmosis* (RO).

Tabel 1. Komposisi air laut sebagai umpan Unit Desalinasi

Nama Unsur	Komposisi Umpan (mg/l)
Ammonium (NH4+ + NH3)	-
Potassium (K)	390.00
Sodium (Na)	10,900.00
Magnesium (Mg)	1,310.00
Calcium (Ca)	410.00
Strontium (Sr)	13.00
Barium (Ba)	0.05
Carbonate (CO3)	24.88
Bicarbonate (HCO3)	152.00
Nitrate (NO3)	0.50
Chloride (Cl)	19,700.00
Fluoride (F)	1.40

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Nama Unsur	Komposisi Umpan (mg/l)
Sulfate (SO4)	2,740.00
Silica (SiO2)	0.05
Boron (B)	3.44
TDS	35,661.50
pH = 8.10	

Sumber : Dinas Perikanan Kota Langsa

Optimasi sistem penyediaan listrik untuk unit desalinasi dimulai dengan pengumpulan data kecepatan angin dan itensitas radiasi matahari pada lokasi rencana pembangunan unit desalinasi air laut. Data radiasi surya dan kecepatan angina diperoleh dari sumber NASA Surface meteorology and Solar Energi (https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/). Data dapat diperoleh dengan memberikan input data lokasi berupa lintang utara dan bujur timur. Unit desalinasi air laut pada penelitian ini direncanakan ditempatkan di lokasi dengan data Latitude : 4.53 dan Longitude : 98.01. Data intensitas radiasi dan kecepatan angin pada lokasi tersebut ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data intensitas radiasi surya dan kecepatan angin pada lokasi pembangunan unit desalinasi (Latitude 4.53 / Longitude 98.01)

BULAN	Intensitas Radiasi (KWh/m2/d)	Kecepatan angin (m/s)
Januari	4.42	6.68
Pebruari	4.01	3.48
Maret	3.22	3.67
April	4.98	3.66
Mei	4.83	4.05
Juni	4.82	4.91
Juli	4.59	5.00
Agustus	4.50	5.62
September	4.30	4.79
Oktober	4.22	4.45
Nopember	3.87	5.03
Desember	3.82	6.68

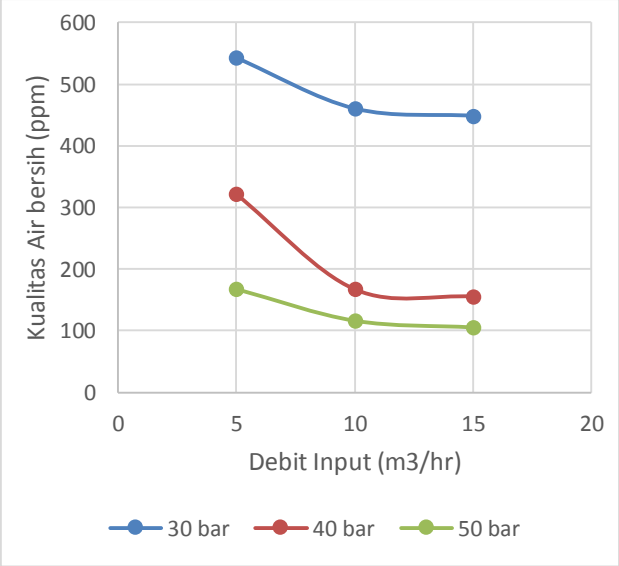
Sumber : NASA Surface meteorology and Solar Energi. https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/

Pada perhitungan menggunakan software ROSA 9.0, sebagai output yang diharapkan adalah produksi air bersih sebesar 70 m^3/hari. Untuk memperoleh tujuan tersebut dilakukan berbagai alternative perencanaan melalui pemilihan banyaknya tingkat desalinasi, jumlah elemen mebran yang digunakan pada setiap tingkat, dan tipe membaran yang dipilih. Semua pilihan tersebut dapat dilakukan menggunakan software ROSA 9.0 (Dow, 2005).

Berdasarkan hasil simulasi ROSA, berupa konsumsi energi spesifik yang dibutuhkan oleh unt desalinasi, kemudian dinputkan pada software HOMER untuk mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit hibrid turbin angin, fotovotaic, dan generator listrik berbahan bakar. Simulasi dilakukan dengan cara membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam setahun. Untuk setiap jam, model membandingkan beban listrik dengan energi tersedia pada saat itu. Hasil akhir simulasi ditunjukkan dalam bentuk konfigurasi yang optimal berdasarkan nilai *Net Present Value (NPV)*. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan pemilihan konfigurasi yang murah dan layak untuk diterapkan.

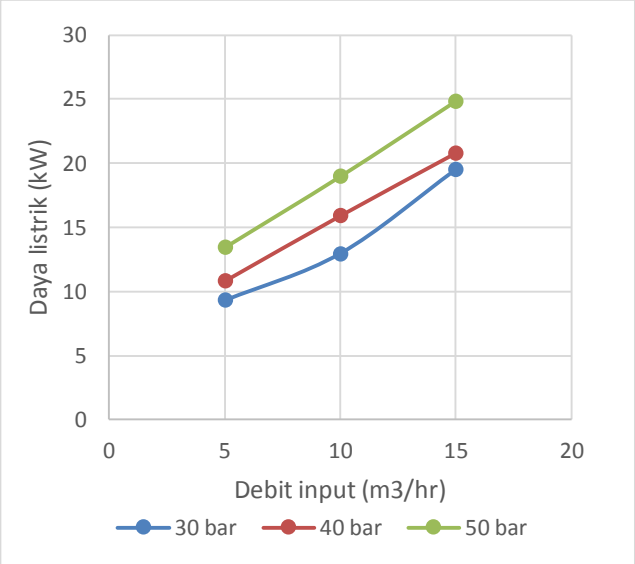
3. Hasil dan Pembahasan

Pada analisa ini, untuk desalinasi air laut menjadi air tawar digunakan teknlogi RO dan membran yang digunakan adalah tipe SW30HRLE-370/34i, yang mampu bekerja pada tekanan maksimum 52 bar dan debit aliran maksimum 23,5 m3/hr. Untuk memperoleh kualitas air bersih yang sesuai dengan standar maka pada penelitian ini dipilih konfigurasi unit desalinasi dengan dua tingkat, dimana air bersih hasil desalinasi tingkat pertama kemudian dimasukkan kembali ke tingkat kedua.Gambar 2. Memperlihatkan kulaitas air tawar yag dapat dihasilkan pada tekanan input dan debit input yang berbeda. Dari grafik juga terlihat dengan meningkatnya tekanan dan debit input akan menurunkan ppm air bersih.



Gambar 2. Hubungan debit & tekanan input vs kualitas air bersih.

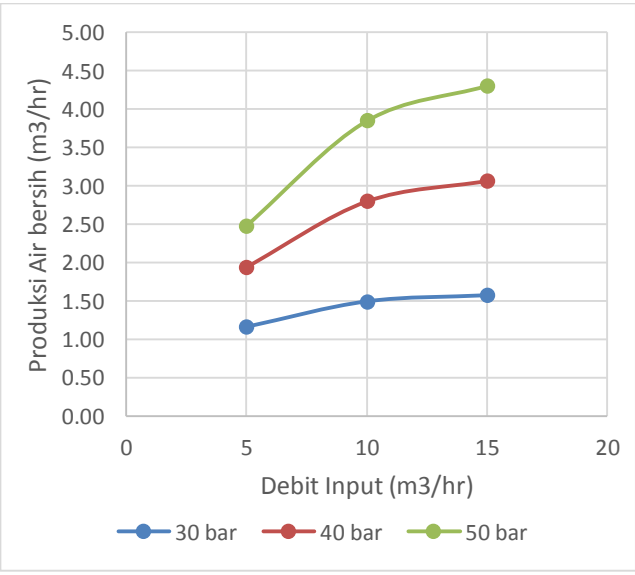
Besarnya daya listrik yang dibutuhkan untuk berbagai kondisi debit dan tekanan input diberikan dalam Gambar 3. Dari Gambar terlihat bahwa daya yang dibutuhkan akan meningkat dengan meningkatnya tekanan dan debit input.



Gambar 3. Hubungan debit & tekanan input vs daya listrik

Tujuan utama dari perencanaan unit desalinasi air ini adalah memperoleh air bersih yang mampu melayani kebutuhan penduduk pesisir Kota Langsa. Untuk itu pemilihan konfigurasi unit yang dipilih disesuai dengan produksi air bersih yang mampu dihasilkan.

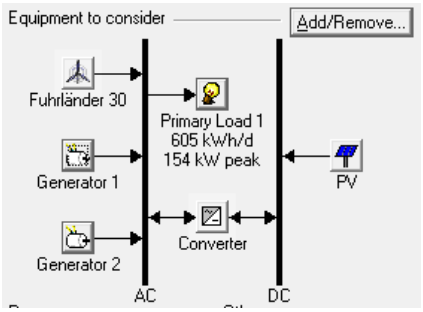
Gambar 4, memperlihatkan hubungan debit dan tekanan input terhadap produksi air bersih. Dari Gambar terlihat produksi air bersih yang mampu melayani kebutuhan air bersih masyarakat pesisir kota Langsa adalah pada debit input 15 m^3/hr dan tekanan 50 bar. Untuk kondisi ini daya listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 24,78 kW dan produksi air bersih 4,31 m^3/hr. Dan energi spesifik untuk setiap m^3 produksi air bersih adalah 5,57 KWh/m^3.



Gambar 4. Hubungan debit & tekanan input vs produksi air bersih.

Dari hasil simulasi dengan software ROSA juga diperoleh bahwa unit ini mampu bekerja dengan daya minimum 9,29 kW, dan produksi air bersih 1,16 m^3/hr. Kondisi ini yanug memungkin unit desalinasi tersebut dapat menggunakan pembangkit listrik energi terbarukan khususnya energi surya dan energi angin.

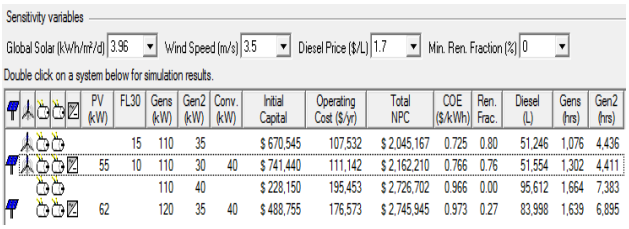
Optimasi konfigurasi pembangkit energi listrik dilakukan dengan software HOMER. Konfigurasi yang direncanakan adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5. Pembangkit tenaga angin dipilih tipe Fuhrlande 30, dan untuk generator digunakan dua unit untuk memudahkan dalam perawatan.



Gambar 5. Konfigurasi pembakit listrik simulasi HOMER

Biaya investasi awal generator untuk setiap kW sebesar US$ 1,521/kW dan *replacement costs* US$ 1,475/kW. Biaya operational dan perawatan sebesar US$/hr 0.012. Umur operasional generator diesel diperkirakan 20.000 jam operasi. Harga bahan bakar diesel diprediksi US$/ltr 1,12). Biaya investasi konverter US$ 900/kW dan biaya *replacement costs* US$ 850/kW. Tidak ada biaya operational dan perawatan yang dibebankan. Umur operasional konverter 15 tahun. Biaya investasi awal panel surya sebesar US$ 3,500/kW dan *replacement costs* US$ 3,000/kW. Biaya operational dan perawatan sebesar US$/hr 25. Umur operasional surya panel diperkirakan hingga berakhirnya operasi yaitu sekitar 20 tahun. Biaya investasi awal turbin angin US$ 30,000/kW dan replacement costs US$ 29,500/kW. Biaya operational dan perawatan sebesar US$/hr 10. Umur operasional turbin angin 20 tahun.

Hasil simulasi dan pemodelan menunjukkan empat kombinasi sumber energi. Simulasi mencakup daya listrik keluaran masing-masing pembangkit, biaya konfigurasi sistem dan total NPC sebagaimana pada Gambar 6.


Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d) 3.96 | Wind Speed (m/s) 3.5 | Diesel Price ($/L) 1.7 | Min. Ren. Fraction (%) 0

Double click on a system below for simulation results.

PV (kW)	FL30	Gens (kW)	Gen2 (kW)	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gens (hrs)	Gen2 (hrs)
	15	110	35		$ 670,545	107,532	$ 2,045,167	0.725	0.80	51,246	1,076	4,436
55	10	110	30	40	$ 741,440	111,142	$ 2,162,210	0.766	0.76	51,554	1,302	4,411
		110	40		$ 228,150	195,453	$ 2,726,702	0.966	0.00	95,612	1,664	7,383
62		120	35	40	$ 488,755	176,573	$ 2,745,945	0.973	0.27	83,998	1,639	6,895

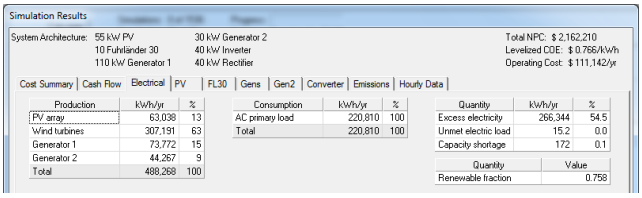
Gambar 6. Hasil simulasi HOMER

Konfigurasi optimal sistem yang pertama menunjukkan kombinasi turbin angin dan genarator diesel. Konfigurasi optimal sistem yang kedua menunjukkan kombinasi PV, turbin angin, generator dan konverter. Konfigurasi optimasi sistem yang ketiga menunjukkan hanya menggunakan generator. Konfigurasi optimasi sistem yang keempat menunjukkan kombinasi PV, generator dan konverter.

Berdasarkan hasil kombinasi tersebut yang menunjukkan nilai investasi awal terendah adalah pada konfigurasi yang pertama, akan tetapi pada konfigurasi ini tidak membutuhkan energi surya, dan pada simulasi ini juga tidak diperhitungkan adanya kenaikan harga bahan bakar setiap tahunnya. Dengan mempertimbangkan adanya konstribusi energi angin dan energi surya, maka dipilih konfigurasi kedua dengan rincian sebagai berikut :

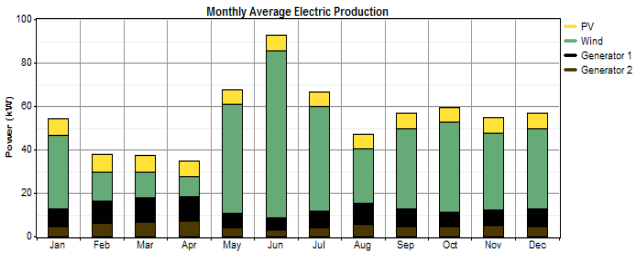
Deskripsi	Besaran Biaya
Biaya investasi awal	: $ 741.440
Biaya operasional	: $ 111.142 per tahun
Total NPC	: $ 2.162.210
COE	: $ 0,766 per kWh
Bahan Bakar Diesel	: 51.555 liter
Produksi panel surya	: 63.038 kWh/tahun
Produksi turbin angin	: 307.191 kWh/tahun
Produksi generator diesel 1	: 73.772 kWh/tahun
Produksi generator diesel 2	: 44.267 kWh/tahun
Total Produksi Listrik	: 488.268 kWh/tahun

Prediksi produksi energi listrik dari masing-masing pembangkit diberikan dalam Gambar 7. Dari Gambar terlihat bahwa energi surya menyumbang 13 % dari keseluruha energi, generator 24 % dan energi angina memberikan konstrubusi terbesar yaitu 63 %.



Gambar 7. Produksi energi listrik masing-masing pembangkit

Untuk produksi bulanan selama setahun ditunjukkan dalam Gambar 8. Terlihat bahwa pada bulan Februari sampai dengan April produksi energi sangat kecil sesuai dengan ketersediaan energi surya dan energi angin.



Gambar 8. Produksi energi listrik bulanan dalam satu tahun

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah dilakukan analisa pemanfaatan energi terbarukan (energi angin dan energi surya) untuk menggerakn unit desalinasi air laut, untuk kebutuhan air bersih bagi masyarakat pesisir Kota Langsa. Unit desalinasi yag dianalisa menggunakan teknologi *Reverse Osmosis* (RO) dengan tekanan maksimum 50 bar dan debit input maksimum 15 m3/hr. Dari hasil analisa diperoleh produksi air bersih maksimum 4,31 m^3/hr. daya listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 24,78 kW. Dengan biaya invertasi sebesar $ 741.440 atau dengan biaya produksi listrik sebesar $ 0,766 per kWh, sangat layak digunakan pembangkit listrik hybrid (energi surya-Angin-Diesel) untuk penyedia energi listrik pada unit desalinasi air laut.

REFERENSI

Carta, J. Gonzalez,J and Subiela, V., Operational Analysis of an innovative wind powered reverse osmosis system installed in the Canary Islands. Solar Energi 75(2003) 153-168.(2003).

DOW. ROSA 6.0.1 Software. http://www.dow.com (2014).

Feron, P., The Use of Wind power in Autonomous Reverse Osmosis sea Water Desalination. Wind Energi Group, the Netherlands. Wind Engineering, Vol. 9. No.3. 1985

Homer, Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables., HOMER Software., www.homerenergi.com., (2014)

Marcos S. Miranda, Infield, D., A wind-powered seawater reverse-osmosis system without Batteries. Desalination, Vol. 153,1–3, 9–16, (2003).

Marie, A. and Pedersen,J., Urban Households and Urban Economy in Eritrea. Analytical Report from the Urban Eritrean Household Income and Expenditure Survey 1996/97. Statistics and Evaluation Office. (May 2001).

TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung L.

Syamsul Bahri W[1)], Taufan Arif Adlie[1)], Hamdani[1)]

1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Samudra, Langsa 24416 Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim tgl Bulan Tahun
Direvisi dari tgl Bulan Tahun
Diterima 00 February 00

Kata Kunci:
Unjuk Kerja,
Sovonius,
Dua Tingkat,
Tipe L

A B S T R A K

Pada penelitian ini telah dilakukan perencaan, pembuatan dan pengujian turbin angin *Savonius* dua tingkat menggunakan sudu tipe L. Turbin ini terdiri dari dua buah sudu tiap tingkat yang di pasang dengan beda sudut 90 derajat. Sudu *(bucket)* terbuat dari bahan plat plastik dengan ketebalan 2 mm. Hasil pengujian diperoleh putaran maksimum pada beban generator dan lampu 3.8 V adalah 62 rpm dan daya yang dibangkitkan sebesar 13,81 W pada kecepatan angin 8.05 m/s. Putaran minimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius dua tingkat dengan beban generator adalah 29 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 6,46 W pada kecepatan angin 3,72 m/s.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat karena hampir semua aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Angin di Indonesia memiliki kecepatan yang bervariatif, umumnya di katagorikan sebagai angin berkecepatan rendah. Penelitian sistem konversi energi angin kecepatan rendah belum banyak dilakukan di indonesia, padahal ada beberapa lokasi yang mempuyai kecepatan angin rendah secara kontinyu yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dengan turbin angin dengan konstruksi sederhana yang cocok untuk penggunaan di daerah yang kecepatan rendah adalah temuan sarjana Finlandia bernama S. Savonius (1922). Turbin ini termasuk jenis turbin angin dengan sumbu vertikal, dengan rotor yang tersusun sudu-sudu setengah silinder.

Turbin angin Savonius tidak pernah menjadi terkenal sampai sekarang ini, karena rendahnya efisiensi. Walaupun demikian, turbin angin Savonius mempunyai keuntungan lain yaitu: konstruksi murah dan sederhana, dapat menerima angin dari segala arah, dan memiliki torsi awal tinggi

Turbin angin Savonius ini cukup sederhana dan praktis tidak terpengaruh oleh arah angin, turbin angin savonius mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong *(drag force)*. Sebagian sudu mengambil energi angin dan sebagian sudu lagi melawan angin. Sudu yang mengambil energi angin disebut *downwind* sedangkan sudu yang melawan angin disebut *upwind*. energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian bawah turbin angin. (Blakwell, 1977).

Soelaiman (dkk) 2007 melakukan beberapa penelitian tentang bebrapa macam blade, yaitu savonius dengan blade tipe U dan savonius dengan blade tipe L. dari penelitian mereka menyimpulkan bahwa blade savonius tipe L menghasilkan unjuk kerja yang paling baik dibandingkan dengan tipe yang lain.

Hendra A. (2012), melakukan penelitiann *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius*. Menggunakan metode penelitian eksperimental dengan variasi jumlah sudu : 2, 3, dan 4 buah dengan variabel bebas kecepatan angin pada *wind tunnel* dari kecepatan 3 m/s sampai 7 m/s. Didapatkan hasil analisis bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah memiliki

Alamat e-mail: ir.syamsulbahriwidodo@yahoo.co.id
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

unjuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain. Pada penelitian ini telah dilakukan perencaan, pembuatan dan pengujian turbin angin *Savonius* dua tingkat menggunakan sudu tipe L

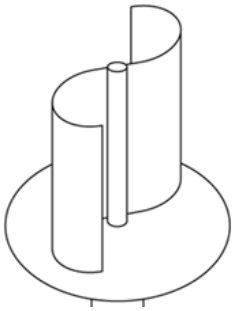
2. Studi Pustaka

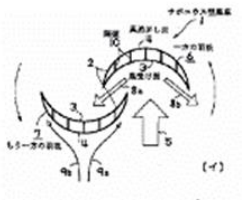
Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan dengan arah aliran angin dari tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu randah ke tempat yang bersuhu tinggi.

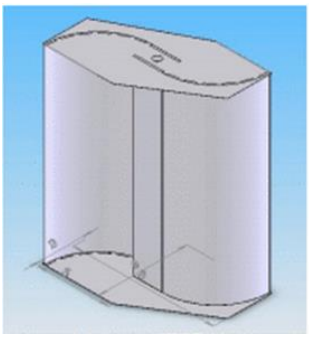
Turbin angin adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk mengubah energi kinetic angin menjadi energi mekanik pada poros turbin tersebut. Energi angin dikonversi sebagian menjadi energy putar oleh rotor. Dengan atau tanpa roda gigi, putaran rotor tersebut biasanya digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan energi listrik (Kadir A,1985).

Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder *(elips)* yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada Gambar 1.

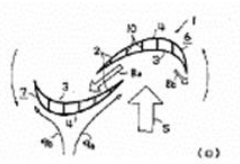
Pada rancangan rotor Savonius L ini, angin yang menumbuk salah satu bilah rotor sehingga rotor berputar, titik pusat gaya dorong angin pada rotor akan bergeser menjauhi poros rotor. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan torsi yang lebih besar. Rancangan rotor Savonius L diinspirasi oleh paten pengembangan rotor Savonius oleh Sadaaki dengan nomor paten JP2003293928 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dari gambar paten ini jelas terlihat bahwa pada bentuk rotor Savonius setengah lingkaran (Savonius U), aliran udara di kedua sisi bilah sama besar, sementara pada rancangan kedua (Savonius L) aliran udara pada sisi bilah yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran.







Sudu tipe U

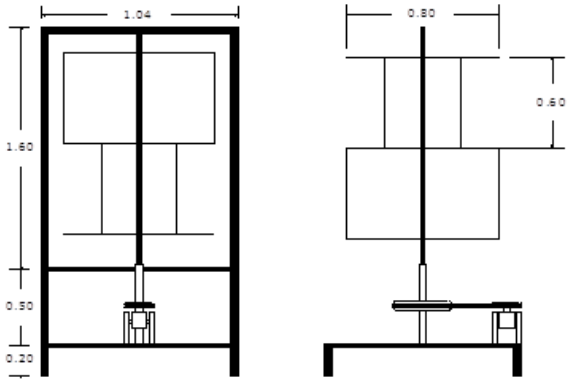


Sudu Tipe L

Gambar 1. Tipe sudu turbin Savonius

3. Metode Penelitian

Perangkat pengujian untuk penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 2. Turbin ini terdiri dari dua buah sudu tiap tingkat yang di pasang dengan beda sudut 90 derajat, masing-masing tingkat terdiri dari dua buah sudu.



Gambar 2. Dimensi turbin Savonius perangkat pengujian

Sudu *(bucket)* terbuat dari bahan plat plastik dengan ketebalan 2 mm. *Bucket di* lekatkan pada plat landasannya dengan menggunakan paku keling, kemudian plat landasan diikat dengan baut pada poros yang telah dipasang *flang*. tiga buah bantalan digunakan pada poros untuk mengurangi gesekan, bantalan pertama di pasang pada dudukan atas poros, bantalan kedua dipasang pada bagian tengah poros, dan bantalan ketiga dipasang antara sudu *(bucket)* turbin dengan sistem transmisi, yang di pasang di bawah. Gambar 3. memperlihatkan gambar turbin yang digunakan pada penelitian ini.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



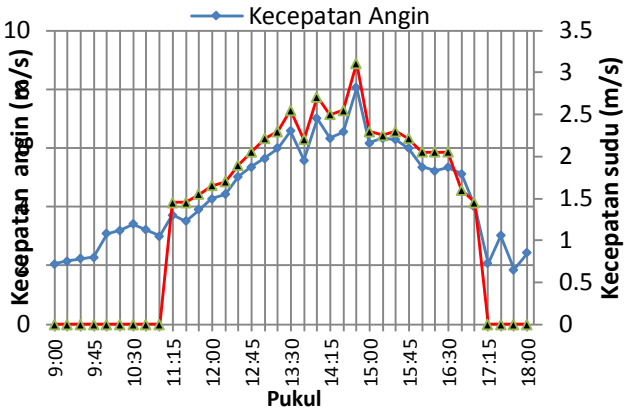
Gambar 3. Prototip turbin angin savonius tipe L

Pada penelitian ini, putaran poros turbin dimanfaatkan untuk menggerakkan alternator dan kemudian diteruskan pada beban (lampu) dan pengecasan baterai. Putaran poros turbin diteruskan melalui sebuah transmisi keporos alternator. Sistem transmisi ini terdiri dari sebuah sabuk tipe V dua buah puli yang berbeda diameter dan dua buah roda gigi. puli yang besar dipasang pada poros turbin, puli yang lebih kecil dipasang pada poras yang terhubung dengan roda gigi besar dan kecil yang selatjutnya ke poros alternator.

Sudu *(bucket)* Savonius dan sistim transmisi di rangkai pada sebuah rangka yang terbuat dari besi siku. Rangka ini terbagi, dua bagian, bagian pertama adalah tempat dipasangnya baling-baling beserta poros, bagian kedua merupakan kaki dari rangka di atas dan juga difungsikan untuk tempat pemasangan generator. Kedua rangka ini dapat dipisahkan sehingga memudahkan dalam pengangkutan.

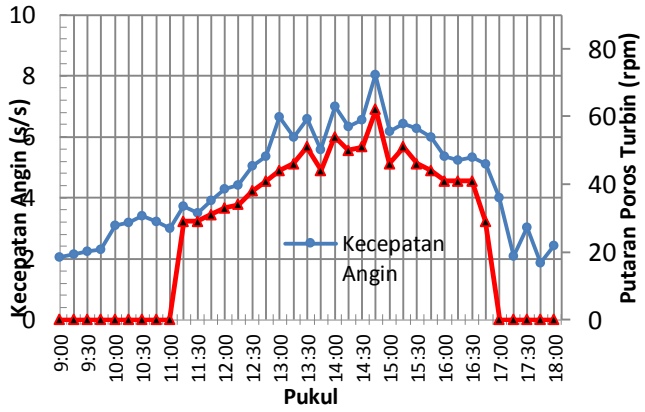
4. Hasil Dan Pembahasan

Dengan selesainya melakukan pengujian dan pengolahan data pada kincir angin tipe *savonius dua tingkat empat sudu lengkung L* maka diperoleh data-data daya ideal angin, torsi, daya kincir,ratio kecepatan ujung serta efisiensi dari kincir. Hasil dari pengujian turbin angin Savonius dua tingkat empat sudu lengkung L dapat dilihat Gambar 4. Dari grafik terlihat pukul 09.00-11.00 turbin belum dapat berputar hal ini dikarenakan kurangnya kecepatan pada angin untuk dapat memutar turbin.Turbin dapat berputar setelah pukul 11.15 pada kecepatan angin 3.75 m/s. Kecepatan maksimum angin adalah 8.05 m/s dan kecepatan maksimum turbin 3.11 m/s terjadi pada pukul 14.45 WIB.



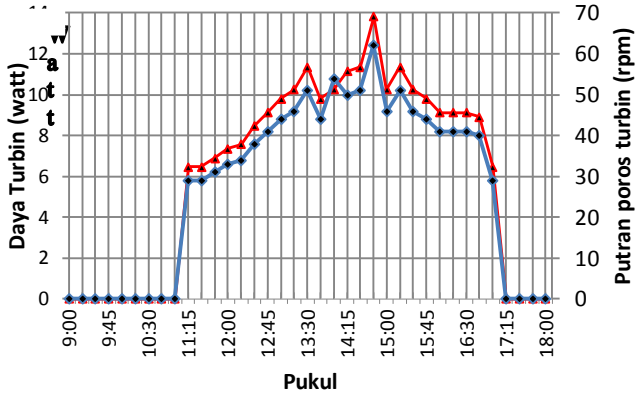
Gambar 4. Hubungan antara kecepatan angin dan kecepatan sudu turbin

Gambar 5. Memperlihatkan hubungan kecepatan angin dengan putaran poros turbin. Pada grafik dibawah ini terlihat bahwa terjadi beberapa kali perubahan putaran.



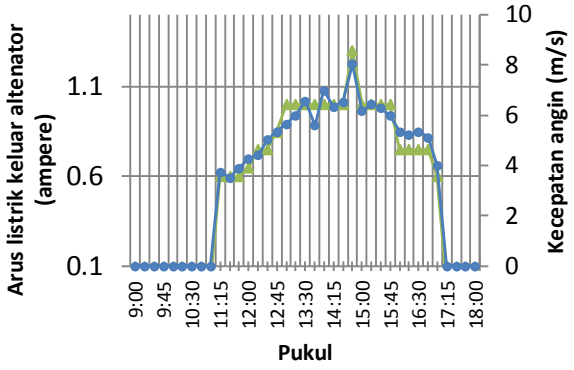
Grafik 5. Hubungan antara kecepatan angin dan putaran turbin

Perhitungan daya yang dihasilkan Turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat ini merupakan hasil perhitungan teoritis. Hasil perhitungan dapat di lihat pada Gambar 6. Dari grafik dibawah ini dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang di hasilkan oleh turbin adalah 13,81 W pada saat putaran 62 rpm sementara daya minimum yang dibangkitkan turbin adalah 6,46 W pada putaran 29 rpm.



Gambar 6. Hubungan antara putaran turbin dan daya

GAmbar 7 memperlihatkan hasil pengukuran arus listrik keluar altenator. Pada grafik dibawah ini pada saat pukul 11.15 WIB arus yang dihasilkan turbin adalah 0.6 A dan, pada daya 9.83 W atau pada kecepatan 7.00 m/s lampu/beban menyala. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan pada saat kecepatan angin di atas 3,29 m/s lampu dapat menyala tetapi belum sempurna. Sedangkan pada kecepatan angin diatas 4.00 m/s lampu dapat menyala dengan sempurna



Gambar 7. Hubungan Kecepatan angin dan Arus listrik keluar altenator

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Putaran maksimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius dua tingkat empat sudu lengkung L dengan beban generator dan lampu 3.8 V adalah 62 rpm dan daya yang dibangkitkan 13,81 W pada kecepatan angin 8.05 m/s
2. Putaran minimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius dua tingkat dengan beban generator adalah 29 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 6,46 W pada kecepatan angin 3,72 m/s.
3. Dari perhitungan diatas bahwa momen puntir maksimum terjadi pada putaran1777 rpm di altenator yaitu 32,28 kg mm
4. Dari perhitungan diatas bahwa pengisian (cas) yang dihasilkan oleh altenator ke baterai pada putaran 1777 rpm adalah 5.50 Watt daya ini cukup untuk mengisi baterai tegangan 1.2 V arus 700 mAh
5. Pada penelitian ini di proleh efisiensi turbin angin dengan menggunakan sudu lengkung L adalah sebesar 39%

DAFTAR PUSTAKA

Blakwell, B.F, R.E. Sheldahl & L.V. Felt, 1977, Wind Tunnel Performance Data for Two-and Three-bucket Savonius Rotors. Sandia National Laboratory.

Hendra A. 2012, Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius. Universitas Brawijaya.

Kadir, A. 1995. Energi: Sumber Daya,Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensial Ekonomi.Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

Sadaaki, K., K. Isao, dan T. Jiro, 2003, Patent No. JP. 2003293938.

Soelaiman F.A.T, Tandian P.N, dan Rosidin, N, 2007, Perancangan,pembuatan dan pengujan Prototipe SKEA menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol, Laporan Penelitian ITB Bandung.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Kajian Numerik Perbaikan Desain Pada Arah Aliran Jet Pump

Nasruddin[1], Zainal Arif[2], dan T. Azuar Rizal[3]

[1,2,3] Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Samudra, Meurandeh, Langsa, Aceh, 24416

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim tgl Bulan Tahun
Direvisi dari tgl Bulan Tahun
Diterima 00 February 00

Kata Kunci:
Numerik,
Modifikasi,
Aliran,
Jet Pump

A B S T R A K

Perbaikan desain nozel *jet pump* untuk meningkatkan efisiensi telah dilakukan. Paper ini akan membahas secara detail hasil kajian numerik pengaruh perubahan arah aliran terhadap efisiensi *jet pump*, validasi data hasil analisa numerik dilakukan dengan melakukan pengujian operasional *jet pump* pada kondisi desain dan kondisi setelah modifikasi. Kajian numerik dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD untuk mendapatkan distibusi kecepatan, volume aliran dan tekanan pada sisi isap dan buangan *jet pump*. Pengujian dilakukan dengan kapasitas aliran 0.45 liter/detik, dengan tekanan pada sisi isap sebesar 35 psi (241.3 kPa), selanjutnya diukur perubahan kecepatan aliran dan tekanan pada sisi buang j*et pump*. Dari hasil pengujian pada kondisi standard diperoleh nilai efisiensi 16,28%, sedangkan dari ahsil analisa CFD diperoleh efisiensi 16.4%, sedangkan nilai efisiensi dari kondisi yang telah dimodifikasi dengan mengunakan CFD adalah 27.51%, Pembahasan hasil analisa CFD ditampilkam dalam bentuk distribusi tekanan dan kecepatan aliran, dimana terjadi perubahan distribuasi tekanan dan kecepatan pada nozzle dari kondisi standard dengan kondisi yang telah dimodifikasi.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Jet pump adalah salah satu mesin fluida sederhana yang bekerja dengan cara mengubah energi dan momentum dari laju aliran jet yang tinggi pada fluida primer untuk menghasilkan kecepatan pada *nozzle*, sehingga pada akhirnya akan menciptakan tekanan rendah pada *suction chamber* dan menghasilkan aliran skunder pada suction chamber, aliran skunder terjadi karena ada aliran fluida primer dan kedua aliran tersebut tercampur pada *mixing troat*, gabungan kedau kecepatan aliran tersebut dirubah menjadi energi tekanan pada *diffuser* (Chamlong Prakeao 2002)

Jet pump sangat berbeda dengan sentrifugal pump, tidak ada bagian yang bergerak dan kontruksinya sangat sederhana, sangat luas penggunaannya pada bermacam-macam kondisi lingkungan (Chamlong Prakeao 2002).

Teori *jet pump* pertama kali disampaikan oleh Gosline dan O'Brien (Gosline, J. E., and O'Brien, M. P 1934) yang menjelaskan tentang persamaan atur aliran fluida (*governing equation*) untuk menyatakan proses aliran dalam *jet pump* (I. A. El-Sawaf, M.A. Halawa, M. A. Younes and I.R. Teaima C 2011), selanjutnya teori ini dikembangkan oleh Cunningham and River dengan memasukkan *friction losses* dalam aliran.

Kelemahan utama dari *jet pump* adalah efisiensi yang rendah yang disebabkan oleh kehilangan tekanan akibat gesekan (*frictional losses)* dan *mixing losses* yang terjadi dan tidak bisa dihindari, namun *jet pump* sering digunakan karena tidak ada komponen yang bergerak untuk meningkatkan keandalan, mudah beradaptasi dengan kondisi lapangan, dan pemasangan yang lebih mudah, dapat digunakan pada lingkungan yang beresiko (*hazardous environment)*, simpel dan biaya yang rendah (Cunningham, R.G 1957).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai efisiensi dari perubahan desain yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CFD, juga untuk melihat distribusi tekanan dan kecepatan aliran yang terjadi didalam *jet pmp* sebelum dan sesudah modifikasi.

2. Studi literatur.

Penelitian mengenai *jet pump* sudah banyak dilakukan sebelumnya, baik secara teoritis maupun eksperimental yang bertujuan untuk meningkatkan dan mengetahui unjuk

Alamat e-mail: nasruddin.aaf@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

kerja dari *jet pump*. Penelitian mengenai *jet pump* antara lain: Chamlong Prakeao, tentang prediksi secara *numeric* terhadap panjang *mixing throat* pada posisi *nozzle* dari *jet pump*. Effisiensi maksimum didapat pada kondisi d/D=0.6 dan l/D=0.5 dengan Lm/D=3.5 (Chamlong Prakeao 2002)

I.A. El-Sawaf, melakukan setudi tentang perbedaan parameter pada *area ratio* yang dapat mempengaruhi operasional *jet pump*, efisiensi paling tinggi diperoleh untuk tekanan fluida primer 1 bar adalah pada *area ratio* 0.25, *diameter ratio* "X" = 1, *mixing chamber length* 7.25 D, dan sudut kemiringan *diffuser* adalah 5.5^0 (I. A. El-Sawaf, M.A. Halawa, M. A. Younes and I.R. Teaima C 2011),.

Wisnu Gutami melakukan analisa numerik aliran pada *center type jet pump*, dan menyimpulkan bahwa pola pergerakan aliran fluida dari *suction tube* menuju *mixing tube* membentuk daerah resirkulasi (*eddy*) pada dinding *suction nozzle*. Pergerakan aliran disebabkan tekanan yang terjadi sangat rendah (*vacuum*) pada hilir *driving nozzle* akibat aliran *jet*. Besarnya daerah resirkulasi sangat berpengaruh terhadap rasio momentum, dan efisiensi maksimum yang dicapai peralatan *jet pump* sebesar 18% (Gutami, W 1998), S. Mikhail dan Hesham Abdou mengadakan penelitian tentang dua fase aliran pada *jet pump* dan menghasilkan sebuah persamaan empiris dari hasil eksperimental dengan mengaitkan koefisien kehilangan tekanan dalam *mixing chamber* dengan berat jenis dan viskositas (Mikhail, S and Abdou, H. A. M 2005).

A.H. Hammoud, meneliti tentang pengaruh dari desain dan parameter operasi terhadap Kinerja dari *jet pump*, penelitian yang dilakukan dengan cara membuat dua jenis *suction* yang berbeda, yaitu *positive suction* dan *negative suction* dengan menggunakan air sebagai media. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa efisiensi yang terbaik dari kedua jenis tersebut adalah pada pososi *suction* yang *positive* (A.H. HAMMOUD 2006)

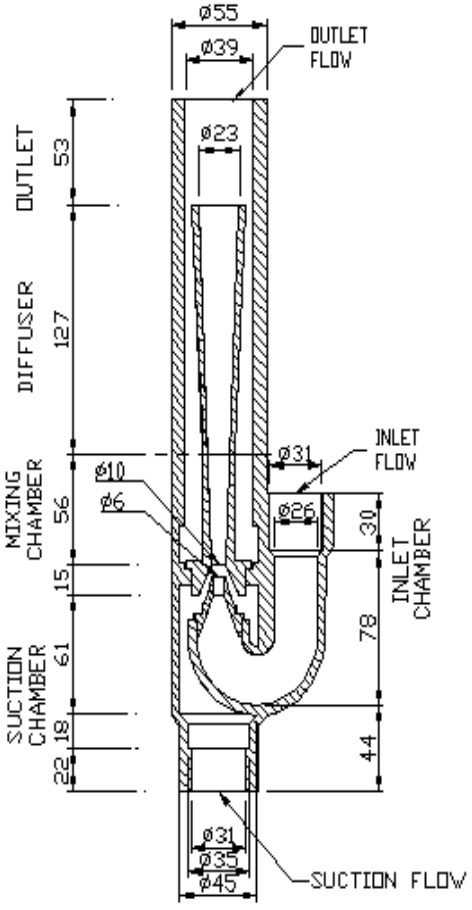
Dari hasil studi literatur yang telah dilakukan, dapat ditarik suatu kesimpulan awal bahwa umumnya parameter yang diteliti adalah dimensi jet pump dan bentuk sudut-sudut nozel, diffuser dan variasi kondisi operasi. Penulis belum menemukan suatu penelitian yang membahas perubahan tentang arah aliran pada pada nozzle terhadap efisiensi dari *jet pump*.

3. Teori dan analisis

Jet pump adalah salah satu mesin fluida sederhana yang bekerja dengan cara mengubah energi dan momentum dari laju aliran jet yang tinggi pada *suction* untuk menghasilkan kecepatan pada *nozzle*, sehingga pada akhirnya akan menciptakan tekanan rendah pada *suction chamber* dan yang menghasilkan aliran yang lain. *Jet pump* merupakan kombinasi dari pompa *sentrifugal*, *nozzle*, dan *venturi*. Secara umum *jet pump* terdiri dari beberapa komponen yaitu : saluran isap (*suction tube*), nosel isap (*suction nozzle*), saluran *pencampuran* (*mixing tube*) dan diffuser. *Jet pump* dapat digunakan untuk membantu meningkatkan tekanan hisap dari pompa permukaan, dan sering digunakan untuk memompakan fluida yang mempunyai kedalaman lebih dari 10 m. *Jet pump* juga sering digunakan untuk memompakan minyak bumi yang mempunyai tekanan rendah. Aliran dalam *jet pump* biasa terjadi dalam fase yang sama (satu fase) maupun fase yang berbeda (dua fase).

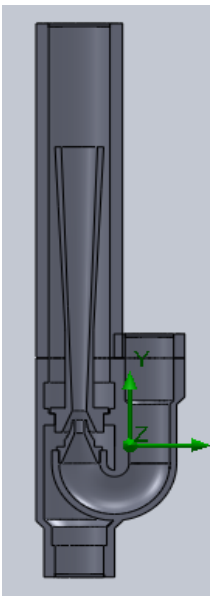
Prinsip kerja dari *jet pump* ini berdasarkan pada hukum Bernoulli dimana hubungan antara tekanan dan kecepatan dapat dilihat dari persamaan tersebut. Seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran maka akan terjadi penurunan tekanan, sehingga dengan prinsip tersebut di atas dibuatlah *jet pump*.

Gambar 1. Memperlihatkan komponen dan model dari *jet pump* standard yang digunakan dalam penelitan beserta dimensinya, dimana kecepatan aliran pada nozel mengarah dari bawah ke atas.



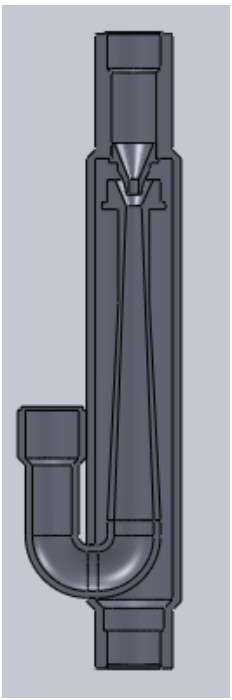
Gambar. 1. *Jet pump* kondisi standard

Sedangkan pada gambar 2 memperlihatkan model dari *jet pump* pada kondisi standard



Gambar. 2. Model *Jet pump* pada kondisi standard

Gambar 3. Menunjukan desain dari model *jet pump* yang telah dimodifikasi. dimana pancaran kecepatan aliran menuju dari atas ke bawah. Sebelum belokan.



Gambar 3. Model *Jet pump* yang telah di modifikasi

Berikut persaman-persamaan yang digunakan dalam menghitung variabel pada *jet pump*.

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Persamaan tekanan pada Nozle

$$P_i + \rho_1 \frac{V_i^2}{2} = P_0 + \rho_1 \frac{V_n^2}{2} + \ d\left(K_{en}\rho_1 \frac{V^2}{2}\right) = 0 \quad (2)$$

$$P_i - P_o = Z(1+K_n)$$

Persamaan tekanan masuk mixing chamber.

$$\frac{dP}{\rho} = VdV + \ d\left(K_{en}\frac{V^2}{2}\right) = 0 \quad (3)$$

$$P_s - P_o = ZS(1+c)\frac{M^2}{c^2} \quad (4)$$

Persamaan tekanan pada mixing chamber

$$P_t - P_o = Z\{(2b + 2SM^2b^2)/(1-b) - b^2(2+K_{en})(1+SM)(1+M)\} \quad (5)$$

Persamaan tekanan pada difusser

$$\int_t^d \frac{dP}{\rho} + \int_t^d VdV + \int_t^d \frac{\Delta P_f}{\rho_t} = 0 \quad (6)$$

$$P_d - P_t = Zb^2(1+SM)(1+M)(1-K_{di} - \ a^2) \quad (7)$$

Koefisien kerugian tekanan

$$K_t = \frac{\zeta}{Re^{\beta}} \quad (8)$$

$$R_e = \frac{\rho_m V_t D_t}{\mu_m} \quad (9)$$

$$V_t = \frac{Q_1 + Q_2}{A_t} \quad (10)$$

$$\rho_m = \frac{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2}{Q_3} \quad (11)$$

Rasio tekanan teoritis N

$$N = \frac{2b + \frac{2SM^2b^2}{1-b} - b^2(1+K_{td})(1+M)^2 - \left(\frac{M^2}{C^2}\right)(1+K_{en})}{1+K_n - 2b + \frac{2SM^2b^2}{1-b} - b^2(1+K_{td})(1+M)^2 - \frac{M^2}{C^2}(1+K_{en})}$$

3.1. Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Untuk mendapatkan variabel awal penelitian terlebih dahulu dilakukan suatu pengujian untuk mendapatkan data ekperimen yang nantinya akan digunakan sebagai data masukan dan pembanding dari CFD, ekperimen dilakukan dengan memasang langsung *jetpump* standard seperti skema pada Gambar 3, pengujian ini dilakukan terhadap *jet pump* standard yang sering digunakan di pasaran, dan pengujian ini juga dilakukan pada kondisi temperatur kamar, yaitu kondisi fluida 30^0C.

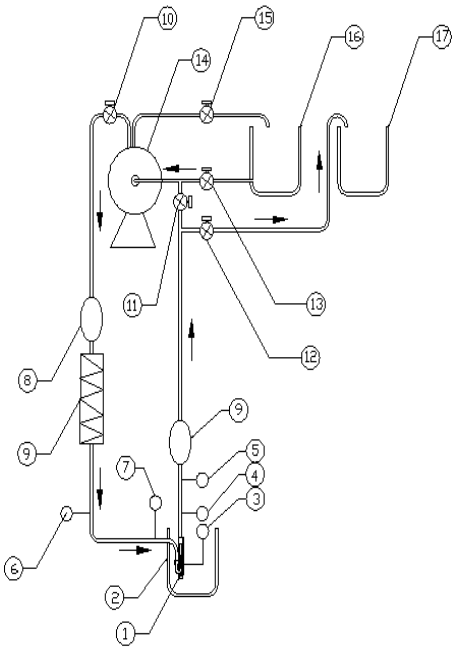
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



Gambar 4. Instalasi ekperimen *jetpump.*

Pada gambar 4, memperlihatkan instalasi pompa dan perpipaan untuk ekeperimen yang dilakukan, jarak antara *jetpump* dan pompa penggerak adalah : 8,84 m.

Pada gambar 5, menjelaskan tentang skema aliran *jet pump* pada eksperimen yang dilakukan.



Gambar 5. Skema aliran *jet pump*

Dari skema aliran di atas, alat-alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Komponen dan peralatan

No. Item	Nama Komponen
1.	*Jet pump*
2.	Tangki *suction Jet pump*
3.	*Vacuum Gauge (U tube manometer)*
4.	*Outlet Pressure Gauge*
5.	*Outlet Thermocouple*
6.	*Inlet Thermocouple*
7	*Inlet Pressure Gauge*
8	Pengatur Aliran
9	Inlet Flow Meter
10	Klep outlet pompa sentrifugal
11	Klep by Pass
12	Klep outlet *jet pump*
13	Klep suction pompa sentrifugal
14	Pompa sentrifugal
15	Klep *discharge pompa sentrifugal*
16	Tangki suction pompa sentrifugal
17	Tangki outlet pompa sentrifugal

3.2. Proses Start Up dan Operasional Pompa

Setelah semua sistem terpasang dan harus diyakinkan bahwa tidak ada lagi kebocoran pada system, seperti pada *foot valve*, harus dipastikan bahwa foot valve bekerja dengan sempurna sehingga tidak ada air yang bocor ketika kondisi pompa tidak berjalan, juga koneksi listrik untuk menggerakkan pompa harus dalam posisi terkoneksi dengan menggunakan tombol start, tanki 2 dan 16 harus diisi dengan air bersih pada level yang cukup, dimana untuk tangki 2 level air harus berada 20 Cm diukur dari muka foot valve, dan level ini harus dijaga constant dengan cara memberi make up air sebesar flow Q_2, sedangkan valve 11, 12 dan 13 harus diyakinkan tertutup sebelum pompa dijalankan. selanjutnya dapat dilakukan *start up* pada system tersebut, adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tutup *Valve valve* 15 dan 10 untuk menghindari air meluber dari tangki pada suction pompa ketika *valve* no 13 dibuka.
2. Buka *valve* no 11 untuk mengisi air suction dari aliran *outlet jet pump*, setelah penuh tutup *valve* no. 13
3. Hidupkan pompa, selanjutnya buka valve no. 10 ketika pompa sudah mulai normal buka valve no. 15

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

secara berlahan. ini dilkukan untuk menjalankan secara normal dan untuk melihat kondisi intalasi sudah berjalan dengan normal.

4. Ketika pompa sudah berjalan dengan Normal selanjutnya secara berlahan dan bersamaan valve 13 dibuka dikuti dengan pembukaan valve no. 12, sedangkan valve no. 11 ditutup, ini bertujuan untuk menfungsikan sistem agar berjalan pada *head* sesuai dengan keinginan dari penelitian.
5. Setelah kondisi Pompa berjalan dengan normal, selanjutnya dapat dilkukan pengukuran, kemudian diukur berapa besar aliran yang masuk ke *jet pum* melalui flow meter 9, dan juga thermocouple yang terpasang pada line inlet, tekanan inlet dapat diukur melalui inlet pressure gauge 7, tekanan ini diukur dalam satuan Psi, karena satuan ini mempunyai presisi yang lebih baik karena mempunyai range pengukuran yang lebih lebar, selanjutnya satuan ini dikonversikan kedalam satuan Pascal untuk mempermudah dalam perhitungan, selanjutnya diukur besarnya vakum yang tejadi pada area *venture tube*, nilai vakum ini digunakan nantinya sebagai pengontrol pada simulasi CFD, sedangkan untuk aliran dan tekanan inlet dijaga tetap.
6. Setelah paramaeter pada line inlet sebagai fluida utama tercatat, selanjutnya pencatatan yang perlu diperhatikan adalah kondisi yang terjadi pada kondisi outlet, aliran Q_3, yaitu aliran outlet yang merupakan jumlah dari aliran inlet dan aliran suction (Q_1+Q_2), sehingga bisa didapat aliran Q_2 berupa Q_3-Q_1, dan besar nya aliran ini menjadi salah satu parameter perhitungan, kemudian tekanan pada posisi outlet juga dicatat, sebagai parameter yang dibutuhkan dalam pengolahan pada data perhitungan

3.3. Variabel yang diamati

Variabel yang diamati diklasifikan dalam beberapa macam, yaitu variabel terikat (*Dependent Variable*) yaitu merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas, variable bebas (*Independent Variable*) merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab berubahannya atau timbulnya variabel terikat, variabel antara (*intervening variable)* adalah variabel yang menghubungkan antara variabel independen dengan variabel dependen yang dapat memperkuat atau memperlemah hubungan namun tidak dapat diamati atau diukur dan variable kontrol (*control variable)* yang merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel *independen* terhadap *dependen* tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti.

Variabel terikat disini adalah efisiensi (η) dan *pressure ratio*, dimana kinerja pompa diukur berdasarkan besarnya efisiensi yang terjadi selama operasional, efisiensi disini dipengaruhi oleh dua variabel yaitu *pressure ratio* yang merupakan variabel terikat dan *flow ratio* (M) yang merupakan variabel antara, Sedangkan beberapa variabel lainnya yang berupa variabel kontrol yang bukan didapat dari pengamatan tetapi didapat dari nilai koefisien konstruksi dan design alat diantaranya adalah *jet pump area ratio* (b), K_n, K_{td}, dan c, yang nilai nya sangat tergatung dari konstruksi *jet pump*.

Variable antara (*intervening variable)* lainnya adalah bilangan *Reynold* yang didapat dari perubahan kecepatan, berat jenis dan viskositas, selanjutnya dari data variabel di atas akan didapat variabel koefisien kehilangan tekanan pada mixing chamber (K_t), dan juga perbandingan berat jenis dari fluida (S) yang menagalir yaitu perbandingan berat jenis fluida primer dan fluida skunder, selanjutnya variabel antara, variabel bebas dan variabel kontrol ini akan menentukan besarnya variabel terikat yaitu *pressure ratio*, setelah didapat besarnya *pressure ratio*, maka akan didapat besarnya efisiensi dari *jet pump*.

variabel-variabel yang diamati selama melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Aliran Fluida, aliran yang diamati adalah aliran *inlet* (Q_1), aliran *suction* (Q_2) dan aliran pada *outlet* fluida (Q_3), hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengaruh temperature terhadap aliran *aliran suction* pada *jet pump*, karena aliran *inlet* dan tekanan *inlet* dijaga tetap sebagai *control variable*.
2. Tekanan fluida, diukur pada *line discharge* atau pada posisi *outlet* dan *line inlet*, untuk mendapatkan perubahan tekanan dalam *jet pump*, dimana tekanan *inlet* dijaga tetap, sedangkan perubahan tekanan didapatkan dari pengukuran yang dilakukan pada *line outlet* dengan menggunakan *pressure gauge*.
3. Tekanan *vacuum*, diukur di daerah *venturi tube* pada *jet pum*p untuk mengetahui berapa besar vakum yang terjadi akibat penurunan tekanan yang terjadi karena naiknya kecepatan pada *nozzle*, sehingga menimbulkan tekanan negatif pada *ventury tube.*

Dari variabel-variabel yang disebutkan di atas, dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah tersebut di atas maka akan didapat berapa besarnya perubahan *flow ratio* dan *pressure ratio* yang terjaid sehingga secara keseluruhan akan mendapatkan nilai efisiensi nya.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

3.4. Simulasi CFD

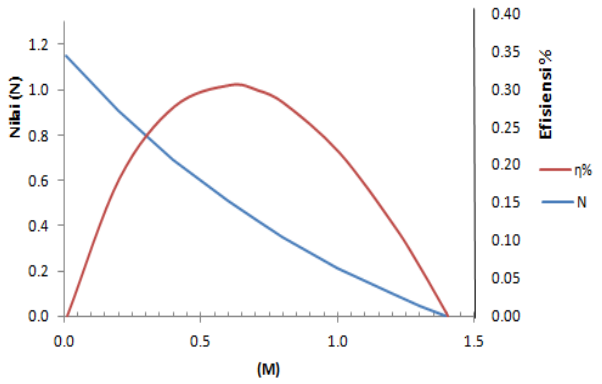
Setelah data ekperimen didapat makan selanjutnya dilakukan simulasi susuai dengan data ekperimen, hal ini dilakukan untuk menvalidasi data CFD yang akan dibuat, selanjutnya akan dilihat berapa besar selisih antara data ekperimen dengan data CFD, jika selisihnya terlalu besar, berarti datanya tidak valid.

Jika data ekperimen dan data CFD sesuai maka dilanjutkan dengan simulasi CFD *jet pump* yang telah dimodifikasi dengan data masukan sesuai dengan ekperimen dan juga simulasi CFD *jet pump* yang standard untuk mendapatkan nilai efisiensinya.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan ditunjukkan tentang hasil dari ekperimen yang telah dilakukan.

Pada gambar 6 diperlihatkan kondisi *performance curve* dari suatu *jet pump*, kurva ini sangat dipengaruhi oleh dimensi dan kondisi desain awal atau kondisi standard operasional suatu *jet pump*



Gambar 6. kurva Kinerja *jetpump* standard

Tabel 1. Hasil data ekperimen kondisi standard dan Hasil simulasi CFD kondisi standard dan modifikasi

Jenis Kajian	P1 (Pa)	P3 (Pa)	Flow Ratio M	Pres. Ratio (N)	η%	Δ_P
Ekperimen Standard	241.3	120.6	0.165	0.983	16,28 %	120.6
CFD Standard	241,1	120.3	0.168	0.979	16.48 %	120,8
CFD Modifikasi	241.2	120.3	0.267	0.986	25.92 %	120.9

Pada tabel 2 dapat dilihat data-data dari hasil ekperimen dan hasil simulasi CFD baik dari kondisi standard maupun kondisi yang telah dimodifikasi.

Dari tabel di atas terlihat bahwa data hasil ekperimen kondisi standard dan hasil simulasi CFD tidak terjadi perbedaan yang besar dimana untuk nilai *flow ratio* (M) terjadi selisih 1.7%, nilai *pressure ratio* 0.4%, efisiensi 1.2% dan perbedaan tekanan Δ_P sebesar 0.15%.

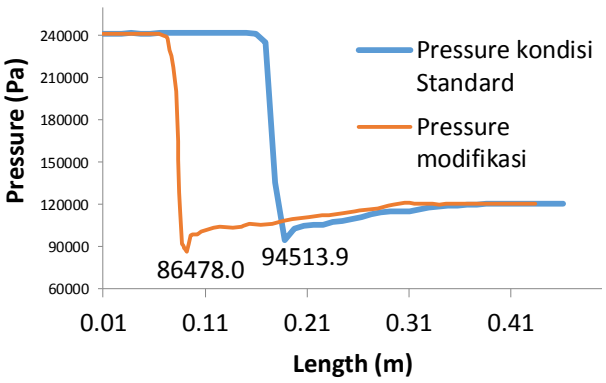
Dengan selisih rata-rata yang didapat kurang dari 5% maka data CFD tersebut dianggap valid terhadap data ekperimen, sehingga data CFD terhadap *jet pump* yang telah dimodifikasi dianggap valid.

Dari hasil kajian CFD didapat peningkatan nilai *flow ratio* dari 0.16 pada kondisi standard menjadi 0.27, dan nilai *Pressure ratio* dari 0.979, menjadi 0.987, sehingga terjadi kenaikan pada efisiensi dari 16.48% menajdi 25.92%.

Selanjutnya diperlihatkan distribusi tekanan dan kecepatan yang terjadi terhadap perubahan desain pada *jet pump*, distribusi tekanan dan kecepatan ini didapat dari simulasi CFD.

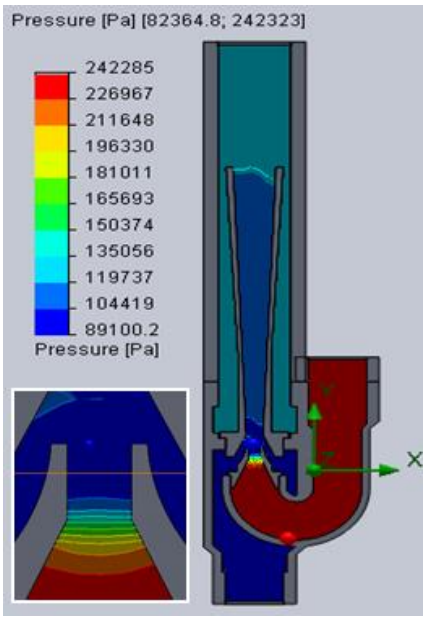
Pada gambar 7, menunjukkan distribusi tekanan dari *jet pump* standard dan *jet pump* yang telah dimodifikasi mulai dari *inlet line* menuju *outlet line* yang diukur melalui kurva yang diletakkan pada posisi tengah. Pada kondisi standard penurunan terjadi pada posisi yang lebih jauh di bidang *jet pump* dimana harus melalui belokan terlebih dahulu, dan pancaran *jet* terjadi dari bawah menuju ke atas, dan nilai tekanan minimum yang terjadi adalah 94513.9 Pascal.

Sedangkan pada kondisi yang telah dimodifikasi, penurunan tekanan terjadi lebih cepat pada posisi sebelum terjadi belokan, dan pancaran *jet* terjadi dari atas ke bawah, sehingga mengurangi pressure drop sebelum masuk ke dalam nozel, sedangkan tekanan minimum yang terjadi adalah sebesar 86478.0 Pascal.



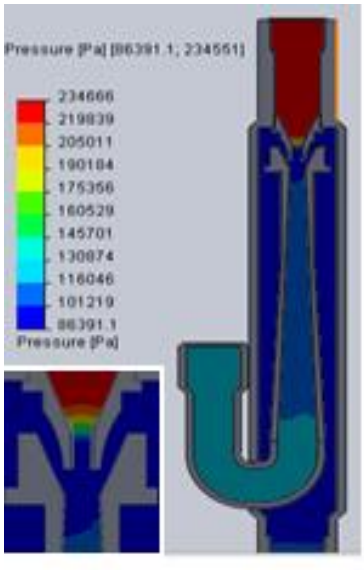
Gambar 7. Grafik distribusi tekanan

Pada gambar 8, menunujukkan kontur distribusi tekanan pada *jet pump* yang belum dimodifikasi, tekanan minimum terjadi pada ujung nozel yang disebabkan oleh naiknya kecepatan aliran.



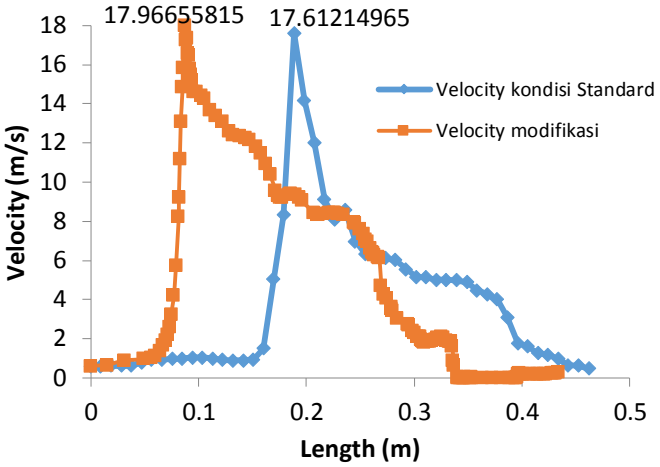
Gambar 8. kontur distribusi tekanan pada *jet pump* yang telah dimodifikasi

Pada gambar 9, memperlihatkan kontur dari distribusi tekanan pada *jet pump* yang telah dimodifikasi, dimana tekanan mulai turun ketika aliran masuk ke nozel seiring dengan bertambahnya kecepatan.



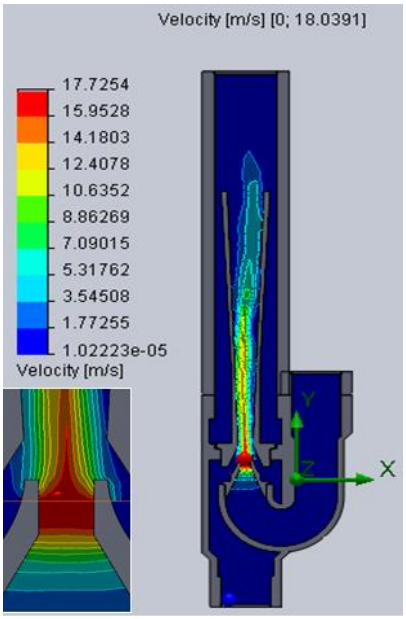
Gambar 9. kontur distribusi tekanan pada *jet pump* yang telah dimodifikasi

Pada gambar 10, menunjukan distribusi kecepatan dalam aliran, dimana terjadi pengeseran dan perubahan kecepatan dari kondisi standard ke kondisi yang telah di modifikasi, dalam grafik terlihat juga bahwa kenaikan kecepatan aliran pada kondisi yang dimodifikasi lebih cepat dan lebih tinggi dari kondisi standard, dimana kecepatan maksimum yang terjadi adalah 17.966 m/detik, sedangkan kondisi standar adalah 17.612 m/detik.

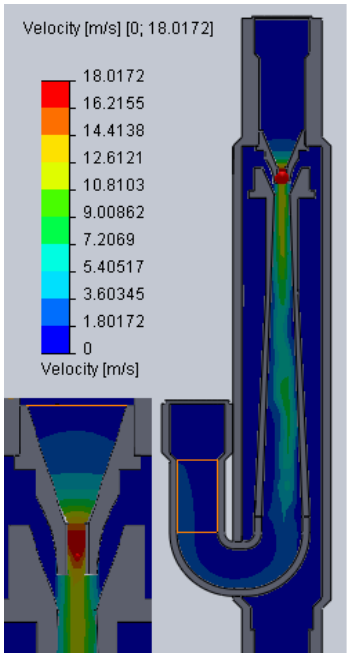


Gambar 10. Grafik distribusi kecepatan

Pada gambar 11 dan 12 diperlihatkan kontur dari distribusi kecepatan yang terjadi didalam *jet pump* pada kondisi standard dan kondisi setelah dimodifikasi, dimana terjadi kenaikan kecepatan aliran pada kondisi yang telah dimodifikasi.



Gambar 11. kontur distribusi kecepatan aliran kondisi standard



Gambar 12. kontur distribusi kecepatan aliran kondisi modifikasi.

5. Kesimpulan

Dari pembahasan dan pengolahan data di atas dapat di ambil kesimpulan sebagai beriku :

4. Dengan aliran fluida yang masuk 0.0004545 M^3, tekanan 35 Psi atau 241.416 Pascal pada kondisi *jet pump* standard dengan menggunakan ekperimen diperoleh efisiensi sebesar 16,28%, dan mengunakan CFD efisiensi yang di dapat adalah 16.48%, sedangkan untuk kondisi *jet pump* yang sudah dimodifikasi dengan menggunakan kajian numeric didapat hasil efisiensi sebesar 25,92%.
5. Terjadi perubahan distribusi kecepatan dan tekanan dari kondisi standard dan kondisi modifikasi dimana terjadi penurunan tekanan maksimum hingga 86478.0 Pascal pada kondisi modifikasi

Ucapan Terima kasih

Dengan selesainya penulisan paper ini ucapan terima kasih yang hangat saya sampaikan kepada Ir. Hamdani, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik yang telah banyak membantu menyelesaikan penelitian yang dilakukan, juga bapak Ir. Syamsul Bahri Widodo selaku pembantu dekan I, yang banyak memberi motivasi dan semangat, selanjutnya seluruh rekan-rekan dan mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Samudra Langsa yang telah banyak memberikan bantuan baik berupa tenaga dan bantuan lainnya, sehingga paper ini dapat diselesaikan dengan baik.

NOMENKLATUR

A	Area (m^2)
Aw	Area dinding Throat (m^2)
C	Kecepata Suara (m/det)
D	Diameter (m)
g	Percepatan grafitasi (m/det^2)
K	Friction loss coefficient
°K	Temperatur (Kelvin)
M	Liquid/liquid flow ratio (Q_2/Q_1)
N	Pressure ratio
NPSH	Net positive suction head (m)
P, P	Tekanan static (Pa Abs)
Pv	Tekanan uap (kPa Abs)
Q	Laju alir volumetric (m^3/det)
S	Density ratio (ρ_2/ρ_1)
T	Temperatur (°K)
V	Kecepatan aliran (m/det)
U	Keceaptan aliran potensial (m/det)
Z	Tekana jet dynamic (Pa)
a	Diffuser area ratio A_i/A_d
b	Jet pump area ratio A_n/A_t
c	$(A_t - A_n)/ A_n$
m	Laju alir massa (kg/det)
s	Waktu (Detik)
sp	Nozzle-to-throat spacing (m)
sp/D_{th}	Spacing/Diameter hroat (m)
η	Efisiensi (%)

REFERENSI

Chamlong Prakeao, Shinichi Takayama, Katsumi Aoki, and Yasuki Nakayama. "*Numerical Prediction on the Optimum Mixing Throat Length for Drive Nozzle Position of the Central Jet Pump*" The 10th international Symposium on Flow Visualization August 26-29, 2002, Kyoto, Japan.

Gosline, J. E., and O'Brien, M. P. "The Water Jet Pump." *University of California Publications in Engineering*, v. 3, pp. 167—190, 1934. 23 23.

I. A. El-Sawaf, M.A. Halawa, M. A. Younes and I.R. Teaima. "*Study Of The Different Parameters That Influence On The Performance Of Water Jet Pump"*. Fifteenth International Water Technology Conference, IWTC 15 2011, Alexandria, Egypt

Cunningham, R.G. "Jet Pump Theory and Performance with Fluids of High Viscosity." *Trans. ASME,* v. 79, pp. 1807—1820, 1957

Gutami, W. Studi Numerik Aliran Pada Center Type Jet Pump; Tesis. Jakarta. UI. 1998

Mikhail, S and Abdou, H. A. M. *Two-phase Flow in Jet Pumps for Different Liquids*. Journal of Fluids Engineering Vol. 127. September 2005

Long, X., Yao. H, dan Zhao. J. *Investigation on Mechanism of Critical Cavitation Flow in Liquid Jet Pumps Under Operating Limits*. International Journal of Heat and Mass Transfer 52, Elsevier, 2009

A.H. HAMMOUD. "*Effect of design and operational parameters on jet pump performance"*, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics, Elounda, Greece, August 21-23, 2006 (pp245-252)

J. Fan, J. Eves, H.M. Thompson, V.V. Toropov, N. Kapur, D. Copley and A. Mincher. *Computational fluid dynamic analysis and design optimization of jet pumps*

Long, X., Han. N and Chen, Q. *Influence of Nozzle Exit Tip Thickness on the Performance and Flow Field of Jet Pump*. Journal of Mechanical Science and Technology 22. Springer. 2008.

Long, X., Han. N and Chen, Q. *Influence of Nozzle Exit Tip Thickness on the Performance and Flow Field of Jet Pump*. Journal of Mechanical Science and Technology 22. Springer. 2008.

M. El Gazzar, Tarek Meakhail dan Samy Mikhail, "*Numerical Study of Flow Inside an Annular Jet Pump*" journal of thermophysics and heat transfer Vol. 20, No. 4, October–December 2006

Himes, A. C. Production Increase Utilizing Jet Pump Technology. Disajikan pada 2009 Middle East Artificial Lift Forum (MEALF) held in Manama, 16 – 18 February 2009, Bahrain. 2009

Sularso dan Haruo Tahara. Pompa dan Kompresor Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan. Edisi Keenam, Jakarta, PT. Pradya Paramita. 2006.

Hill P.G, 1967, *Incompressible jet mixing in converging-diverging axisym-metric duck*,"Journal Of Basic Engineering,

Hill B.J., 1973, "Two dimensional analysis of flow in Jet Pumps," Journal of the Hydraulics division, ASCE,

Richard G. Cunningham, *Jet pump theory and performance, section 4.1, Trans ASME v. 79*.

Bonnington, S. T., and King, A. L. "Jet Pumps and Ejectors: A State of the Art Review and Bibliography." Published by BHRA Fluid Engineering, Cranfield, Bedfordshire MK43 OAJ, United Kingdom, 1976.

Mueller, N. H. G. "Water Jet Pump." *Proceedings ASCE, Journal of the Hydraulics Division*, v. 90, pp. 83—113, 1964.

Cunningham, R. G. "Liquid Jet Pumps for Two-Phase Flows." *Trans. ASME, Journal of Fluids Engineering*, v. 117, pp. 309—316, 1995.

Cunningham, R.G. "Gas Compression with the Liquid Jet Pump." *Trans.ASME, Journal of Fluids Engineering*, v. 6, pp. 203—315, 1974

Cunningham, R.G., and Dopkin, R. J. "Jet Breakup and Mixing Throat Lengths for the Liquid Jet Gas Pump." *Trans. ASME, Journal of Fluids Engineering*, v. 94, pp. 216—226, 1974

Cunningham, R.G., Hansen, A.G., and Na,T.Y. "Jet Pump Cavitation." *Trans.ASME,Journal of Basic Engineering*, v. 92, pp. 483—494, 1970.

Cunningham, R. G. "Liquid Jet Pump Modeling: Effects of Axial Dimensions on Theory-Experiment Agreement." *Proceedings: Second Symposium on Jet Pumps and Ejectors*, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, Bedfordshire MK43 OAJ, United Kingdom, 1975[22]. Triantafillou TC, Zhang J, Shercliff T L, Ginson L J and Ashby M F, 1989, Int J. Mech Sci 31-665.

Sanger, N. L. "An Experimental Investigation of Several Low-Area-Ratio Water Jet Pumps." *Trans. ASME, Journal of Basic Engineering*, v. 92, pp. 11—20, 1970.

Na, T. Y. "Performance of Liquid Jet Pumps at Elevated Temperatures." *Proceedings:Symposium on Jet Pumps and Ejectors*, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, Bedfordshire MK43 OAJ, United Kingdom, 1972.

Radha Kirishna, H. C., and Kumaraswamy, S. "Some Investigations on the Combination Performance of Jet-Centrifugal Pump." *Proceedings: Second Symposium on Jet Pumps and Ejectors and Gas Lift Techniques*, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, Bedfordshire MK43 OAJ, United Kingdom. Paper B-1, March 1975[26]. Abate, *Impacton Composite Structur*, New York, Canbridge University Press,1998.

Radha Kirishna, H. C., and Kumaraswamy, S. "Matching the Performance of Jet and Centrifugal Pumps." *Proceedings: Second Symposium on Jet Pumps and Ejectors and Gas Lift Techniques*, BHRA Fluid Engineering, Cambridge, UK.Paper B-3, March 1975.

John K. Vennard, Robert L. Street "Elementary Fluid Mechanics." *Stanford University*, Fifth Edition, SI Version, 1976.

□TAR

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Kaji Eksperimental Pendinginan Panel Surya Menggunakan Media Udara

T. Azuar Rizal[1], Muhammad Amin[2], dan Puput Heri Saputra[3]

[1,2,3)] *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Meurandeh Langsa, 24416, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim tgl Bulan Tahun
Direvisi dari tgl Bulan Tahun
Diterima 00 February 00

Kata Kunci:
Temperatur permukaan,
Panel surya,
Efisiensi listrik,
Pendinginan,
Aliran udara.

A B S T R A K

Penggunaan panel surya pada penyedia energi listrik rumah tangga dan lampu jalan terus meningkat. Akan tetapi panel surya juga memiliki masalah. Khususnya, pada saat tingginya penyerapan radiasi surya sehingga temperatur panel surya meningkat diatas temperatur maksimum. Akibatnya panel surya menghasilkan energi jauh lebih kecil dibanding pada kondisi dingin. Pada penelitian ini telah dibuat satu perangkat pengujian pendinginan panel surya menggunakan media udara. Panel surya yang digunakan memiliki ukuran panjang 839 mm, lebar 537 mm, dan tebal 50 mm, dengan daya output maksimum 50 W. Pada penelitian, digunakan dua panel surya, satu panel surya tanpa pendinginan dan satu panel surya dengan pendinginan menggunakan media udara. Panel surya diletakkan pada sudut kemiringan 15o, udara dialirkan pada variasi kecepatan 1-2 m/s menggunakan blower daya 3W. Variabel yang diukur meliputi, temperatur udara masuk dan keluar panel surya, temperatur permukaan panel surya, tegangan dan arus listrik keluar panel surya, kecepatan angin sekitar panel surya, dan radiasi matahari. Penelitian dilakukan mulai pukul 09.00 -17.00. Dari hasil penelitian diperoleh, temperatur maksimum permukaan dalam panel surya tanpa pendinginan berkisar 46-49 oC, dan efisiensi listrik berkisar 6,1-6,7 %. Sedangkan untuk panel surya dengan pendinginan menggunakan media udara, temperatur maksimum permukaan hanya mencapai 42oC, dan efisiensi meningkat menjadi 7,0-7,8%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan pendingian menggunakan media udara mampu meningkatkan daya keluaran panel surya dan meningkatkan efisiensi listrik.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan secara luas dianjurkan oleh banyak negara. Panel surya (PV cell) merupakan salah satu produk yang memanfaatkan energi terbarukan yang paling populer. Panel surya yang dilengkapi dengan sel fotovoltaik dapat mengkonversi langsung radiasi matahari menjadi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk peralatan listrik rumah tangga, lampu penerangan jalan dan penggerak pompa air. Namun, selama pengoperasian panel surya, hanya sekitar 15% dari radiasi matahari dikonversi menjadi listrik dan sisanya diubah menjadi panas, akibatnya efisiensi listrik panel surya akan menurun ketika temperatur panel meningkat.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya dalam usaha meningkatkan efisiensi listrik. Umumnya, penurunan temperatur dilakukan dengan menggunakan udara atau air sebagai media pendingin. Sebagian penelitian juga diarahkan untuk mengetahui menurunkan biaya peralatan dengan cara menggabungkan panel surya (PV) dengan sistem termal, dimana energi termal diperoleh dari pendinginan panel surya dimanfaatkan untuk aplikasi lain pada kisaran temperatur rendah. Dari hasil penelitian yang melakukan modifikasi konfigurasi panel surya dengan system pendinginan sebagaimana dilaporkan oleh Dubey et al. (2009). Dari hasil penelitian dengan menggabungkan panel surya dengan kolektor udara diperoleh efisiensi rata-rata system berkisar antara 9,75 % sampai 10,41%.

Alamat e-mail: azuarrizal@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438 Fakultas Teknik Universitas Samudra. Hak Cipta Dilindungi.

Tiwari (2007), melakukan penelitian eksperimental dan simulasi numerik bertujuan melakukan evaluasi performan PV/T kolektor udara (dilengkapi kaca dan tanpa kaca penutup, dengan tedlar dan tanpa tedlar). Hasil pengujian diperoleh PV/T kolektor udara kolektor udara tanpa tedlar memberikan performan yang lebih baik.

Garg dan Adhikari (1999), mengembangkan model simulasi computer untuk pengaruh absorber terhadap efisiensi kolektor surya. Hasil analisa diperoleh, efisiensi absorber kolektor surya yang tidak dilapisi dengan sel surya lebih tinggi dibandingkan dengan absorber kolektor surya yang dilapisi dengan sel surya. Hal ini desebabkan radiasi yang diterima oleh lapisan sel surya dikonversikan menjadi energy listrik.

Zondag, et.al (2003) melakukan pengujian dan evaluasi terhadap modifikasi Sembilan buah pbrototipe PV/T, hasilnya menunjukan bahwa penurunan temperatur panel surya mampu neingkatkan efisiensi diatas 50%.

Infield, et.al (2004), melakukan kajian penurunan temperatur panel surya dengan mengalirkan udara saluran antara dua lapisan kaca penutup untuk proses pemanasan.

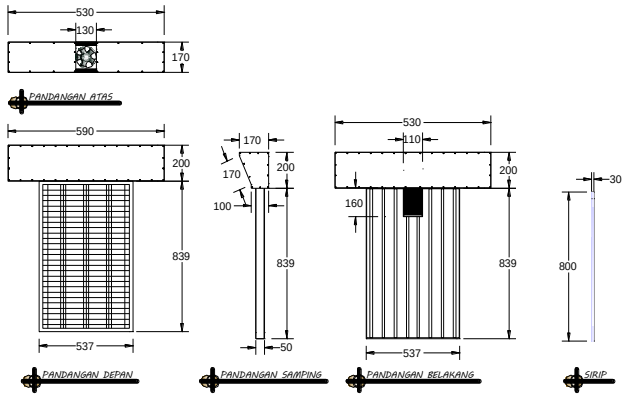
Joshi and Tiwari (2007)**,** melakukan analisis terhadap sistem PV/T kolektor udara yang terkoneksi secara seri. Dari hasil pengembangan model analisis yang divalidasi dengan data eksperimental, menunjukan bahwa efisiensi total sistem mengalami penurunan terhadap panjang modul akibat proses rugi-rugi sistem.

Pada penelitian ini telah dikembangkan satu sistem pendinginan penel surya (PV) dengan memanfaatkan udara sebagai media pendingin. Penelitian dilakukan pada kondisi iklim Kota Langsa Provinsi Aceh.

2. Metode Penelitian

Telah dirancang dan dibuat satu unit pengujian untuk mempelajari pengaruh pendingian panel surya (PV) menngunakan media udara terhadapa efisiensi listrik panel surya (PV).

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini *50 Watt Photovoltaic Module*, dengan silicon sel *nitride multicrystalline silicon cells*. Panel memiliki ukuran panjang 839 mm, lebar 537 mm, dan tebal 50 mm. Untuk mendinginkan panel surya digunakan media udara yang dialirkan masuk dari bagian atas panel dan keluar dari bagian bawah panel. Bentuk dan ukuran saluran udara pendingin panel surya ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. . Ukuran panel surya yang dilengkapi saluran udara pendingin

Penelitian dilakukan di lokasi lapangan terbuka dala lingkungan Universitas Samudra, Kota Langsa Provinsi Aceh, pada tanggal 26-29 Juni 2014 mulai pukul 09.00 pagi sampai pukul 17.00. Untuk memperoleh informasi pengaruh udara pendingin, pengujian juga dilakukan pada panel surya tanpa pendingin udara, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Panel surya yang digunakan pada penelitian

Varibel yang diukur pada penelitian ini meliputi temperatur pemukaan atas dan belakang panel surya, temperatur udara masuk dan keluar saluran pendingin, temperatur udara lingkungan, kecepatan udara masuk dan keluar saluran, dan intensitas radiasi surya, tegangan dan arus listrik keluar panel surya. Udara pendingin dialirkan menggunakan kipas angin (*fan*) yang memiliki daya 3W. Kecepatan udara keluar fan diatur pada 1-2 m/s. Dan laju aliran udara (*m*) dihitung dengan persamaan :

$$m = \rho_{udara}.A_s.V_{udara} \qquad (1)$$

Untuk menentukan efisiensi listrik ((η_e) panel surya didasarkan pada persamaan berikut :

$$\eta_e = \eta_o \left[1 - \beta\left(T_p - T_r\right)\right] \quad (2)$$

Efisiensi listrik pada kondisi standar (η_o) ditentukan dari :

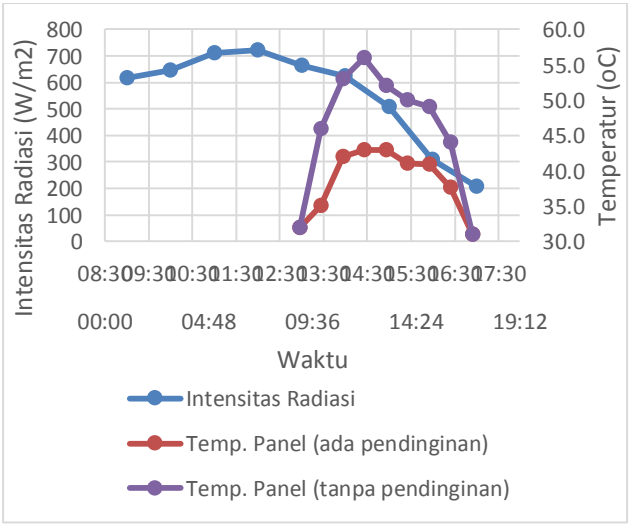
$$\eta_o = \frac{V_m I_m}{G A_p} \; x \; 100\ \% \quad (3)$$

Dan efisiensi termal dari sistem panel surya pendingian udara, ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{th} = \frac{m\, C_p (T_o - T_i)}{A_p G} \; x \; 100\ \% \quad (4)$$

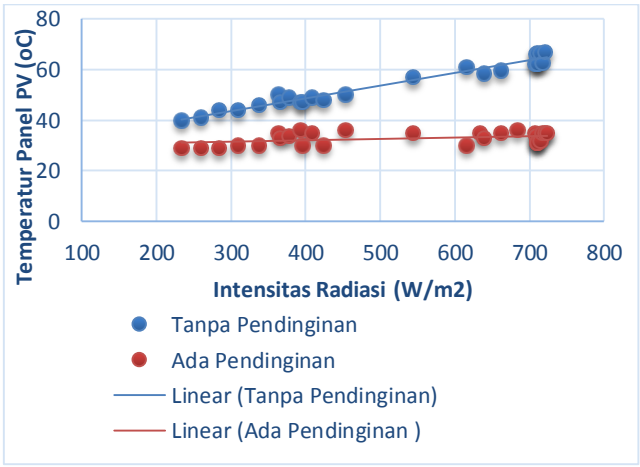
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 28 Juni 2014, perubahan temperatur permukaan panel surya dan intensitas radiasi untuk panel surya tanpa pendinginan udara dan panel dengan pendinginan udara ditunjukkan dalam Gambar 3. Dari gambar terlihat intensitas radiasi maksimum terjadi pada pukul 12.00 sekitar 732 W/m^2. Sedangkan temperatur maksimum permukaan panel surya terjadi pada panel surya tanpa pendinginan yaitu sebesar 52,1 ^{o}C yang terjadi pada pukul 12.00. Sedangkan temperatur rata-ratanya pada kisaran 46-49 ^{o}C. Hal ini juga sesuai dengan kondisi intersitas radiasi surya. Pengaruh yang nyata adanya pendinginan terhadap temperatur permukaan panel surya terlihat pada temperatur permukaan panel surya yang didinginkan dengan udara, dimana temperatur maksimum panel hanya mencapai 42 ^{o}C. Pada panel surya tanpa pendinginan kenaikan temperatur panel mencapai 24^{o}C mulai pukul 09.00 sampai pukul 12.00, sedangan panel surya dengan pendinginan kenaikan teperatur dalam waktu yang sama hanya 14^{o}C. Hal ini menunjukkan perangkat uji yang telah dibuat mampu bekerja dengan baik.



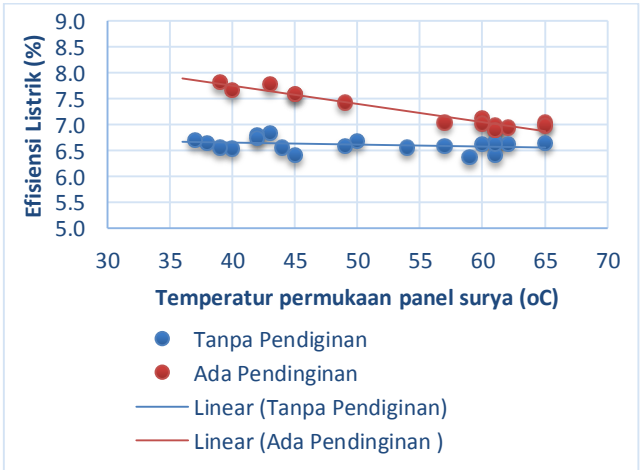
Gambar 3. Hasil pengukuran perubahan temperatur permukaan panel surya dan intensitas radiasi surya.

Gambar 4, memperlihatkan hubungan intensitas radiasi terhadap kenaikan temperatur permukaan panel surya. Dari grafik terlihat temperatur kedua panel meningkat dengan meningkatnya radiasi surya yang diterima oleh panel surya. Untuk panel surya tanpa pendinginan, temperatur permukaan meningat dengan cepat dibandingkan dengan panel surya yang dilengkapi dengan pendinginan udara.



Gambar 4. Hubungan temperatur permukaan panel surya dengan intensitas radiasi surya.

Gambar 4, memperlihatkan pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap efisiensi listrik panel surya (PV). Efisiensi listrik ditentukan menggunakan persamaan persamaan (2) dan (3). Dari grafik terlihat bahwa efisiensi listrik panel surya tanpa pendinginan berkisar pada 6,1 % - 6,5 %. Sedangkan untuk panel surya dengan pendinginan udara efisiensi listrik berkisar pada 7,0 % - 7,8 %. Hal ini membuktikan bahwa pendinginan udara mampu meningkatkan efisiensi listrik panel surya.



Gambar 4. Hubungan efisiensi listrik dengan temperatur permukaan panel.

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (4), berdasarkan data pengujian tanggal 28 Juni 2014, dengan massa laju aliran udara 0,052 kg/s diperoleh diperoleh efisiensi termal maksimum adalah 42,2%.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian pendinginan panel surya menggunakan udara sebagai media pendingin. Hasil pengujian juga dibandingkan dengan panel surya tanpa pendinginan. Dari hasil kedua pengujian diperoleh, efisiensi maksimum panel surya tanpa pendinginan adalah 6,7% pada temperatur permukaan 40ºC dan akan menurun dengan meningkatnya temperatur permukaan panel surya. Efisiensi maksimum panel surya dengan pendinginan udara mencapai 7,8% pada temperatur permukaan 40ºC. Sedangkan efisiensi termal sistem diperoleh sebesar 42,2 % dengan masa laju aliaran udara dipertahankan pada 0,052 kg/s. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pendinginan udara dapat diterapkan untuk menjaga panel surya bekerja pada efisiensi terbaik.

NOMENKLATUR

A	Luas (m2)
G	Intensitas Radiasi (W/m2)
T	Temperatur
m	Massa laju aliran udara (kg/s)
Cp	Panas spesfik udara (kJ/kg.oC)
V	Tegangan listrik (Volt)
I	Arus listrik (ampere)
□r	Temperatur referensi = 25 oC

Greek letters

□	Koefisien temperatur (1/oC)
□	Efisiensi (-)

Subsripts

s	saluran masuk udara
p	panel surya
c	Panel
i	Masuk
o	Keluar
m	Maksimum

REFERENSI

Dubey Swapnil, Sandhu GS, Tiwari GN., ***Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector***. Appl Energy, 86:697–705, (2009).

Garg. H.P., Adhikari. R.S., ***System performance Studies on Photovoltaic/Thermal (PV/T) Air Heating Collector***, Renewable Energy, 16, pp.725-730., (1999).

Infield, D, Mei, L and Eicker, U., ***Thermal performance estimation of ventilated PV facades***. Solar Energy, 76(1-3): 93-98, (2004).

Joshi, A J. and Tiwari, A., ***Energy and exergy analysis of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) air collector***, Renewable Energy 32,2223 – 2241., (2007).

Tiwari A, M.S.Sodha, ***Parametric study of various hybrid PV/thermal air collector: Experimental validation of theoretical model***, Solar Energy material & Solar Cells, 91, pp.17-28., (2007).

Zondag, H A., de Vries, D W., van Helden, W G J., van Jolingen, R J C., ***The yield of different combined PV-thermal collector designs***, Solar Energy 74: 253– 269., (2003).

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Analisa Perubahan Temperatur dan Kelembaban Relatif pada Inkubator Penetas Telur yang Menggunakan Fan dan Tidak Menggunakan Fan

Nasruddin[1)], Zainal Arif[(1)]

[1)] *Jurusan Teknik Mesin, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Temperatur,
kelembaban,
kalor,
fan
inkubator

A B S T R A K

Fan sering digunakan pada inkubator penetas telur untuk menyerap udara dari dalam ke luar ingkubator, yang mempengaruhi prinsip perpindahan panas dari sumber kalor. Jenis inkubator yang digunakan pada penelitian ini adalah inkubator rak tunggal ukuran 0,6 x 0,6 x 0,3 m, dengan menggunakan 4 buah lampu pijar masing-masing 5 watt, dengan melakukan dua pengujian, yaitu mengunakan *fan* dan yang kedua tidak menggunakan *fan*, penelitian ini bertujuan untuk melihat perubahan temperature, kelembaban dan penyerapan kalor oleh udara pada kedua inkubator tersebut, dengan cara melakukan pengukuran temperature dan kelembaban baik di dalam maupun diluar inkubator selama 24 jam adapun hasil yang didapat dari penelitian ini adalah fluktuasi suhu yang menggunakan *fan* lebih stabil yaiut 7,5^{0}C, dibangdingkan dengan yang tidak menggunakan *fan* yaitu 7,7^{0}C, Kelembaban udara yang terajdi di dalam inkubator yang tidak menggunakan *fan* lebih fluktuatif 29,9%, sedangkan yang menggunakan *fan* 18,8%, Serapan kalor oleh udara di dalam inkubator yang menggunakan *fan* adalah 1,67 watt berbanding dengan yang tidak menggunakan *fan* 1,46 watt.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan.

Inkubator penetas telur dengan menggunakan pemanas dari bola lampu telah banyak digunakan baik oleh industri sekala kecil maupun besar, juga oleh masyarkat umumnya, keberhasilan penetasan telur ayam sangat dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban, dimana suhu yang baik untuk penetasan berkisar antara 36^{0}C sampai dengan 39^{0}C [1], dengan kelembaban relatif antara 55% sampai dengan 70% [2], namun untuk mendapatkan temperatur yang merata dan kelembaban yang baik untuk penetasan dibutuhkan sumber kalor dan bagaimana perpinahan kalor yang terjadi baik secara konveksi, konduksi dan raediasi. *Fan* adalah salah satu satu alat yang digunakan untuk mengalirkan sejumlah udara dari dalam inkubator keluar inkubator juga berfungsi untuk meratakan aliran panas pada dinding telur. Penggunaan *fan* akan mempengaruhi perpindahan panas terutama koefisien konveksi dari sumber kalor. Temperatur dan kelembaban sangat erat hubungannya dengan perubahan kalor yang terjadi pada inkubator, sehingga disini akan dilakukan penelitian bagaimana perubahan kondisi perpinahan panas dengan menggunakan *fan* pada inkubator penetas telur ayam.

2. Studi Literatur.

Beberapa studi literatur telah dilakukan terhadap beberapa makalah yang berhubungan dengan penetasan telur terutama yang berhubungan dengan temperature, kelembaban dan kalor.

Temperatur dan kelembaban dalam mesin tetas harus stabil untuk mempertahankan kondisi telur agar tetap baik selama proses penetasan, telur akan banyak menetas jika berada pada temperatur antara 36-40°C [3], Embrio tidak toleran terhadap perubahan temperatur yang drastis. Kelembaban mesin tetas sebaiknya diusahakan tetap pada 70 %, Temperatur yang terlalu tinggi akan menyebabkan kematian embrio ataupun abnormalitas embrio, sedangkan

Alamat e-mail: nasruddin.aaf@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

kelembaban mempengaruhi pertumbuhan normal dari embrio [4].

Menurut Hartono (2010) yang meyatakan bahwa suhu penetasan alami berkisar antara 37°C-38°C [5]. Kelembapan untuk telur pada saat awal penetasan sekitar 52%-55% dan menjelang menetas sekitar 60%-70%, itik pada minggu pertama 70% dan minggu selanjutnya 60%-65%, puyuh minggu pertama 55%-70% selanjutnya 65% dan walet 65%- 70% pada setiap minggunya. [2]

Dari hasil studi literature yang tersebut di atas terlihat bahwa temperatur dan kelembaban sangat mempengaruhi keberhasilan penetasan, namun dari hasil literature belum terlihat adanya penelitian yang menyebabkan perubahan temperatur dan kelembaban yang berhubungan dengan perpindahan panas, karena temperatur dan kelembaban sangat dipengaruhi oleh perubahan kalor yang terjadi pada system.

3. Teori dan analisis.

Inkubator adalah salah satu alat yang digunakan untuk membangkitkan dan mempertahankan suhu yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan operasional dari alat, begitu juga dengan inkubator penetas telur yang berfungsi untuk menetaskan telur yang bisa menghasilkan temperatur antara 36^0C sampai dengan 40^0C dan kelembaban 55% sampai dengan 70%, untuk membangkitkan temperatur tersebut dalam alat maka dipasang empat buah lampu pijar 5 watt, arus dan tegangan yang mengalir dari filament lampu secara radiasi akan mengalir ke dinding lampu jika kondisi dalam lampu diasumsikan vakum, sehingga tidak terjadi proses perpindahan panas dari filament ke dinding lampu yang terbuat dari kaca, dari dinding bola lampu akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dan radiasi ke lingkungan sekitar, besarnya perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara yang mengalir disekitar bola lampu, jika menggunakan *fan* maka perpindahan panas akan berlaku hukum perpindahan panas konveksi paksa jika tampa *fan* maka perpindahan panas akan terjadi secara alami. Proses perpindahan panas pada sistem terjadi secara konveksi dan radiasi seperti persamaan berikut :

konveksi secara paksa dan alami tentu saja akan berbeda nilainya, dengan asumsi bahwa bola lamput bulat sempurna, maka persamaanya perpindahan panas pada kondisi konveksi paksa adalah sebagai berikut :

$$q = h\,(\pi D^2)(T_s - T_\infty) \qquad (1)$$

$$q = q_{conveksi+}\, q_{Radiasi} \qquad (2)$$

Nilai h (koefisien konfeksi) sangat tergantung dari aliran yang bekerja pada bidang perpindahan panas.

$$q = h\,A\,(T_s - T_\infty) + \varepsilon A_s \sigma (T_s^4 - T_{Sur}^4) \qquad (3)$$

$$h = \frac{k}{D}\left[2 + \left(0{,}4\,Re_D^{\frac{1}{2}} + 0{,}06 Re_D^{\frac{2}{3}}\right) Pr^{0{,}4}(\mu/\mu_s)^{1/4}\right] \qquad (4)$$

$$Re_D = \frac{VD}{v} \qquad (5)$$

Sedangkan pada kondisi konveksi alamiah adalah sebagai berikut :
Bilangan Rayleigh:

$$Ra_D = \frac{g\beta\Delta T D^3}{v\alpha} \qquad (6)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \qquad (7)$$

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \qquad (8)$$

Menurut Churchill, untuk nilai Pr >= 0,7 dan $Ra_D < 10^{11}$, maka

$$Nu_D = 2 + \frac{0{,}589 Ra_D^{1/4}}{[1+(0{,}469/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \qquad (9)$$

$$h = \frac{Nu\,K}{D} \qquad (10)$$

3.1. Peralatan dan Bahan penelitian Experiment.

Alat dan peralatan yang digunakan untuk penelitian ini aadalah sebagai berikut : Untuk inkubator terbuat dari multiplex dengan ketebalan 5mm dengan ukuran 600x300x300 mm, dilengkapi dengan dengan *fan* 4", 220V, freq 50Hz, Debit udara adalah : 0,23 m^3/menit, dengan menggunakan 4 buah lampu pijar 5 watt yang berfungsi sebagai pemanas, media peletakan telur adalah wire mesh, berfungsi juga untuk melancarkan aliran udara antara bagian atas dan bawah rack tempat telur di susun, sedangkan alat ukur yang digunakan adalah : 1). Environment Meter, berfungsi untuk mengukur kelembaban udara baik di dalam maupun di luar inkubator, 2). digital thermometer, 3). Thermocouple, berfungsi untuk mengukur temperatur di dalam system (inkubator) dan juga temperatur udahara luar.

3.2. Variabel yang di amati

Beberapa variable yang diamati untuk mendukung tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Temperatur udara luar, kelembaban udara luar, temperatur dan kelembaban di dalam inkuator, kemudian pengukuran suhu udaha luar untuk mengatahui besarnya *enthalpy* udara luar yang didapat dari *psychometrics diagram* sehingga dapat dibandingkan besarnya *enthalpy* yang dikandung oleh udara di dalam inkubator pengukuran ini dilakukan selama 24 jam untuk mendapatkan data aktual temperatur di dalam inkubator yang dipengaruhi oleh

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

temperatur udara luar, dengan mengetahui *enthalpy* pada dua posisi tersebut akan diketahui perubahan kalor yang terjadi di dalam inkubator, dan berapa jumlah kalor yang bertambah di dalam inkubator, kalor ini diperoleh dari bola lampu, hal ini dilakukan untuk mengetahu perpindahan panas secara konveksi dan secara radiasi yang terjadi di dalam inkubator, pengukura suhu dilakukan pada beberapa titik di dalam inkubator sehingga didapat temperatur rata-rata, karena tidak terjadi peebedaan suhu yang mencolok di dalam inkubator pada titik pengukuran.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil percobaaan pada penelitian di atas di dapat hasil sebagai beikut :

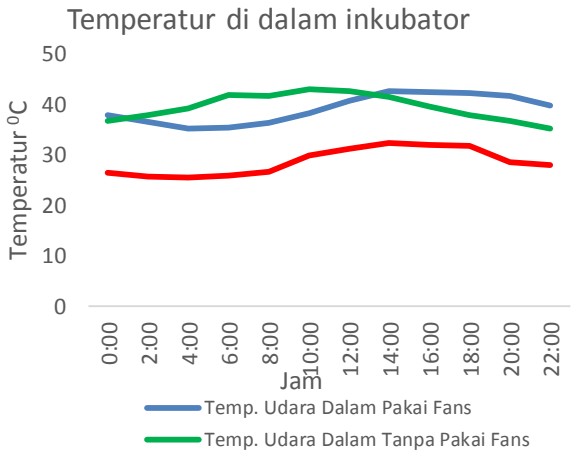
Volume udara dalam inkubator adalah = 0,36 m^3, sedangkan berat jenis udara pada temperatur rata-rata operasional adalah :1,66 Kg/m^3 sehingga berat udara dalam inkubator adalah :0,42 Kg. Sedangkan kalor yang keluar melalu *fan* yang mempunya debit aliran 0,23 m^3/menit atau 0,00383 m^3/detik, dimana massa jenis udara 1,66 Kg/m^3, sehingga massa udara yang keluar adalah 0.00636 kg/det, sehingga besarnya kalor yang terbuang melalui *fan* ini dapat dihitung dengan cara besarnya aliran massa dikali dengan serapan kalor rata-rata udara pada inkubator.

Pada table 1.dapat dilihat perbandingan temperatur pada inkubator yang menggunakan *Fan* dan yang tidak menggunakan *Fan*. Pengukuran dilakukan setiap dua jam selama satu hari.

Tabel 1. Perbandingan temparatur pada Inkubator yang menggunakan *fan*.

Jam	Temp. Udara Luar	Temp. Udara Dalam	Temp. Udara Dalam
		Pakai *Fan*	Tanpa Pakai *Fan*
0:00	26.4	37.9	36.8
2:00	25.7	36.5	37.9
4:00	25.5	35.1	39.1
6:00	25.9	35.4	41.8
8:00	26.7	36.3	41.6
10:00	29.8	38.2	42.9
12:00	31.2	40.7	42.6
14:00	32.4	42.6	41.5
16:00	31.9	42.4	39.6
18:00	31.7	42.3	37.9
20:00	28.6	41.6	36.7
22:00	27.9	39.7	35.2

Jam	Temp. Udara Luar	Temp. Udara Dalam	Temp. Udara Dalam
		Pakai *Fan*	Tanpa Pakai *Fan*
Temp. rata-rata		39,09	39,47
Nilai Minimum		35,10	35,20
Nilai Maximum		42,60	42,90
Selisih Nilai Max-Min		7,5	7,7



Gambar 1. Grafik Perbandingan temperatur di dalam inkubator penetas terlur yang menggunakan *fan* dan tidak menggunakan *Fan*.

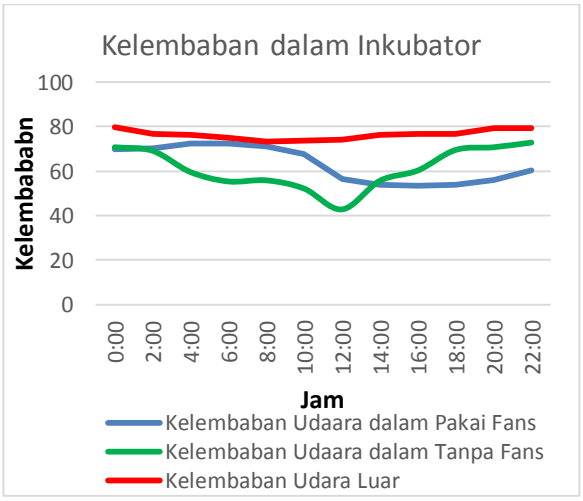
Dari grafik pada gambar 1 menunjukkan bahwa temperatur pada inkubator yang menggunakan *fan* mengikuti perubahan temperatur udara luar, sedangkan yang tidak menggunakan *fan* berlawanan dengan kondisi temperatur luar, *range* suhu atau perbandingan suhu maksimum dan minimum antara yang menggunakan *fan* adalah 7,5^{0}C dan yang tidak menggunakan *fan* 7,7^{0}C, sehingga fluktuasi suhu yang tidak menggunakan *fan* lebih tinggi dari yang tidak menggunakan *fan*.

Pada table 2 menunjukan perbandingan kelembapan udara dalam inkubator yang menggunakan *fan* dan yang tidak menggunakan *fan*, Secara grafis dapat dilihat pada gambar.2. Pada gambar 2 terlihatt bahwa yang tidak menggunakan *fan* fluktuasinya lebih tinggi yaitu :29,9% sedangkan yang menggunakan *fan* hanya 18,8%.

Tabel 2. Perbandingan Kelembaban pada Inkubator yang menggunakan *fan*.

Jam	Kelembaban Udara Luar	Kelembaban Udaara dalam	Kelembaban Udaara dalam
		Pakai *Fan*	Tanpa *Fan*
0:00	79.6	69.6	70.7
2:00	76.9	70.2	69.1

Jam	Kelembaban Udara Luar	Kelembaban Udaara dalam	Kelembaban Udaara dalam
		Pakai *Fan*	Tanpa *Fan*
4:00	76.3	72.4	59.6
6:00	74.9	72.3	55.4
8:00	73.2	70.9	55.9
10:00	73.7	67.8	52.2
12:00	74.3	56.5	42.9
14:00	76.3	53.9	55.7
16:00	76.6	53.6	60.3
18:00	76.9	53.8	69.5
20:00	79.1	55.9	70.7
22:00	79.3	60.1	72.8
Kelembaban rata-rata		63,08	61,23
Nilai Minimum		53,60	42,90
Nilai Maximum		72,40	72,80
Selisih Nilai Max-Min		18,80	29,90



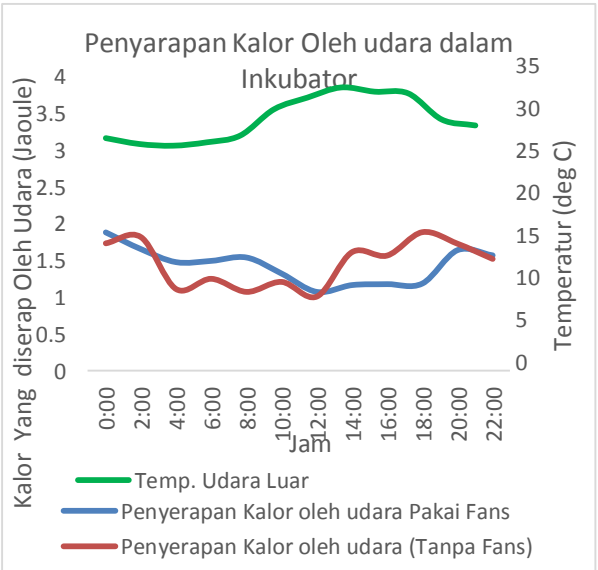
Gambar 2. Perbandingan temperatur di dalam inkubator penetas terlur yang menggunakan *fan* dan tidak menggunakan *Fan*.

Untuk mendapatkan besarnya kalor yang dikandung oleh udara di dalam dan di luar inkubator, kalor ini adalah hasil dari perpindahan panas secara konveksi dan radiasi dari bola lampu, panas yang diberikan sebagian akan mengalir keluar secara konveksi dan konduksi melalui dinding inkubator, tetapi disini kita hanya melihat besaran *enthalpy* (dari *psychometric diagram*) yang dikandung di dalam inkubator dibandingkan dengan diluar ingkubator dan dicari selisihnya untuk mendapatkan besarnya kalor yang diterima oleh udara, untuk yang menggunakan *fan*, besarnya kalor harus di tambah dengan besarnya udara yang mengalir melalui *fan*.

Tabel 3, Serapan Kalor oleh udara di inkubator.

Jam	Temperatur Udara Luar	Penyaerapan Kalor oleh Udara (pakai *fan*)	Penyaerapan Kalor oleh Udara (Tanpa *fan*)
0:00	26.4	1.88496	1.7304
2:00	25.7	1.65816	1.81398
4:00	25.5	1.48218	1.113
6:00	25.9	1.4994	1.2516
8:00	26.7	1.54518	1.0752
10:00	29.8	1.3272	1.2096
12:00	31.2	1.0794	1.0122
14:00	32.4	1.1718	1.61112
16:00	31.9	1.1844	1.56576
18:00	31.7	1.1928	1.88076
20:00	28.6	1.64472	1.72536
22:00	27.9	1.57416	1.51998
Penyerapan Kalor rata-rata		1,44	1,46
Nilai Minimum		1,08	1,01
Nilai Maximum		1,88	1,88
Selisih Nilai Max-Min		0,81	0,87

Dalam gambar 3, memperlihatkan besarnya serapan kalor oleh udara yang ada di ruang inkubator yang diukur berdasakarkan temperatur dan kelembaban.



Gambar 3. Grafik Serapan Kalor oleh udara di dalam inkubator.

Dari table 3 dan gambar 3 terlihat bahwa serapan kalor rata-rata untuk inkubator dengan menggunakan *fan* adalah 1,43 Watt ditambah dengan kehilangan kalor dari massa yang mengalir dari *fan* sebesar 0,24 Watt, total 1,67 Watt, sedangkan yang tidak menggunakn *fan* adalah 1,46 Watt, nilai ini diperoleh dengan assumsi bahwa kehilangan panas atau heat loss sama pada kedua inkubator.

Dari gambar 3 memperlihatkan bahwa fluktuasi serapan kalor oleh udara pada inkubator tanpa *fan* sangat fluktuatif dimana besarnya *range* maksimum dan minimum 0,86 berbanding dengan 0,80 pada inkubator yang memakai *fan*.

5. Kesimpulan.

Dari percobaan dan penelitian di atas dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

1. Fluktuasi suhu yang menggunakan *fan* lebih stabil 7,5^{0}C, dibangdingkan dengan yang tidak menggunakan *fan* yaitu 7,7^{0}C
2. Kelembaban udara yang terajdi di dalam inkubator yang tidak menggunakan *fan* lebih fluktuatif 29,9%, sedangkan yang menggunakan *fan* 18,8%
3. Serapan kalor oleh udara di dalam inkubator yang menggunakan *fan* adalah 1,67 watt berbanding dengan yang tidak menggunakan *fan* 1,46 watt.

NOMENKLATUR

Pr = Bilangan Prandle

Q = Perpindahan Kalor [Watt]

μ = Viskositas dinamik pada bidang Bulk [N.s/m^2]

μ_s = Viskositas dinamik pada Dinding [N.s/m^2]

v = Viskositas Kinematic Fluida [m^2/s]

D = Diamaeter Hidrolic Bola Lampu [m]

T_s = Suhu dinding bola lampu [^{0}C]

T_∞ = Suhu udara system [^{0}C]

K = Kunduktifitas Panas [Watt/m^{0}K]

R_e = Bilangan Reynold.

β = *Volumetric Thermal Expansion* [1/^{0}K]

g = Grafitasi [m/det^2]

α = Defusivitas Panas [m^2/s]

REFERENSI.

[1] Maulidya Siella Ningtyas, Ismoyowati, Ibnu Hari Sulistyaw. " Pengaruh Temperatur Terhadap Daya Tetas Dan Hasil Tetas Telur Itik (Anas plathyrinchos)" Maulidya Siella Ningtyas dkk/Jurnal Ilmiah Peternakan 1(1):347-352, April 2013.

[2]. Parry B. Paimin. 2011. Mesin Tetas. Jakarta. Swadaya

[3]. Parkust, C. R and Mountney. 1998. Poultry Meat and Egg Production. Van Nostrand Reinhold. New York.

[4]. Wulandari, A. 2002. Pengaruh Indeks dan Bobot Telur Itik Tegal Terhadap Daya Tetas, Kematian Embrio dan Hasil Tetas. Skripsi Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto

[5]. Hartono, T dan Isman. 2010. Kiat Sukses Menetaskan Telur Ayam. AgroMedia Pustaka. Yogyakarta

[6]. Incropera/ Dewitt / Bergman /Levine, Fundamentals of Heat Transfer, Sixth Edtion, School of mechanical Engineering Purdue University.

[7]. J.P Holman, Heat Transfer, Professor of Mechanical Engineering Southem Methodist University, McGraw-Hill Book Company New York.

[8]. Yunus A. Changgel, Heat Transfer, Complete Solution Manula, A practical Approach, Second Edition, Juli 2002

[9]. J.M. Romau, Tgu. Moraes. 2009.Effect Of Relatif Humidity On Incubations Of Japanese Quall Eggs. Journal Of Universidad Politecniea De Madrid.

□TAR

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Life Cycle Analysis pada Pembangkit Tenaga Listrik Mini Hidro di Lhoksandeng, Meuruedu, Pidie Jaya

Teuku Azuar Rizal[a, *], Nasruddin[a], Hamdani [a]

[a]*Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
mini hidro,
life cycle analysis (LCA),
economic input-output (EIO),
energi,
emisi gas rumah kaca,
energy pay-back time (EPBT)

A B S T R A K

Pengurangan ketergantungan pasokan listrik dari sumber-sumber di luar Provinsi Aceh menjadi isu yang semakin penting yang mendorong pemerintah daerah untuk terus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya energi alternatif lokal yang dimilikinya. Salah satunya adalah melalui peningkatan produksi listrik independen (Indepent Power Producer - IPP) bertenaga hidro sebagaimana yang akan dibangun di wilayah Pidie Jaya. PLTMH ini memanfaatkan aliran Sungai Meureudu, yang berada di Desa Lhoksandeng untuk menghasilkan output daya 5,033 MW. Potensi ini diharapkan dapat menjadi sumber energi yang dapat diandalkan dan dapat digunakan terus menerus (sustainable). Tulisan ini bertujuan untuk melakukan LCA yang menggunakan teknik input-output ekonomis (EIO-LCA) guna mengkuantifikasi penggunaan energi, pelepasan gas rumah kaca, dan jangka pengembalian energi atau Energy pay-back time (EPBT) pada PLTM Lhoksandeng. EPBT yang diperoleh adalah 0.530 tahun, dengan emisi gas rumah kaca sebesar 0,292 gCO2eq/kWhe.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Latar belakang

Secara umum, provinsi Aceh masih mengalami defisit pasokan listrik. Saat ini, kebutuhan listrik Aceh masih bergantung dari pasokan listrik dari pembangkit listrik di Sumatera Utara yang memasok sebesar 165 MW. Beban puncak total sistem Aceh saat ini mencapai 270 MW yang dipasok oleh dua sistem interkoneksi sebesar 195 MW (dipasok oleh pembangkit di Sumatera Bagian Utara sebesar 165 MW dan dari PLTD Lueng Bata, Sigli dan Lhokseumawe sebesar 30 MW) dan Sistem Isolated 75 MW (dipasok dari PLTD Blang Keujeren, Takengon, Meulaboh dan Sabang). Berdasarkan data tersebut, maka jumlah tenaga listrik yang dipasok pembangkit yang ada di wilayah Aceh hanya sebesar 105 MW dengan defisit sebesar 165 MW jika pasokan dari Sumatera Bagian Utara terhenti..[1]

Pemerintah Pusat dan Aceh terus berupaya melakukan peningkatan kapasitas listrik di Aceh dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap pasokan dari Sumatera Utara, antara lain dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif seperti hidro dan panas bumi. Potensi panas bumi yang dimiliki Aceh mencapai 1.115 Mwe sedangkan potensi hidro mencapai 1.482,50 MW.[1]

Tabel 1. Sumber Energi di Provinsi Aceh

No	Sumber Produksi Energi	Energi (MW)
1	Provinsi Aceh	105
2	Sumatra Barian Utara	165

Sumber: ESDM

Di sisi lain, peningkatan penggunaan energi dan proses pembangunan pembangkit energi juga menimbulkan problema tersendiri. Beberapa diantara problematika yang dihadapi adalah penggunaan energi pada saat proses pembangunan serta pelepasan emisi gas rumah kaca (GRK). Kedua hal ini menjadi sorotan karena kondisi kekinian yang dialami bumi saat ini berada pada tahap yang mengkhawatirkan dimana sumber daya energi *mainstream* yang semakin berkurang serta tingkat efek pemanasan global yang semakin nyata. Pemanfaatan energi alternatif semakin menjadi pilihan.

Alamat e-mail: azuarrizal@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Meskipun demikian, opsi teknologi alternatif yang akan diimplementasikan tetap memiliki potensi penggunaan sumber daya energi, pembentukan emisi karbon, dan beberapa dampak lingkungan lainnya. Oleh karena emisi karbon memiliki nilai harga dan ketentuan pembatasan emisi, hal ini mendorong pemanfaatan teknologi yang dapat mengurangi secara signifikan jumlah emisi yang timbul yang mungkin saja melampaui kebijakan mitigasi GRK. Untuk itulah, sangat dibutuhkan adanya kebijakan emisi GRK dalam lingkup nasional, regional dan international yang nantinya akan menghitung pelepasan dan pengurangan emisi suatu kegiatan selama siklus aktifnya (*life-cycle*) [2].

Secara umum, pembangkit tenaga air biasanya dikelompokkan dalam ukuran dan jenis (*run-of-river*, *reservoir* dan *pumped storage*). Meskipun tidak terdapat kesepakatan mengenai definisi pembangkit secara khusus, namun proyek pembangkit tenaga air (*hydropower*) umumnya didefinisikan sebagai berikut [3]:

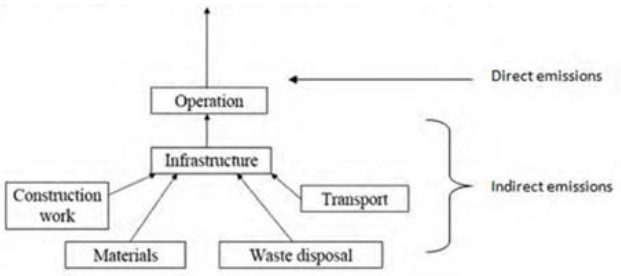
1. Pembangkit Besar: 100 MW ke atas, biasanya tersambung ke jaringan listrik utama
2. Pembangkit Medium: berkisar antara 20 MW hingga 100 MW, selalu tersambung ke jaringan listrik utama
3. Pembangkit Kecil: berkisar dari 1 MW hingga 20 MW yang juga selalu tersambung ke jaringan listrik utama;
4. Pembangkit Micro: dari 5 kW hingga 100 kW biasanya untuk memasok energi kepada kelompok masyarakat ataupun industri pedesaan yang jauh dari jaringan listrik utama; dan
5. Pembangkit Pico: sekitar beberapa ratus watt hingga 5 kW

Tabel 2. Pendefinisian Pembangkit Listrik Tenaga Air ukuran Kecil, Small Hydropower

Negara	Small Hydropower (MW)
Brazil	≤30
Kanada	≤50
Cina	≤50
Eropa Bersatu	≤20
India	≤25
Norwegia	≤10
Swedia	≤1.5
Amerika Serikat	5-100

Sumber: IPCC, 2011 dan IJHD, 2010

Siklus hidup emisi dari sebuah fasilitas pembangkit listrik mencakup emisi yang dikaitkan dengan proses konstruksi dan proses pembongkaran pembangkit pada saat tidak digunakan atau emisi tak langsung (*indirect emissions*), demikian juga emisi yang dihasilkan dari selama masa operasional atau yang lebih sering dianggap sebagai emisi langsung (*direct* emissions). Secara ideal, siklus hidup emisi GRK pembangkit dihitung dalam interval waktu yang cukup panjang untuk menjawab semua efek yang muncul dari pembangkit dan siklus bahan bakarnya, dan, dalam hal pembangkit bertenaga air, meliputi keseluruhan *watershed*. Berkaitan dengan waktu tinggal, maka interval waktu 100-tahun direkomendasikan oleh IPCC (juga telah diadopsi oleh UNFCCC) sebagai standar waktu perbandingan emisi GRK. [4][5]



Gambar 1. Bagan rangkaian produksi listrik pada pembangkit listrik bertenaga air

2. Gambaran Umum Projek PLTMH Lhoksandeng

2.1. Kondisi Umum

Menurut kategori sebagaimana yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, maka pembangkit listrik bertenaga air dengan kapasitas output daya ≥ 5 MW masuk dalam kategori ukuran kecil atau mini. Sehingga dengan demikian penamaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH) Lhoksandeng sesuai dengan kategori yang umum digunakan. PLTMH Lhoksandeng ini berada di Desa Lhoksandeng, kecamatan Meurudue, Pidie Jaya,: Provinsi Aceh. PLTMH ini ini memanfaatkan aliran Sungai Meureudu, yang dirancang mampu menghasilkan output daya 5,033 MW [6].

Tabel 5. Kajian awal pengembangan

Hidrologi	
Luas DAS (km^2)	316.9
Hujan tahunan rata-rata (mm)	2385
Debit rata-rata (m^3/s)	10.82
PLTM	
Debit rancangan (m^3/s)	9.4
Kapasitas terpasang (MW)	2 × 2.7

Kapasitas dapat terjual (MW)	5.033
Tinggi jatuh efektif (m)	65.41
Energi rata-rata (GWh/tahun)	36.317
Bendung	
Tipe	Graviti
Panjang (m)	45.00
Pelimpah	Bebas
Muka air normal (MAN, El m)	+255.0
Pengurasan	Tidak kontinu
Peredam energi	Bak loncatan
Bangunan pengambilan	
Tipe	Terbuka
Saluran hantar	
Tipe	Terbuka/tertutup
Bentuk penampang	Segiempat
Kecepatan (m/s)	1.50
Lebar dasar (m)	2.10
Tinggi (m)	3.50
Panjang (m)	2140
Kemiringan dasar	0.00091098
Kolam penenang	
Bentuk	Segiempat
Dinding	Beton
Pipa pesat	
Tipe	Pipa diatas permukaan tanah
Diameter	2.21
Ketebalan rata-rata (mm)	8.8
Panjang (m)	205
Gedung sentral	
Tipe	Diatas permukaan tanah, *indoor*
Tipe turbin	Francis
Jumlah unit	2

2.2. Deskripsi Komponen PLTMH

Komponen PLTMH terdiri dari antara lain sebagai berikut.

1. Komponen bangunan sipil terdiri dari bendung, bangunan sadap, kolam endap, saluran hantar, kolam penenang, fondasi pipa pesat, gedung sentral dan jalan akses.
2. Komponen pekerjaan metal terdiri dari pipa pesat, pintu air dan saringan sampah.
3. Komponen peralatan mekanikal dan elektrikal terdiri dari turbin-generator, governor, katup inlet, peralatan pengangkat, transformator, panel hubung (switchgear), peralatan kontrol, saluran distribusi dan gardu hubung 20 kV

3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode Economic *Input-Output Life Cycle Assessment* (EIO-LCA). Metode ini oleh beberapa kalangan dianggap sebagai metode yang mudah, murah serta cepat dalam melakukan LCA. Metode ini dipakai untuk memperkirakan atau mengestimasi sumber daya material dan energi yang dibutuhkan untuk sebuah kegiatan, sekaligus menghitung emisi yang dilepaskan ke lingkungan berdasarkan besaran nilai ekonomi kegiatan yang dilakukan. Metode EIO-LCA ini pada mulanya diteorikan oleh *Wassily Leontief*, yang selanjuntya dikembangkan oleh Green Design Institute di Universitas Carnegie Melon menjadi metode EIO-LCA yang operasional menggunakan matrix kalkulasi berbasis web. Kalkulasi EIO-LCA ini dilakukan menggunakan basis data input-output ekonomi di negara Amerika Serikat [7][8].

Basis data yang digunakan dalam penelitian ini merujuk kepada data ekonomi Amerika Serikat tahun 1997. Penggunaan basis data ini dilakukan, semata-mata, karena hingga saat ini belum ditemukan basis data yang secara spesifik menggunakan parameter EIO-LCA yang relatif sesuai untuk negara Indonesia ataupun negara dengan karakteristik perekonomian yang mirip dengan Indonesia. Hasil yang diperoleh dari penggunaan perangkat daring EIO-LCA memberikan panduan tentang dampak relatif dari berbagai jenis produk, material dan jasa atau industri yang berkaitan dengan sumber daya yang digunakan serta emisi yang dilepaskan di dalam arus penyediaannya (*supply chain*). Sehingga, dampak dari produksi suatu produk akan mencakup seluruh kegiatan pada fasilitas perakitan ditambahkan dengan dampak dari kegiatan penambangan dan pemrosesan material, serta pembuatan komponen pendukung yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk. [7][8]

Karena analisis LCA dalam penelitian ini didasarkan kepada perhitungan biaya maka tolok ukur penentuan biaya harus diperjelas. Biaya dapat dihitung menggunakan beberapa cara, dimana masing-masing pendekatan dapat menyebabkan timbunya perbedaan pada hasil analisis akhir LCA. Biaya yang dapat dihitung, pada umumnya mencakup biaya-biaya peralatan seperti turbin, modul PV, pemantul solar; biaya penggantian suku cadang, biaya finansial, total biaya pemasangan dan variabel biaya operasional dan maintenan (O&M), biaya bahan bakar, dan terakhir adalah *levelised cost of energy* (LCOE). Analisis biaya yang dilakukan bisa saja menjadi sangat detail, akan tetapi untuk tujuan perbandingan dan transparansi, maka

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

perhitungan biaya yang digunakan dalam penelitian ini diambil hasil perhitungan yang sederhana. Tujuan dari penyederhanaan ini adalah untuk memudahkan penggunaan data, asumsi-asumsi, peningkatkan transparansi dan kepastian dalam analisis, serta untuk dapat memudahkan perbandingan biaya berdasarkan negara atau wilayah dimana teknologi yang sama diterapkan. Upaya penyederhanaan ini juga diharapkan dapat membantu mengidentifikasi perbedaan-perbedaan yang mungkin ditemukan.[3]

4. Analisis

Pada proses pembangunan fasilitas PLTMH ini, total biaya untuk masing-masing kegiatan adalah:

Tabel 3. Rekapitulasi Biaya Pembangunan dan Operasional PLTM, Lhoksandeng

No	Deskripsi Kegiatan	Total [IDR] (106)	Biaya
1	Konstruksi Sipil	73.946	
2	Peralatan M & E	26.722	
3	O & M tahunan (diasumsikan 3% dari total biaya)	3.020	

Tabel 4. Inventori penggunaan energi dan emisi gas rumah kaca untuk kegiatan pembangunan PLTM lhoksandeng.

No	Deskripsi Kegiatan	Biaya* [Rp] (10^6)	Biaya** [USD] 10^6	Energy [TJ]	Emisi GRK [MgC O_{2eq}]
1	Konstruksi Sipil	1.7252,916	6,288	54.382,56	4.328,20
2	M & E Equipment	6.362,381	2,272	14.912,60	1.219,65
3	O&M	3.020,04	8,305	62,74	5.070,09
	Total	26.635,337	16,865	69.358	10.618

* biaya dihitung ulang berdasarkan nilai mata uang rupiah pada tahun 1997

** biaya pembangunan dihitung dalam kurs USD pada tahun 1997

Dengan menggunakan kalkulasi Varun et.all. 2008, dimana:

$$EPBT = \frac{Input\ energi\ yang\ digunakan\ di\ semua\ tahap}{Energi\ output\ yg\ dihasilkan\ per\ tahun} \quad (1)$$

maka diperoleh hasil sebagai mana ditampilkan pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. EPBT & emisi GRK

No	Karakteristik	Nilai
1	Kapasitas [MW]	5,033
2	Energi yang Dihasilkan [kWh_e/thn]	36.317.000
3	EPBT [tahun]	0,530
4	Emisi Rumah kaca [gCO_{2eq}/kWh_e]	0,292

5. Kesimpulan

Studi LCA terhadap PLTMH Lhoksandeng telah dilakukan. Hasilnya memperlihatkan bahwa *energy pay-back time* (EPBT) adalah 0.530 tahun, dengan emisi gas rumah kaca sebesar 0,292 gCO_{2eq}/kWh_e.

REFERENSI

[1] SF (ESDM), "Kurangi Ketergantungan Pasokan Listrik Sumatera Utara, Pemerintah Aceh Optimalkan Energi Alternatif," *2012*.

[2] D. Weisser, "A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies," PESS / IAEA, Vienna, 2001.

[3] IRENA, "Hydropower." IRENA, Abu Dhabi, 2012.

[4] IPCC, "Climate change: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC," New York, USA, 2006.

[5] W. Steinhurst, P. Knight, and M. Schultz, "Hydropower Greenhouse Gas Emissions," Cambridge, MA, 2012.

[6] Indonesia Hydro Consult, "Laporan Studi Awal PLTM Lhoksandeng, Pidie Jaya, Nanggroe Aceh Darussalam," Meureudu, Pidie Jaya, 2013.

[7] Carnegie Mellon Institute, "eiolca.net tutorial." [Online]. Available: http://www.eiolca.net/tutorial/EIOLCA_Tut_1.html. [Accessed: 12-Jun-2014].

[8] Varun, R. Prakash, and I. K. Bhat, "Life Cycle Energy and GHG Analysis of Hydroelectric Power Development in India," *Int. J. Green Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 361–375, Jul. 2010.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Kaji Eksperimental Unjuk Kerja Pengering Surya Tipe Lorong Untuk Mengeringkan Ikan

Syamsul Bahri Widodo[1, *], Muhammad Amin[2] dan Hamdani[3]

[1,2,3] *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Kota Langsa, 24416 Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Energi Surya,
Pengering, Tipe Lorong,
Ikan,
Kandungan Air,
Temperatur,
Radiasi Surya,
Kota Langsa.

A B S T R A K

Pada Tahun 2013, produksi ikan tangkap dan ikan tambak Kota Langsa masing-masing 7.185 Ton, dan 2.195 Ton. Salah satu usaha yang dilakukan nelayan dalam meningkatkan pendapatannya adalah melakukan produksi ikan kering. Sampai saat ini masyarakat sekitar belum mampu menghasilkan ikan kering yang berkualitas, karena sistem pengeringan yang dilakukan masih secara alami. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan dan pengujian satu unit pengering tenaga surya tipe lorong (*solar tunnel dryer*) untuk mengeringkan ikan. Alat pengering yang telah dibuat memiliki ukuran panjang 240 cm x lebar 80 cm yang didalamnya ada 2 buah rak yang masing-masing dengan ukuran 120 cm x 80 cm. Hasil pengujian pada alat pengering surya tanpa beban diperoleh temperatur dalam ruang cenderung konstan pada kisaran 60-64 ^{o}C, kelembaban relatif pada kisaran 42-44%. Dari hasil pengujian alat pengering dengan beban pengeringan ikan mujair dengan berat kotor 1 kg, diperoleh massa akhir ikan kering adalah 0,28 kg, waktu pengeringan 24 jam. Hasil pengujian alat pengering energi surya tipe lorong dengan beban ikan mujair sebanyak 15 kg, diperoleh berat akhir ikan kering adalah 6,28 kg dengan waktu pengeringan 24 jam dan efisiensi pengeringnya sebesar 10,46%. Kadar air awal ikan hasil pengukuran diperoleh 71 %, dan kadar air ikan kering adalah 17,14%. Pada saat yang sama juga dilakukan pengujian pengeringan dengan cara menjemur 1 kg ikan mujair. Setelah dijemur selama 48 jam (2 hari) diperoleh kadar air akhir ikan kering sebesar 32,84%. Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa alat pengering tenaga surya tipe lorong dapat digunakan oleh nelayan Kota Langsa untuk meningkatkan produksi dan kualitas ikan kering.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Ikan merupakan bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan terutama dalam keadaan segar akan cepat mengalami kerusakan biokemis maupun secara mikrobiologis. Kerusakaan biokemis disebabkan oleh adanya enzim-enzim dan reaksi-reaksi biokemis yang masih berlangsung pada tubuh ikan segar. Kerusakan mikrobiologis disebabkan oleh adanya pertumbuhan mikroba yang ada dipermukaan maupun didalam tubuh ikan. Salah satu cara untuk melakukan pengawetan ikan adalah dengan cara pengeringan [1].

Sistem pengering yang banyak digunakan adalah pengeringan secara tradisional dengan cara penjemuran. Proses pengeringan ini dilakukan dengan cara menghamparkan ikan yang telah dibersihkan diatas dipan (rak) yang terbuat dari papan atau jala langsung di bawah sinar matahari selama sekitar satu minggu di musim hujan dan 4-5 hari di musim panas [2]. Permasalahan utama pengeringan secara tradisional adalah menjaga debu dan kotoran lain yang menempel pada tubuh ikan kering. Hal ini yang menyebabkan kualitas ikan kering tersebut tidak dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang lama.

Pemanfaatan alat pengering buatan yang mampu menghasilkan produk dengan kualitas baik dan biaya investasi yang murah merupakan solusi yang dapat diterapkan kepada masyarakat nelayan.

Alamat e-mail: ir.syamsulbahriwidodo@yahoo.co.id
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Banyak kajian yang telah dilakukan yang menyimpulkan bahwa penggunaan alat pengering tenaga surya tipe lorong (*solar tunnel dryer*) mampu menghasilkan ikan kering dengan waktu pengeringan yang singkat, dan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan pengeringan tradisional dengan cara penjemuran [2,3,4].

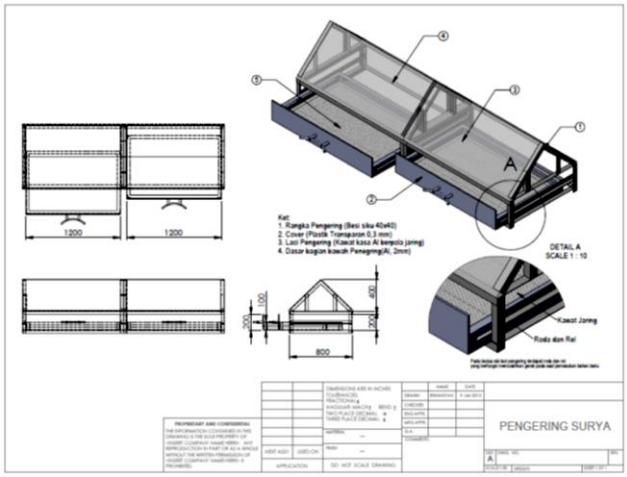
Berbagai kajian yang telah dilakukan untuk mempelajari unjuk kerja pengering tenaga surya tipe lorong untuk mengeringkan produk pertanian pada kondisi iklim yang berbeda [5,6,7]. Hasil kajian terbaru penggunaan alat pengering tenaga surya tipe lorong adalah pemanfaatan panel tenaga surya untuk penyediaan tenaga listrik penggerak kipas angin (fan) [7]. Akan tetapi sampai saat ini belum ada hasil kajian pemanfaatan alat pengering tenaga surya tipe lorong untuk mengeringkan ikan di wilayah Kota Langsa Provinsi Aceh yang banyak memiliki potensi perikanan yang banyak.

Pada tahun 2013 nelayan pesisir Kota Langsa telah melakukan produksi ikan tangkap sebesar 7.185 Ton, dan ikan tambak sebesar 2.195 Ton. Salah satu usaha yang telah dilakukan nelayan untuk meningkatkan pendapatannya adalah meningkatkan nilai tambah ikan melalui produksi ikan kering yang banyak diminati oleh pedagang Kota Medan. Akan tetapi sampai saat ini masyarakat sekitar belum mampu menghasilkan ikan kering yang berkualitas, karena sistem pengeringan yang dilaukan masih secara tradisional.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat alat pengering ikan tenaga surya tipe lorong, dan melakukan kaji eksperimental unjuk kerja alat tersebut pada proses pengeringan ikan di wilayah Kota Langsa, Provinsi Aceh.

2. Metodologi

Alat pengering tenaga surya tipe lorong yang telah dibuat pada penelitian ini sebagai mana diperlihatkan dalam Gambar 1. Alat pengering tenaga surya tipe lorong yang telah dibuat memiliki lebar 0,8 m, dan panjang ruang pengering 1,2 m dan 1,2 m. Sebagai rangka kolektor digunakan besi siku ukuran 3cm x 3cm, tebal 2 mm juga sebagai dudukan plastik transparan. Tempat peletakan ikan yang dilengkapi dengan kawat jaring dibuat berbentuk laci untuk kemudahan pada saat meletakkan ikan basah dan pengambilan ikan kering. Kapasitas maksimum alat pengering dirancang mampu untuk mengeringkan ikan 20 kg.



Gambar 1. Ukuran alat pengering surya tipe lorong yang digunakan pada penelitian ini.

Untuk menimbulkan gerakan udara dalam ruang pengering digunakan cerobong udara berbentuk persegi empat. Saluran cerobong mempunyai ukuran 0,28 m x 0,28 m dan tinggi 1,56 m. Rangka cerobong digunakan besi siku, dinding cerobong digunakan triplek tebal 6 mm. Bagian dalam cerobong dilapisi dengan plat seng tebal 0,4 mm. Secara langkap bentuk alat pengering tenaga surya tipe lorong yang telah dibuat dan digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.



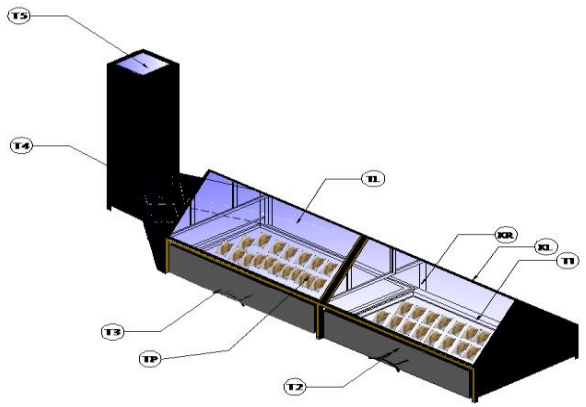
Gambar 2. Bentuk alat pengering ikan yang telah berhasil dibuat.

Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi perubahan temperatur dalam ruang pengering, kecepatan angin, kelembaban udara, radiasi matahari dan perubahan berat. Perubahan temperatur diukur dengan temokopel tipe J, dan hasil pengukuran dibaca melalui tampilan pada *Digital Termometer-Thermocouple*. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer. Kelembaban udara dalam ruang pengering dan udara luar diukur menggunakan alat ukur jenis *Environment meter*. Pembacaan kelembaban (RH%) menggunakan E*nvironment meter* ini dibatasi sampai 95% saja, sementara pengaruh temperatur tidak

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

diperhitungkan. Perubahan berat ikan diukur dengan timbangan digital. Radiasi matahari dilihat melalui perkiraan dengan menggunakan bantuan software Homer. Untuk mengetahui posisi lintang digunakan GPS. Posisi lintang ini membantu dalam mengetahui radiasi matahari pada hari-hari yang diinginkan.

Gambar 3, mempelihatkan posisi peletakan termokopel untuk pengukuran perubahan temperatur. Sebanyak 6 (enam) termokopel digunakan pada penelitian ini, dimana 4 termokopel digunakan untuk mengukur perubahan temperatur dalam ruangan, 2 termokopel untuk pengukuran perubahan temperatur pada permukaan plastik transparan, dan perubahan temperatur udara keluar cerobong. Sedangkan perubahan temperatur udara luar diukur menggunakan thermometer batang.



Gambar 3. Lokasi peletakkan termokopel untuk pengukuran temperatur.

Secara spesifik termokopel tersebut adalah: T1-Temperatur pemukaan plastik transparan; T2-Temperatur rak 1; T3-Temperatur rak 2; Tp-Temperatur permukaan produk; T4-Temperatur udara masuk cerobong ; T5-Temperatur udara keluar cerobong; TL-Temperatur udara luar; KR-Kelembaban udara dalam, KL- kelembaban udara luar

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di area lapangan Fakultas Teknik, Universitas Samudra mulai tanggal 27-31 Mei 2014. Pada tanggal 27 Mei 2014 dilakukan penelitian dengan ruang pengering tanpa beban pengering dan pada tanggal 28-29 Mei dilakukan penelitian pengeringan dengan berat kotor ikan 1 kg. pada tanggal 30-31 Mei dilakukan penelitian pengeringan dengan berat kotor ikan 15 kg.

Pengujian tanpa beban yang dilakukan mulai pukul 9.00 pagi dan diakhiri pukul 17.00 sore. Sedangkan pada kondisi ada beban, pengujian dilakukan selama 24 jam dimulai dimulai pukul 9.00 pagi.

Penelitian unjuk kerja alat pengering dengan adanya beban pengering dilakukan dengan dua pengujian. Untuk penelitian tersebut digunakan ikan mujair dengan dengan berat perekor antara 90-120 gram, lebar antara 8–8,5 cm dan panjang antara 15-20 cm. Pada pengujian pertama digunakan ikan mujair dengan berat kotor 1 kg, dan pada pengujian kedua digunakan ikan mujair dengan berat kotor 15 kg. Pengujian dimulai dengan membersihkan ikan degan cara dibelah dan dibuang insang dan isi perutnya. Sampel ikan yang telah dicuci bersih ditimbang berat awalnya.

Pencatatan perubahan parameter pengujian dilakukan setiap 30 menit, dan penelitian dihentikan pada saat tidak ada lagi perubahan massa pada ikan (konstan), ikan dianggap sudah kering.

Banyak air yang menguap selama proses pengeringan (m_{air}) diperoleh dari selisih massa ikan awal (m_{awal}) dengan massa ikan setelah dikeringkan (m_{akhir}) atau dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$m_{air} = m_{awal} - m_{akhir} \quad (1)$$

Energi yang digunakan untuk menguapkan air ($Q_{evaporasi}$) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{evaporasi} = m_{air}\ x\ h_{fg} \quad (2)$$

dimana h_{fg} adalah entalpi penguapan air.
Efisiensi pengering harian dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\eta_{pengering} = \frac{Q_{evaporasi}}{Q_{radiasi}}\ x\ 100\% \quad (3)$$

Energi radiasi ($Q_{radiasi}$) energi surya yang diterima oleh kolektor dihitung dengan persamaan :

$$Q_{radiasi} = I_{total}\ x\ A_{kolektor} \quad (4)$$

Dimana I_{total} adalah intensitas radiasi energi surya selama pengujian. $A_{kolektor}$ adalah luas permukaan kolektor. Intensitas radiasi eergi surya ditentukan dengan persamaan :

$$I_{total} = \int_{to}^{ti} I(t)\ dt \quad (5)$$

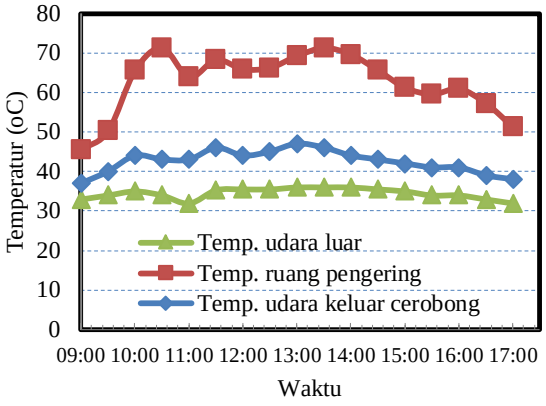
dimana I(t) adalah intensitas radiasi hasil pengukuran, t_o dan t_i selang waktu pelaksanaan pengeringan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian tanpa beban

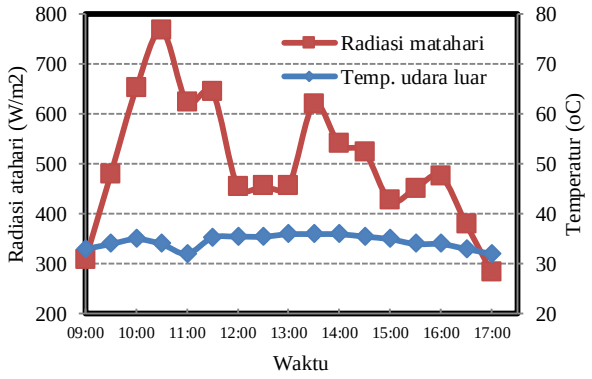
Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban digambarkan dalam grafik sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



Gambar 4. Distribusi temperatur pada pengujian tanpa beban

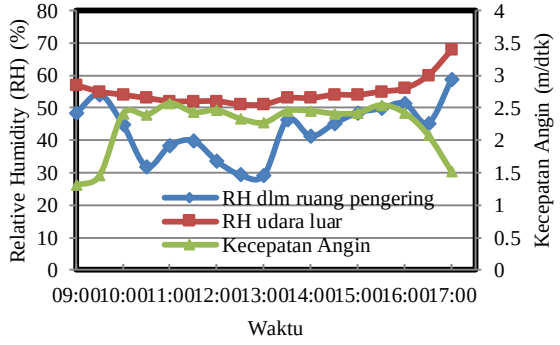
Dari grafik terlihat temperatur udara dalam ruang pengering meningkat dengan cepat pada pukul 09:00 sampai pukul 12:00, dan kemudian hampir konstan pada kisaran 64-70ºC. ini selaras dengan perubahan temperatur udara lingkungan, dan radiasi matahari. Gambar 5.



Gambar 5. Radiasi matahari dan temperatur udara luar pada pengujian tanpa beban

Dari gambar terlihat pada pagi hari kondisi cuaca cerah sampai dengan pukul 11:00 siang. Mulai pukul 12:00 sampai 13:00 cuaca mendung dan kemudian cerah kembali. Hasil pengujian secara keseluruhan, diperoleh temperatur rata-rata dalam ruang pengering cenderung konstan pada 60-62 ºC. Hasil ini menunjukkan alat pengering yang telah dibuat layak untuk digunakan untuk mengeringkan ikan.

Hasil pengukuran kelembaban relatif udara luar dan kelembaban relatif udara dalam ruang pengering serta kecepatan angin di luar ruang pengering ditunjukkan dalam Gambar 6.

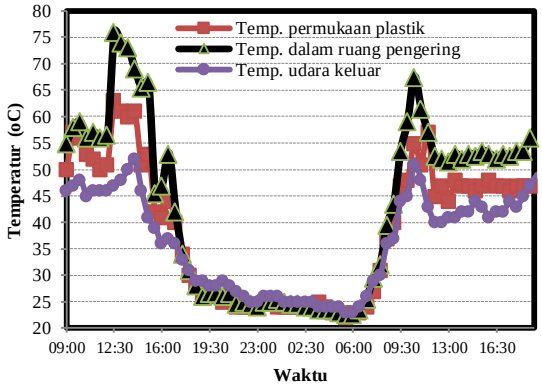


Gambar 5. Grafik RH dan kecepatan angin

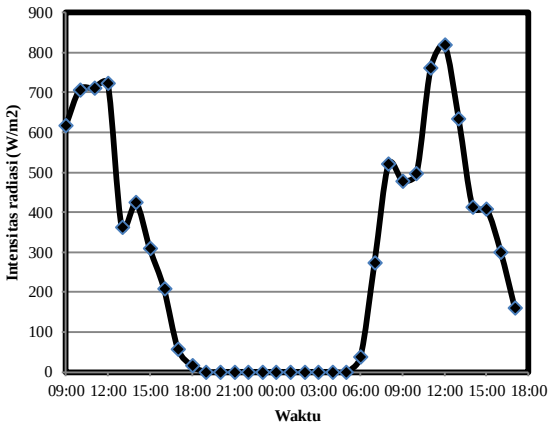
Dari Gambar 5 terlihat bahwa peningkatan kecepatan angin tidak mempengaruhi RH dalam ruang secara nyata. Pada pukul 09:00 sampai dengan 11:00, terlihat RH dalam ruang pengering cederung menurun, hal ini akibat meningkatnya temperatur udara dalam ruang pengering. Sedangkan kenaikan RH dalam ruang pengering pada pukul 14:00-17:00, diakibatkan oleh semakin menurunya radiasi surya yang diterima oleh alat pengering. RH dalam ruang pengering diperoleh pada kisaran 42-44%. Berdasarkan perubahan RH dalam ruang pengering dapat dinyatakan bahwa alat pengering tersebut dapat digunakan untuk mengeringkan ikan yang memiliki kandungan air pada kisaran 65-75%.

3.2. Pengujian dengan adanya beban

Gambar 6 menunjukkan hasil pengukuran perubahan temperatur dalam ruang, temperatur pemukaan plastik. Dari gambar terlihat bahwa pada pengujian hari pertama, temperatur dalam ruang dapat dipertahankan sampai pukul 17:00 masih dapat bertahan pada kisaran 45-50ºC. Sedangkan pada hari kedua, pada waktu yang sama dengan hari pertama, temperatur dalam ruang pengering masih diatas 50ºC. Kondisi tersebut sesuai dengan intensitas radiasi energi surya yang diterima oleh kolektor alat pengering, sebagaiman ditunjukkan dalam Gambar 7.

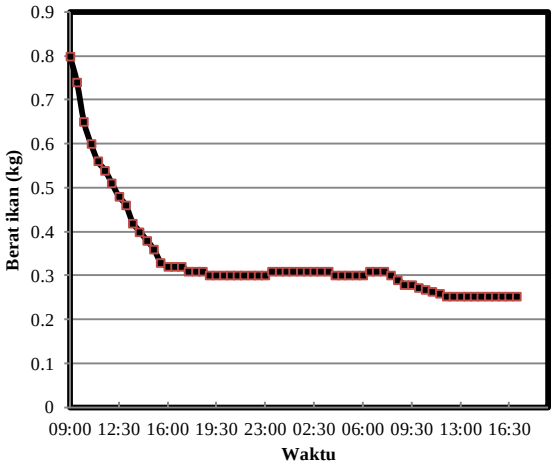


Gambar 6. Profil temperatur pada pengujian dengan beban ikan mujair 1 kg.



Gambar 7. Hasil pengukuran intensitas radiasi energi surya

Hasil pengukuran perubahan berat ikan selama pengujian adalah sebagaimana di tunjukkan dalam Gambar 8. Ikan ditimbang menggunakan timbangan digital dengan berat 800 gr. Angka ini sebagai pedoman awal untuk menghitung kadar air sebelum didapatkan berat akhir setelah dikeringkan. Dari grafik terlihat bahwa penurunan berat ikan yang cepat terjadi mulai pukul 09:00 sampai pukul 14:00 pada hari pertama. Penurunan berat ikan sebanyak 500 gram dalam waktu waktu 5 jam, menunjukkan alat pengering surya tipe lorong mampu mengeringkan ikan dalam waktu yang lebih singkat, dibandingkan dengan pengering tradisional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampai pukul 10:00 pagi esok harinya penurunan berat ikan hanya 30-40 gram, ini menunjukkan bahwa ikan telah kering seluruhnya.



Gambar 8. Grafik perubahan berat ikan

Hasil pengujian alat pengering energi surya tipe lorong dengan beban ikan mujair sebanyak 15 kg, diperoleh berat akhir ikan kering adalah 6,28 kg dengan waktu pengeringan 24 jam. Pada pengujian ini pengukuran kadar air dalam ikan menggunakan alat *moisture meter* yang ada di UPT Laboratorium Dasar Universitas Samudra. Kadar air awal ikan hasil pengukuran diperoleh 71 %, dan dengan cara yang sama diperoleh kadar air ikan kering adalah 17,14%.

Pada saat yang sama juga dilakukan pengujian pengeringan dengan cara menjemur 1 kg ikan mujair. Setelah dijemur selama 48 jam (2 hari) diperoleh kadar akhir sebesar 32,84%.

Hasil perhitungan efisiensi pengering menggunakan persamaan (1) sampai (5) diperoleh efisiensi pengering pada beban pengering 1 kg ikan mujair diperoleh sebesar 2,64 % dan pada pengujian dengan berat beban 15 kg ikan mujair diperoleh efisiensi pengering hari kedua sebesar 10,46 %.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian untuk kerja alat pengering tenaga surya tipe lorong yang telah dirancang dan dibuat pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa alat pengering tersebut dapat mampu menurunkan kandungan air dalam ikan secara cepat dibandingkan dengan pengering dengan cara menjemur. Pada pengujian dengan beban ikan mujair sebanyak 15 kg pada kondisi cuaca cerah mampu mengeringkan ikan selama 24 jam dengan kadar air akhir dalam ikan sebesar 17,14%. Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa alat pengering tenaga surya tipe lorong dapat digunakan oleh nelayan Kota Langsa untuk meningkatkan produksi dan kualitas ikan kering.

REFERENSI

Samsul Bahri W, (2012), *Sistem Pengering Hibrid Berbasis Konveksi Alamiah Menggunakan Energi Matahari dan Bahan Bakar Biomassa*, Tesis Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh, Indonesia.

P. Schirmer, S. Janjai, A. Esper, R. Samitabhindu, and W. Muhlbauer, (1996), *Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas*, Renewable Energy, vol.7, no. 2, pp. 119-129.

B.K. Bala and M. R. A. Mondal,(2001), *Experimental investigation of solar tunnel dryer*, Drying Technology, vol. 19, no 2, pp. 1-10.

B. K. Bala, M. R. A. Mondal, B. K. Biswas, B. L. Das Choudhury, and S. Janjai, (2003), *Solar drying of pineapple using solar tunnel dryer*, Renewable Energy, vol. 28, pp.183-190, 2003.

S.S. Sablani, M.S. Rahman, I. Haffar, O. Mahgoub, A.S. Al-Marzouki, M.H. Al-Ruzeiki, N.H. Al-Habsi, R.H. Al-Belushi (2003), *Drying rates and quality parameters of fish sardines processed using solar dryers*, Agricultural and Marine Sciences, Vol. 8, pp. 79-86.

Bala, B.K., Mondol, M.R.A. (2001), *Experimental Investigation on Solar Drying of Fish Using Solar Tunnel Dryer*, Drying Technology, 19(2), pp. 427-436.

M. A. Basunia,H. H. Al-Handali, M. I. Al-Balushi, M. S. Rahman and O. Mahgoub (2011), *Drying of Fish Sardines in Oman Using Solar Tunnel*, Journal of Agricultural Science and Technology ISSN 1939-1250.pp. 108-114

□TAR

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Kaji Eksperimental Pemanfaatan Material Penyimpan Panas Pada Kolektor Pemanas Air Surya

Muhammad Zulfri[1], Razali Thaib[2], dan Hamdani[3]

1,3) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Samudra, Langsa
2) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Kolektor plat datar,
Material penyimpan panas,
lilin parafin

A B S T R A K

Pada penelitian telah dilakukan pengujian pemanfaatan material berubah fasa sebagai material penyimpan panas yang diletakkan menyatu dalam kolektor. Kolektor yang digunakan adalah plat datar berkuran 160 cm x 100 cm x 10 cm. Sebagai material penyimpan panas digunakan lilin parafin. Dari hasil pengujian menunjukkan sistem pemanas air yang dirancang dan dibuat pada penelitian mampu menaikkan temperatur air sampai 60 ^{o}C pada kondisi hari cerah. Penggunaan material penyimpan panas mampu mempertahankan temperatur air pada 40-45 ^{o}C sampai jam 20:00 malam, dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penempatan lilin parafin sebagai material penyimpan panas menyatu dalam kolektor akan mampu meningkatkan efisiensi sistem pemanas air surya.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi surya yang banyak digunakan adalah sebagai penyedia energi panas, seperti untuk memasak, distilasi air laut, pemanas air, dan pengering produk makanan. Pemanfaatan energi surya untuk pemanasan air dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya kemudian digunakan untuk memanaskan air. Menurut *World Energy Council* (2007), penggunaan sistem pemanas air surya (*solar water heater, SWH*) sampai akhir tahun 2006 mencapai 105 Giga Watt Thermal (GWTh) atau 1,3% dari penggunaan energi global dengan total luas area kolektor terpasang di seluruh dunia mencapai 183 juta m^2.

Menurut *Energy Saving Trust* (2005), penggunanan pemanas air surya selain mampu mengurangi biaya energi listrik juga memiliki manfaat mengurangi dampak terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi karbon dioksida sebesar 0,4-0,75 ton per tahun.

Pemanfaatan energi surya untuk pemanas air dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya menggunakan panel kolektor berpenutup kaca yang didalamnya dilengkapi dengan plat absor dan pipa air. Radiasi surya yang jatuh pada permukaan kaca akan diteruskan dan kemudian diserap oleh absorber. Panas dari absorber dimanfaatkan untuk memanaskan air yang mengalir dalam pipa. Air dengan temperatur tinggi kemudian ditampung dalam tangki penyimpan untuk kemudian dimanfaatkan. Untuk menjaga temperatur air tetap konstan pada malam hari atau saat cuaca mendung, tangki penyimpan air dilengkapi dengan *heater* listrik. Penggunaan *heater* listrik akan menyebabkan penambahan biaya operasional pemanas air surya.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk memperbaiki desain dan kinerja sistem pemanas air surya, dari hasil disimpulkan bahwa peningkatan kinerja sistem dapat dilakukan dengan memaksimalkan pengumpulan energi radiasi matahari dan meminimalkan kerugian panas pada tanki penyimpan air panas (Tripanagnostopoulos et al, 2004; Schmidt dan Goetzberger, 1990).

Penelitian yang telah dilakukan untuk memaksimalkan penyimpan panas pada tanki penyimpan air panas adalah dengan memanfaatkan material berubah fasa (*phase change material*, PCM) sebagai material penyimpan panas. PCM dibuat dalam bentuk modul-modul

Alamat e-mail: azuarrizal@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

kecil kemudian diletakkan dalam tangki penyimpan air panas. Pada siang hari panas yang diterima air dari radiasi surya diserap oleh PCM yang mengakibatkan PCM berubah fasa dari padat menjadi cair. Pada saat radiasi surya menurun yang mengakibatkan temperatur air menurun, PCM akan melepaskan kembali panas ke air yang mengakibatkan temperatur air dapat dijaga konstan.

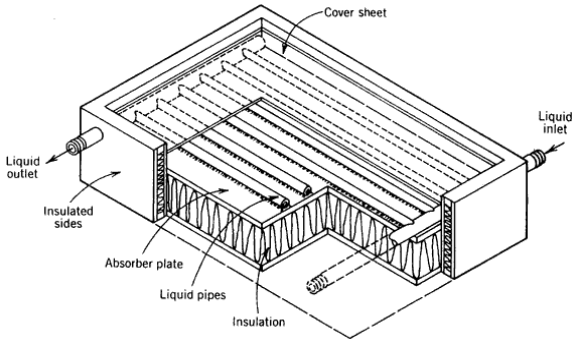
Talmatsky (2008), melakukan analisis numerik pemanfaatan PCM dalam tangki penyimpan air sistem pemans air surya. Analisis dilakukan untuk kondisi cuaca kota Tel Aviv. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa bahwa penggunaan PCM dalam tangki penyimpan air panas pada sistem pemanas air surya tidak memperlihatkan dampak yang menguntungkan untuk aplikasi pada sistem komersial, karena energi panas yang mampu disimpan oleh PCM jauh lebih kecil dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan mempertahankan temperatur air pada malam hari.

Kousksou (2010) melakukan analisis numerik untuk membuktikan pernyataan Talmatsky (2008), dengan tujuan menjawab pertanyaan apakah penelitian pemanfaatan PCM pada sistem pemanas air surya masih memberi peluang untuk dilanjutkan atau tidak. Analisis dilakukan dengan kondisi yang sama dengan kondisi yang digunakan oleh Talmasky. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa analsis pemanfaatan PCM pada sistem pemanas air surya tidak hanya didasarkan pada temperatur leleh PCM, tapi masih memberi pulang besar yang dilakukan analisis dengan mempertimbangkan tata letak material penyimpan panas.

Berdasarkan pada uraian diatas, terlihat masih adanya peluang melakukan penelitian pemanfaatan material penyimpan panas pada sistem pemanas air surya. Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuat satu unit sistem pemans air surya tipe thermosifon dengan panel kolektor surya jenis plat datar yang dilengkapi dengan material penyimpan panas.

2. Studi Pustaka

Kolektor surya plat datar seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 adalah suatu bentuk khusus alat penukar panas di mana perpindahan panas radiasi memegang peranan yang sangat penting. Pada kolektor surya plat datar energi dipindahkan dari sumber energi radiasi yang berjarak tertentu melalui prinsip konversi *fotothermal*, dimana energi radiasi matahari diubah menjadi energi panas. Pada umumnya kolektor surya plat datar digunakan untuk pemanas air, pemanas ruang, pengkondisian udara, dan proses pengeringan. Kolektor ini tidak memerlukan alat pengarah matahari, jadi posisi kolektor relatif tetap.



Gambar 1. Kolektor plat datar

2.1. Material Penyimpan Panas

Penyimpanan panas laten memanfaatkan panas laten yang terdapat pada material untuk menyimpan energi panas. Panas laten adalah jumlah panas yang diserap selama perubahan pada material tersebut dari satu fasa ke fasa yang lainnya. Ada dua jenis panas laten yang diketahui yaitu panas laten peleburan *(latent heat of fusion)* dan panas laten penguapan *(latent heat of vaporization)*. Panas laten peleburan adalah jumlah panas yang diserap ketika material berubah dari fasa padat ke fasa cair atau sebaliknya, kemudian panas laten penguapan adalah jumlah energi panas yang diserap ketika material berubah dari fasa cair ke fasa uap atau sebaliknya.

Menurut Lane (1984), penyimpanan energi panas laten memerlukan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan penyimpanan energi panas sensibel. Disamping itu penyimpanan energi panas laten dapat menyimpan sejumlah besar energi panas dengan perubahan yang kecil pada temperature.

Canbazoglu et al. (2005) membuat penelitian tentang peningkatan unjuk kerja sistem panas air energi surya menggunakan natrium tiosulfat pentahydrate sebagai PCM yang diletakkan dalam tangki penyimpan air. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa waktu penyimpanan air panas, masa air panas yang dihasilkan dan total akumulasi panas pada sistem pemanas air surya dengan PCM lebih besar 2,59-3,45 kali dari sistem pemanas air surya tanpa PCM.

Cabeza dkk., (2006) melakukan penelitian dengan dimasukkan modul-modul PCM ke dalam tangki penyimpan air sistem pemanas air surya. Sebagai PCM

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

digunakan campuran sodium acetate trihydrate-grafit. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses pendinginan, pemanasan ulang dan radiasi surya yang tidak merata. Kemampuan sistem penyimpan panas dievaluasi dengan membandingkan panas yang disimpan jika tangki penyimpan air tidak dilengkapi dengan PCM, dan panas yang disimpanjiak PCM dimasukkan dalam tangki. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa PCM mampu menjaga temperature air.

Hasil penelitian yang dilakukan Ibanez dkk. (2006), diperoleh, pengunaan PCM pada sistem pemanas air surya tipe rumah tangga di Lleida, Spanyol, mampu meningkatkan penyerapan panas hingga 8%.

3. Metode Penelitian

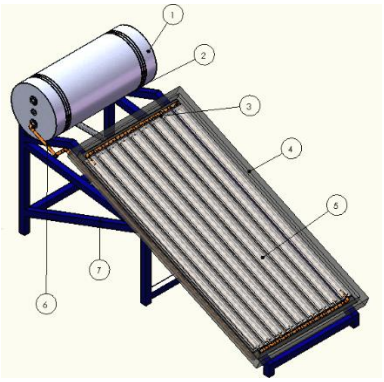
Perangkat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2. Kotak kolektor terbuat dari almunium dengan ketebalan 0.9. Sebagai isolator digunakan glass wolls dengan ketebalan 25 mm. Penutup digunakan kaca bening dengan ukuran 1600 mm x 1000 mm x 3mm. Absorber digunakan plat almunium dengan pelapis cat hitam dengan ukuran 1600 mm x 1000 mm x 0.4 mm. Untuk Pipa header kolektor : pipa tembaga dengan diameter 1/2 inchi x 1200mm x 2 buah. Pipa absorber kolektor : pipa tembaga dengan diameter 1/4 inchi x 1600 mm x 9 buah. Tangki penyimpanan : terbuat dari aluminium tebal 0,5 mm dengan ukuran 450 mm x 900 mm dilapisi isolator menggunakan glass woll dengan ketebalan 25 mm dan ditutup dengan plat aluminium dengan ketebalan 0.2 mm.

Material penyimpan panas yang digunakan adalah parafin dengan sifat-sifat sebagaimana diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data sifat termofisik lilin parafin

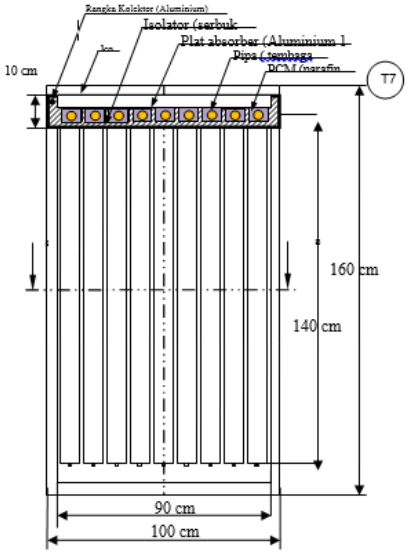
Temperatur lebur	46.7 ^{0}C
Konduktivitas termal (solid)	0.1383 W/m.^{0}C
Panas specifik (solid)	2890 J/kg.K
Densitas (solid)	947 kg/m3
Latent heat	178 kJ/kg

Sumber : Hasil pengukuran DSC

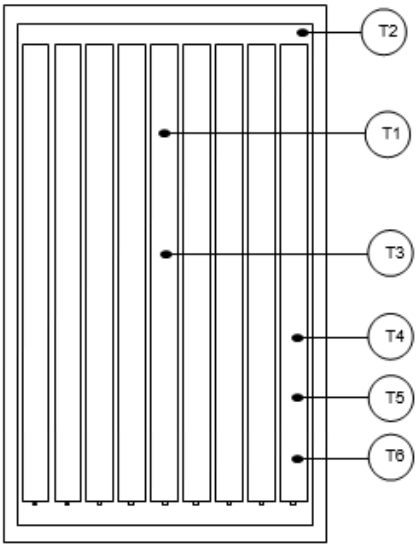


Keterangan:
1. Tangki air
2. Pipa luaran air
3. Pipa HE
4. Bingkai kolektor
5. Material PCM
6. Tangki masukan air
7. Rangka Kolektor

a). Perangkat uji



b) Ukuran kolektor

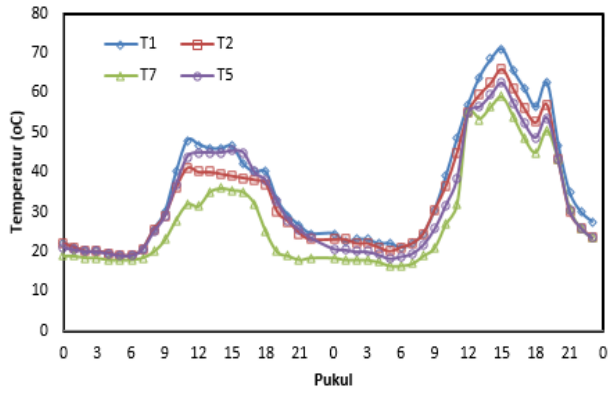


c) posisi alat ukur temperatur

Gambar 2. Perangkat Pengujian

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa proses pemanasan yang diterima oleh sistem pemanas air surya sangat tergantung pada radiasi surya. Semakin tinggi radiasi surya yang diterima oleh plat penyerap, temperatur air yang dicapai akan semakin tinggi. Penurunan radiasi surya dan kehilangan panas dari kolektor ke lingkungan merupakan akan mengakibatkan temperatur air juga turun. Pengujian selanjutnya adalah melakukan pengujian performan sistem untuk bekerja selama 24 jam. Gambar asil pengukuran ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Data hasil pengujian selama 2 hari

Dari hasil pengujian terlihat temperatur air dalam masuk sitem hanya bertahan sampai dengan pukul 21 malam, dimana pada pukul tersebut temperatur air hanya 30 ^{0}C, kondisi ini tentu tidak dapat diperguankan untuk keperluan mandi pada malam hari. Disisi lain temperatur air yang pada malam hari mencapai 19-22^{o}C, pada siang hari mulai jam 9:00 pagi telah mencapai 31-32^{o}C. Hal ini juga menujukan sistem ini mampu menaikkan temperatur secara cepat. Sistem ini secara umum telah mampu memberikan bekerja sesuai dengan yang diharapkan, sedangkan untuk pemakaian secara komersial perlu dilakukan analisis lebih lanjut tentang isolasi tangki penyimpan air, begitu juga dengan sistem isolasi rangka kolektor.

Besarnya energi berguna yang dapat diserap oleh kolektor ditentukan berdasarkan data pengamatan per hari. Pengamatan dimulai dari pukul 09.00 dengan dari perhitungan diperoleh energi berguna sebesar 441 W. kemudian energi yang berguna naik pada pukul 10.00 yakni sebesar 572.94 W dan kemudian laju energi yang berguna bergerak stabil dengan rata – rata 563.67 W sampai pukul 13.00. Energi berguna yang tertinggi terjadi pada pukul 12.51 yakni sebesar 627,21 W dan energi berguna terendah pada pukul 15.00 yakni 150,35 W.

5. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama meningkatkan kinerja sistem pemanas air surya menggunakan material penyimpan panas dalam kolektor surya plat datar. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan perancangan, pembuatan dan pengujian sistem dengan kondisi iklim kota Banda Aceh. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Kolektor pemanas air surya termosifon yang dilengkapi material penyimpan panas mempunyai efisiensi maksimum 36,6 %.
2. Temperatur panas maksimum air yang dihasilkan kolektor pemanas air surya yang dilengkapi material penyimpan panas sebesar 70℃.
3. Temperatur air panas dapat dipertahankan sampai dengan jam 20:00 malam, dan ini menunjukkan bahwa sistem pemanas air surya dapat dimanfaatkan secara optimal pada jam 9:00 sampai dengan jam 20:00 malam dengan temperatur air keluar rata-rata 40-45 °C.

DAFTAR PUSTAKA

Cabeza, L.F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J., Nogues, M., 2006. *Experimentation with a water tank including a PCM module*. Solar Energy Materials & Solar Cells 90, 1273–1282.

Canbazoglu, S., Sahinaslan, A., Ekmekyapar, A., Aksoy, Y.G., Akarsu, F., 2005. *Enhancement of solar thermal energy storage performance using sodium thiosulfate pentahydrate of a conventional solar waterheating system*. Energy Building 37, 235–242.

Garg, H. P., 1975, *Year round performance studies on a built-in storage type solar water heater at Jodhpur*, India. *Solar Energy*, 17**,** 167-172.

Ibanez, M., Cabeza, L.F., Sole´, C., Roca, J., Nogue`s, M., 2006. *Modelization of a water tank including a PCM module*. Applied Thermal Engineering 26, 1328–1333.

Kousksou.T, P. Bruel, G. Cherreau, V. Leoussoff and T. El Rhafiki, 2010, *PCM Storage For Solar DHW: From An Unfulfilled Promise To A Real Benefit*, 9th International Conference Onphase-Change Materials And Slurries for Refrigeration And Air Conditioning 29 September -1 October 2010 Sofia, Bulgaria.

Lenel, U.R., Mudd, P.R., 1984. *A review of materials for solar heating systems for domestic hot water*. Solar Energy 32, 109–120.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Pengujian Unjuk Kerja Turbin Angin Type Savonius Dua Tingkat Delapan Sudu Lengkung U

Syamsul Bahri[1] dan Suheri[2]

1,2) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Samudra, Meurandeh, Langsa 24416, Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Kekurangan energi,
sumber daya angin,
energi terbarukan,
konversi energi,
turbin angin savonius

A B S T R A K

Krisis energi dewasa ini merupakan dampak dari ketergantungan terhadap energi fosil yang terus meningkat, padahal ketersediaannya sangat terbatas. Upaya untuk melepaskan diri dari penggunaan energi fosil menyebabkan sumber-sumber energi terbarukan menjadi alternatif yang semakin dimaksimalkan pemanfaatannya. Energi angin, yang merupakan salah satu energi terbarukan, dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan cara menggerakkan generator listrik melalui perubahan gerak rotasi sudu turbin. Salah satu konsep turbin angin yang umum digunakan adalah turbin angin Savonius. Turbin ini dikenal memiliki efesiensi rendah, akan tetapi konstruksinya yang murah dan sederhana, serta dapat menerima angin dari segala arah dan torsi awal yang tinggi. Fokus penelitian ini adalah bagaimana menguji unjuk kerja turbin angin Savonius 2 tingkat sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik skala kecil melalui energi terbarukan yaitu angin sebagai sumber energi. Berdasarkan pada pengujian dengan beban generator, pada kecepatan angin 6,73 m/s, maka putaran maksimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat adalah 78 rpm dengan daya bangkitan 179.23 W. Putaran minimum yang dihasilkan adalah 30 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 4.91 W pada kecepatan angin 2.03 m/s. Sedangkan pada pengujian tanpa beban generator, putaran maksimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius 1 (satu) tingkat adalah 83 rpm dengan daya yang dibangkitkan adalah 103.75 W pada kecepatan angin 7.01 m/s. Putaran minimum yang dihasilkan adalah 32 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 3.43 W pada kecepatan angin 2.25 m/s.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi di Indonesia secara umum meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan penduduk, pertumbuhan perekonomian maupun perkembangan teknologi. Dari data pemakaian energi di Indonesia saat ini lebih dari 90% penduduk Indonesia masih menggunakan energi yang berbasis fosil, yaitu minyak bumi 54.4%, gas 26.5% dan batu bara 14.1%. Untuk energi dengan panas bumi 1.4%, PLTA 3.4% sedangkan energi baru dan terbarukan (EBT) lainnya 0.2%, diantaranya energi angin yang keberadaannya tersebar diseluruh wilayah Indonesia (Kementerian Energi Sumber Daya Mineral). Kebutuhan listrik di Indonesia diproyeksikan akan meningkat dari 14.275 milyar watt pada tahun 2002 melonjak menjadi 26.018 milyar watt pada tahun 2025 dan untuk mendapatkan energi listrik tersebut sebagian besar diperoleh dar batu bara yaitu hampir 40% diikuti oleh gas [1,2,3]

Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi menggunakan turbin angin. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dimanfaatkan secara langsung atau dikonversi menjadi energi listrik. Prinsip konversi energi angin menjadi energi listrik adalah sebagai berikut: Angin yang melalui sudu-sudu kincir menyebabkan kincir berputar, putaran kincir menyebabkan generator ikut berputar sehingga menjadi energi listrik.

Alamat e-mail: ir.syamsulbahriwidodo@yahoo.co.id
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Aplikasi energi angin pada penelitian ini dimanfaatkan secara mekanik langsung dikonversi menjadi energi listrik skala kecil.

Konsep turbin angin Savonius tidak pernah menjadi terkenal sampai sekarang ini, karena rendahnya efisiensi. Walaupun demikian, turbin angin Savonius mempunyai keuntungan lain yaitu: Konstruksi murah dan sederhana, dapat menerima angin dari segala arah, torsi awal tinggi. Turbin angin Savonious terdiri dari poros vertikal, sudu *(bucket)* yang berbentuk huruf "S" dan peralatan tambahan lain, tergantung pada tujuan pada tujuan pemanfaatannya. Sudu Savonius dapat dibuat dari bahan seperti; pipa, drum minyak, triplek dan lembaran pelat. Turbin angin Savonius dapat dipasang berdekatan dengan tanah, sehingga tidak memerlukan biaya yang besar untuk membangun tower yang tinggi dan besar [4,5]

Adapun permasalahan pada penelitian ini ini adalah bagaimana menguji unjuk kerja turbin angin Savonius 2 tingkat sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik skala kecil melalui energi terbarukan yaitu angin sebagai sumber energi. Tujuan penelitian ini ini adalah untuk membuat dan menguji turbin angin tipe Savonius 2 tingkat, yang memiliki 2 sudu tiap tingkat melalui karakteristik perbandingan terhadap putaran pada variasi kecepatan angin [6,7]

2. Metode Penelitian

Tahap pertama dari kegiatan penelitian ini adalah melakukan observasi lapangan, dimana peneliti mempelajari beberapa situasi yang berkaitan langsung dengan keadaan pada lokasi pengujian. Dari hasil pengamatan terhadap beberapa daerah yang dianggap baik untuk melakukan pengujian, maka dipilih daerah yang memiliki kecepatan angin rata-rata 4,5 m/s. Yaitu kawasan Pelabuhan Kuala Langsa. Selanjutnya adalah studi literatur untuk mengumpulkan data dari referensi terkait berikut data-data dari penelitian sebelumnya, kemudian dijadikan suatu perbandingan dengan menganalisa rumus-rumus yang berkaitan pada judul tugas akhir ini. Demikian juga dengan pencarian informasi melalui media internet untuk mendukung proses pengumpulan data turbin angin.

Pengolahan data dilakukan berdasarkan hasil data yang diperoleh dari beberapa metode diatas, maka data yang dihasilkan kemudian disesuaikan dengan prosedur pengujian. Berdasarkan analisis terhadap variabel yang terlibat dalam penelitian ini, maka beberapa variabel yang diukur antara lain adalah putaran poros turbin (Rpm), Putaran pada puli generator (Rpm), dan Kecepatan angin (V)

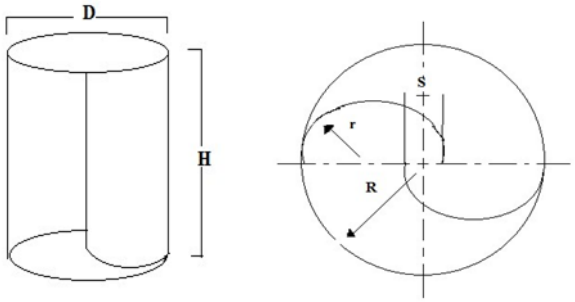
Lokasi Pengujian. Pengujian Turbin angin Savonius berlokasi di Pelabuhan Kuala Langsa. Dipilihnya tempat ini sebagai lokasi pengujian karena energi angin di daerah ini tersedia secara berkesinambungan, sehingga memudahkan dalam melakukan pengujian. Selain itu, daerah ini memiliki kecepatan angin rata-rata 4,5 m/s.

Alat-alat Pengujian. Adapun beberapa alat-alat yang digunakan dalam penelitian dapa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar peralatan yg digunakan dalam pengujian

Alat	Fungsi
Anemometer	Berfungsi sebagai alat pengukur kecepatan angin.
Alternator	Berfungsi sebagai alat yang mengubah gaya gerak menjadi arus listrik.
Tachometer	Berfungsi sebagai alat untuk mengukur putaran tiap menit (rpm)
Lampu/ beban.	Berfungsi sebagai beban dalam percobaan ini dan beban ini yang akan diukur. Lampu yang digunakan adalah 2,5 V
Multitester	Berfungsi sebagai alat pengukur kelistrikan pada beban yang diberikan.

Perangkat Pengujian. Turbin ini terdiri dari dua buah sudu tiap tingkat yang di pasang dengan beda sudut 90 derajat, masing-masing tingkat terdiri dari dua buah sudu (bucket). perbandingan jarak gap dengan jari-jari bucket (R) sehingga jarak gap antara bucket (r). sementara plat yang menjadi landasan kedua bucket berdiameter (D) (Gambar 1)



(Sumber: Gary L. Jhonson {3])

Gambar 1. Sketsa dua sudu lengkung U ((Sumber: Gary L. Jhonson {3])

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

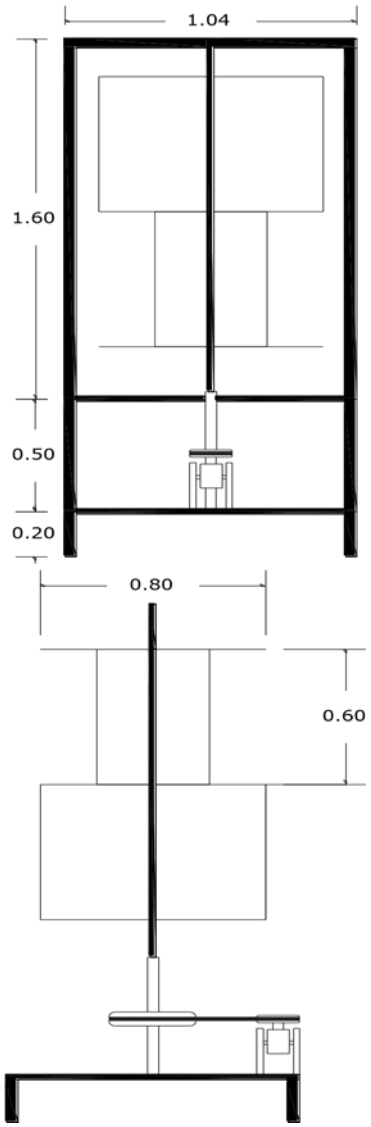
Sudu *(bucket)* terbuat dari bahan alumunium dengan ketebalan 2 mm. *Bucket di* lekatkan pada plat landasannya dengan menggunakan paku keling, kemudian plat landasan diikat dengan baut pada poros yang telah dipasang *flange.* Dua buah bantalan digunakan pada poros untuk mengurangi gesekan, satu buah bantalan di pasang pada dudukan tengah poros, sementara satu lagi dipasang antara sudu *(bucket)* turbin dengan sistem transmisi, yang di pasang di bawah.

Pada penelitian ini, putaran poros turbin dimanfaatkan untuk menggerakkan alternator dan kemudian diteruskan pada beban (lampu). Putaran poros turbin diteruskan melalui sebuah transmisi keporos alternator. Sistem transmisi ini terdiri dari dua buah puli yang berbeda diameter dan sebuah sabuk tipe V. puli yang dipasang pada poros turbin, sementara puli yang lebih kecil dipasang pada poros alternator.

Sudu *(bucket)* Savonius dan sistim transmisi di rangkai pada sebuah rangka yang terbuat dari besi siku L. Rangka ini terbagi, dua bagian, bagian pertama adalah tempat dipasangnya baling-baling beserta poros, bagian kedua merupakan kaki dari rangka di atas dan juga difungsikan untuk tempat pemasangan generator. Kedua rangka ini dapat dipisahkan sehingga memudahkan dalam pengangkutan.

Prosedur Pengujian. Sudu (bucket) Savonius yang telah dirangkai dengan sistim transmisi pada sebuah rangka, di tempatkan pada lokasi alam terbuka tanpa ada sesuatu hal yang menyebabkan terhalangnya aliran angin ke sudu (bucket) turbin angin (Gambar 2).

Pengukuran putaran poros turbin dengan digital *tachometer*, penangkap *Sensor tachometer* dipasang pada poros turbin angin tepatnya di bawah puli. Sementara untuk mengukur kecepatan angin, *anemometer* langsung dipegang oleh penguji yang mengambil posisi berdekatan perangkat alat uji tetapi tidak menghalangi aliran angin ke baling-baling turbin angin. Pengujian ini berlangsung pada siang hari, di mulai jam 09.00-18.00 wib, pengambilan data yang pertama dimulai setelah beberapa saat turbin berputar. Pengukuran kecepatan angin, putaran poros dan arus yang keluar di lakukan setiap 15 menit. Untuk mendapatkan data yang lebih baik pengujian dilakukan oleh tiga orang peneliti yang masing-masing mengambil posisi pada alat ukur, yang bertugas mencatat data yang terlihat layar alat ukur pada waktu yang sama.



Gambar 2. Sketsa pengujian turbin savonius

3. Hasil dan Pembahasan

Data-data seperti kecepatan angin, putaran poros turbin angin dan arus listrik yang diperoleh dan hasil pengukuran selama 9 jam pengujian turbin angin Savonius yang nantinya ditunjukkan dalam tabel dan grafik. Berdasarkan data-data tersebut beberapa parameter lain dari turbin angin Savanious dapat ditentukan, seperti : Perhitungan untuk Turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat yang memiliki 2 sudu lengkung U tiap tingkat. Parameter-

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

parameter dari Turbin angin Savonius untuk data hasil pengukuran jam 14:45 WIB.

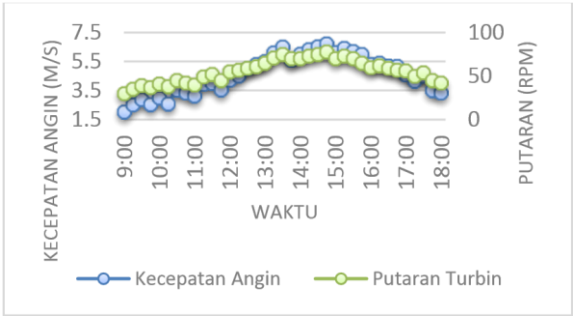
Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan di lapangan maka pengujian dilakukan dalam 2 (dua) tahap, yaitu pada tahap pertama pengujian dilakukan pada Turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat dan memiliki 2 (dua) sudu lengkung U masing-masing tingkat. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 28 maret 2013, dimulai pada pukul 09.00-18.00 WIB yang bertempat di Pelabuhan Kuala Langsa. Sedangkan pada tahap kedua pengujian di lakukan pada turbin angin Savonius satu tingkat dan hanya memiliki 2 (dua) sudu lengkung U. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 29 Maret 2013 dan dimulai pada jam dan tempat yang sama seperti Turbin angin 2 (dua) tingkat.

Hasil dari pengujian turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat dapat dilihat pada beberapa Tabel dan Grafik. Pada Grafik 3 menunjukkan hubungan antara kecepatan angin dan turbin. Pada grafik dibawah ini dapat dilihat bahwa pada pukul 09.00-09.30 kecepatan keduanya berjalan dengan lancar, namun pada jam berikutnya terjadi perubahan karena adanya kerugian *(loses)* yang terjadi pada turbin terutama pada sudu turbin, pada waktu pukul 13.30-13.45 terjadi perubahan kecepatan angin, namun tidak terlalu berpengaruh terhadap kecepatan turbin. Pada Gambar 3 kecepatan maksimum angin adalah 6.73 m/s dan kecepatan maksimum turbin 3.91 m/s terjadi pada pukul 14.45 WIB.



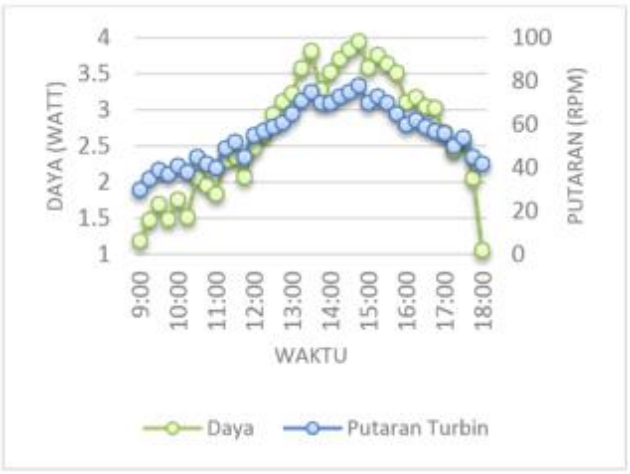
Gambar 3. Hubungan Kecepatan angin dengan sudu turbin

Wilayah Pelabuhan Kuala Langsa memiliki kecepatan angin rata-rata 4, 5 m/s, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Kecepatan awal angin pada pukul 09.00 WIB adalah 2.03 m/s dan kecepatan akhir angin pada pukul 18.00 adalah 3.35 m/s . Sedangkan kecepatan maksimum angin adalah 6.73 m/s dan putaran turbin ialah 78 Rpm. Pada grafik dibawah ini bahwa terjadi beberapa kali perubahan putaran. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian kepada angin tidak konstan sehingga mempengaruhi putaran turbin.



Gambar 4. Hubungan antara kecepatan angin dan putaran turbin

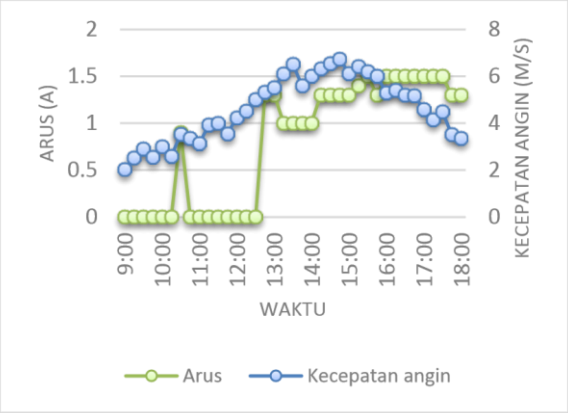
Perhitungan daya yang dihasilkan Turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat ini merupakan hasil perhitungan teoritis. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Grafik 5. Dari grafik dibawah ini dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin adalah 3.95 W pada saat putaran 78 (Rpm) sementara daya minimum yang dibangkitkan turbin adalah 1.19 W pada putaran 30 Rpm



Gambar 5. Hubungan antara

Hubungan antara daya *output* dan arus dihitung dalam satuan arus dan voltase (V) hanya untuk mengetahui besarnya arus yang dihasilkan turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat. Hubungan ini terdapat pada Grafik 6. Pada grafik ini pada saat pukul 12.45 WIB arus yang dihasilkan turbin adalah 1.3 A dan pada daya 3.12 W atau pada kecepatan 5.32 m/s lampu/beban menyala. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan pada saat kecepatan angin diatas 5.00 m/s lampu dapat menyala tetapi belum sempurna. Sedangkan pada kecepatan angin diatas 6.00 m/s lampu dapat menyala dengan sempurna.

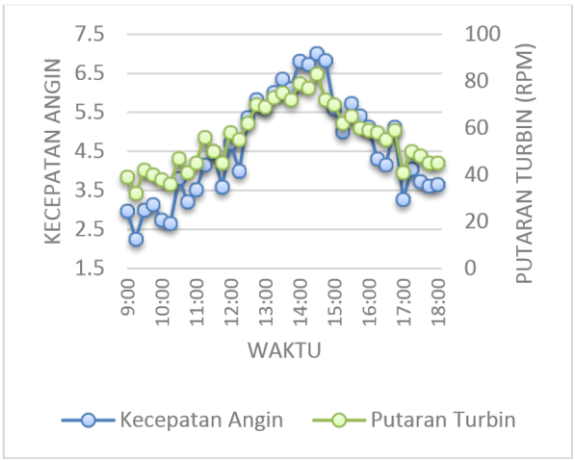
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



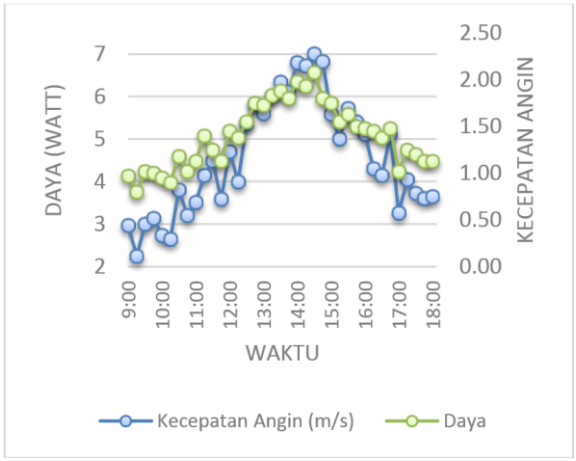
Gambar 6. Hubungan Kecepatan Angin dan Arus

Pada tahap kedua peng-ujian dilakukan pada turbin angin Savonius 1(satu) tingkat dan yang memiliki 2 (dua) sudu lengkung U. Pengujian ini dilakukan pada tempat dan jam yang sama seperti pada turbin angin 2 (dua) tingkat. Pengujian turbin angin Savonius 1 (satu) tingkat ini tidak menggunakan beban (generator) karena turbin angin Savonius 1 (satu) tingkat tidak mampu berputar ketika dipasang sabuk V pada puli generator. Hal ini disebabkan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi turbin angin tidak berputar diantara terjadi perbedaan luas penampang turbin, antara turbin angin 1 (satu) tingkat dengan 2 (dua) tingkat dan secara otomatis akan mempengaruhi gaya dorong (*drag force*) pada sudu turbin.

Pada Grafik 7 hubungan antara kecepatan angin dan rpm. Pada grafik dibawah ini kecepatan angin maksimum adalah 7.01 m/s dan menghasilkan putaran 83 Rpm pada pukul 14.30 WIB, sedangkan daya yang dihasilkan adalah 2.06 W.



Gambar 7. Hubungan kecepatan angin dan putaran turbin



Gambar 8. Hubungan antara kecepatan angin dan daya

Hubungan antara kecepatan angin dan turbin ditunjukkan pada Grafik 8. Pada grafik diatas dapat diketahui bahwa kecepatan angin maksimum adalah 7.01 m/s dan kecepatan minimum turbin adalah 2.08 m/s pada pukul 14.30 WIB.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian, pada pengujian dengan beban generator, putaran maksimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius 2 (dua) tingkat adalah 78 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 179.23 W pada kecepatan angin 6,73 m/s. Putaran minimum yang dihasilkan adalah 30 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 4.91 W pada kecepatan angin 2.03 m/s. Sedangkan pada pengujian tanpa beban generator, putaran maksimum yang dihasilkan Turbin angin Savonius 1 (satu) tingkat adalah 83 rpm dengan daya yang dibangkitkan adalah 103.75 W pada kecepatan angin 7.01 m/s. Putaran minimum yang dihasilkan adalah 32 rpm dan daya yang dibangkitkan adalah 3.43 W pada kecepatan angin 2.25 m/s.

Berdasarkan hasil analisa maka turbin angin 2 (dua) tingkat yang memiliki 4 (empat) sudu lengkung U, lebih efektif dibandingkan dengan turbin angin 1 (satu) tingkat yang memiliki 2 (dua) sudu lengkung U. Salah satu yang menyebabkan hal ini terjadi karena pengaruh perbedaan luas penampang yang merupakan faktor utama pada turbin angin, karena besarnya luas penampang berpengaruh terhadap atau sapuan angin atau yang menyebabkan gaya dorong pada turbin angin.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Masih ada sejumlah kelemahan dari rancangan yang dibuat dalam penelitian ini, antara lain adalah sistem transmisi sabuk V yang pilih untuk Turbin angin Savonius yang masih belum efisien dalam meneruskan putaran dan daya.

Namun demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal untuk mengkaji lebih lanjut pemanfaatan energi angin sebagai salah satu energi terbarukan dengan menggunakan turbin angin Savonius. Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan agar kalkulasi terhadap besarnya kerugian (loses) yang terjadi pada komponen turbin diutamakan, terutama pada sudu agar angin yang diterima dapat di manfaatkan secara optimal. Selanjutnya adalah, pemilihan sistem transmisi yang lebih baik sehingga mampu meneruskan putaran dan daya dengan tepat, seperti roda gigi, rantai, sabuk bergerigi. Sekaligus mengevaluasi jenis material dan komponen yang digunakan agar sesuai dengan lokasi pelaksanaan penelitian agar dapat meningkatkan kemampuan, ketahanan dan waktu pakai turbin.

REFERENSI

Djojodiharjo, H. dan Molly, J.P. 1983. Wind Energy System. Penerbit Alumni. Bandung

Kadir, A. 1995. Energi: Sumber Daya,Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensial Ekonomi.Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

Wakil, El.M.M,1984, Power Plant Teknology, Mc.Graw-Hill, New York.

B.F. Blakwell, R.E. Sheldahl & L.V. Felt, 1977, Wind Tunnel Performance Data for Two-and Three-bucket Savonius Rotors. Sandia National Laboratory.

Fox, J.A.1982. An Introduction to Engineering Fluid Machanics. Ed-2, The Macmillan Press Ltd. London

Jhonson, Gary L, 2001, Wind Energy Systems.

Sularso, Kiyokatsu Suga, 2008. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, cetakan-12, Jakarta.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Kaji Eksperimental Kolektor Surya Dengan Parafin Sebagai Penyimpan Energi Panas

Zaini[1], Dailami[2] dan Ahmad Syuhada[3]

1,2 Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh- Medan, Km.280,3. Buket Rata, Lhokseumawe,24301
3 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech Abdul Rauf No.7 Darussalam Banda Aceh 23111

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Pemanas air surya,
Kolektor plat datar,
Material penyimpan panas,
Perpindahan panas

A B S T R A K

Sebagian besar aplikasi pemanfaatan energi surya untuk pemanas air. Meskipun, pemanas air surya sudah umum digunakan, penelitian untuk meningkatkan kinerja sistem selalu diperlukan. Pada penelitian ini telah dirancang satu pemanas air surya yang dapat diandalkan untuk menyediakan panas pada cuaca berawan atau saat ketersediaan sinar surya dalam jangka pendek.Pemanas air surya yang dirancang dan dibuat adalah pemanas air surya tipe thermoshipon dengan kolektor plat datar berkuran 160 cm x 100 cm x 10 cm. Untuk peningkatan kinerja sistem digunakan material penyimpan panas yang diletakkan menyatu dalam kolektor. Sebagai material penyimpan panas digunakan lilin parafin. Pengujian sistem pemanas air yang dilengkapi dengan material penyimpan panas dilakukan pada kondisi cuaca Kota Banda Aceh. Dari hasil pengujian menunjukkan sistem pemans air mampu menaikkan temperatur air sampai 60 oC pada kondisi hari cerah. Pengguanan material penyimpan panas mampu mempertahankan temperatur air pada 40-45 oC sampai jam 20:00 malam, dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penempatan lilin parafin sebagai material penyimpan panas menyatu dalam kolektor akan mampu meningkatkan efisiensi sistem pemanas air surya.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Latar Belakang

Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit energi listrik dan energi panas. Untuk pembangkit energi listrik dilakukan melalui konversi energi photovoltaik (PV) dan pembangkit listrik tenaga surya termal. Menurut *World Energy Council* (2007), pada akhir tahun 2007, kapasitas terpasang energi listrik dari konversi energi photovoltaik (PV) telah mencapai 10,5 Giga Watt (GW) atau 0,03% dari total penggunaan energi global. Sedangkan pembangkit listrik tenaga surya termal diperkirakan mencapai 0.4 GW atau sekitar 0,002% dari penggunaan energi global. Namun, *World Energy Council* (2007) memperkirakan pada tahun 2040 pemakaian teknologi listrik tenaga surya termal dapat mencapai 630 GW. Akan tetapi, teknologi ini hanya dapat bekerja optimal pada pada lokasi tidak berawan karena sangat tergantung pada radiasi surya langsung.

Pemanfaatan energi surya yang banyak digunakan adalah sebagai penyedia energi panas, seperti untuk memasak, distilasi air laut, pemanas air, dan pengering produk makanan. Pemanfaatan energi surya untuk pemanasan air dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya kemudian digunakan untuk memanaskan air. Menurut *World Energy Council* (2007), penggunaan sistem pemanas air surya (*solar water heater, SWH*) sampai akhir tahun 2006 mencapai 105 Giga Watt Thermal (GWTh) atau 1,3% dari penggunaan energi global dengan total luas area kolektor terpasang di seluruh dunia mencapai 183 juta m^2.

Menurut *Energy Saving Trust* (2005), penggunaan pemanas air surya selain mampu mengurangi biaya energi listrik juga memiliki manfaat mengurangi dampak terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi karbon dioksida sebesar 0,4-0,75 ton per tahun.

Alamat e-mail: zaini_ak@ymail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Pemanfaatan energi surya untuk pemanas air dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya menggunakan panel kolektor berpenutup kaca yang didalamnya dilengkapi dengan plat absor dan pipa air. Radiasi surya yang jatuh pada permukaan kaca akan diteruskan dan kemudian diserap oleh absorber. Panas dari absorber dimanfaatkan untuk memanaskan air yang mengalir dalam pipa. Air dengan temperatur tinggi kemudian ditampung dalam tangki penyimpan untuk kemudian dimanfaatkan. Untuk menjaga temperatur air tetap konstan pada malam hari atau saat cuaca mendung, tangki penyimpan air dilengkapi dengan *heater* listrik. Penggunaan *heater* listrik akan menyebabkan penambahan biaya operasional pemanas air surya.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk memperbaiki desain dan kinerja sistem pemanas air surya, dari hasil disimpulkan bahwa peningkatan kinerja sistem dapat dilakukan dengan memaksimalkan pengumpulan energi radiasi matahari dan meminimalkan kerugian panas pada tanki penyimpan air panas (Tripanagnostopoulos et al, 2004; Schmidt dan Goetzberger, 1990).

Penelitian yang telah dilakukan untuk memaksimalkan penyimpan panas pada tanki penyimpan air panas adalah dengan memanfaatkan material berubah fasa (*phase change material*, PCM) sebagai material penyimpan panas. PCM dibuat dalam bentuk modul-modul kecil kemudian diletakkan dalam tangki penyimpan air panas. Pada siang hari panas yang diterima air dari radiasi surya diserap oleh PCM yang mengakibatkan PCM berubah fasa dari padat menjadi cair. Pada saat radiasi surya menurun yang mengakibatkan temperatur air menurun, PCM akan melepaskan kembali panas ke air yang mengakibatkan temperatur air dapat dijaga konstan.

Talmatsky (2008), melakukan analisis numerik pemanfaatan PCM dalam tangki penyimpan air sistem pemans air surya. Analisis dilakukan untuk kondisi cuaca kota Tel Aviv. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa bahwa penggunaan PCM dalam tangki penyimpan air panas pada sistem pemanas air surya tidak memperlihatkan dampak yang menguntungkan untuk aplikasi pada sistem komersial, karena energi panas yang mampu disimpan oleh PCM jauh lebih kecil dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan mempertahankan temperatur air pada malam hari.

Kousksou (2010) melakukan analisis numerik untuk membuktikan pernyataan Talmatsky (2008), dengan tujuan menjawab pertanyaan apakah penelitian pemanfaatan PCM pada sistem pemanas air surya masih memberi peluang untuk dilanjutkan atau tidak. Analisis dilakukan dengan kondisi yang sama dengan kondisi yang digunakan oleh Talmasky. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa analsis pemanfaatan PCM pada sistem pemanas air surya tidak hanya didasarkan pada temperatur leleh PCM, tapi masih memberi pulang besar yang dilakukan analisis dengan mempertimbangkan tata letak material penyimpan panas.

Berdasarkan pada uraian diatas, terlihat masih adanya peluang melakukan penelitian pemanfaatan material penyimpan panas pada sistem pemanas air surya. Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuat satu unit sistem pemans air surya tipe thermosifon dengan panel kolektor surya jenis plat datar yang dilengkapi dengan material penyimpan panas.

1.1. Material Penyimpan Panas

Energi dalam bentuk panas dapat disimpan dalam keadaan panas sensibel atau panas laten atau dengan kombinasi dari keduanya. Temperatur penyimpanan tersebut tergantung pada penggunaannya. Temperatur penyimpanan dapat diklasifikasikan sebagai rendah (kurang dari 100°C), menengah (100 sampai 450°C) dan tinggi (lebih tinggi dari 450°C). Lama penyimpanan dapat diklasifikasikan sebagai durasi singkat (beberapa jam sampai beberapa hari) dan durasi lama (beberapa bulan sampai beberapa musim).

Sistem penyimpanan energi termal secara umum dapat dicirikan dengan parameter sebagai berikut :

1. Jumlah energi yang masuk dan keluar
2. Kualitas dari energi yang masuk dan keluar
3. Penyimpanan energi yang memiliki durasi yang berulang (*cycle duration*)
4. Daya Input dan output
5. Densitas energi per satuan volume
6. Biaya investasi per satuan energi yang dihasilkan
7. Biaya operasional dan perawatan

Penyimpanan panas sensibel dilakukan dengan cara menambahkan energi ke material untuk meningkatkan temperatur tanpa mengubah fase. Material yang digunakan bisa berupa benda cair atau padat. Cairan yang paling sering digunakan adalah air dan minyak termal. Material padat yang sering digunakan seperti batu, bata, beton, besi, tanah kering dan basah, dan banyak lainnya.

Material penyimpan panas sensibel harus memiliki sifat termal yang tinggi yaitu panas spesifik C_p, densitas ρ,

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

difusivitas termal α. Material penyimpan harus dapat berulang (*reversible*) secara banyak siklus pada saat pengisian panas (*charging*) dan pelepasan/pemakaian (*discharging*).

Jumlah energi panas yang dapat disimpan pada keadaan panas sensibel dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} m * C_p * dT = m * C_p * (T_2 - T_1) \quad (2.1)$$

Dimana "Q" adalah jumlah energi panas yang dapat disimpan pada keadaan panas sensibel (kJ), "T_1" adalah temperatur awal (°C), "T_2" adalah temperatur akhir (°C), "m" adalah massa dari material yang digunakan sebagai media penyimpan panas (kg), dan "C_P" adalah panas spesifik dari material yang digunakan sebagai media penyimpan panas (kJ/kg.°C).

Berdasarkan persamaan 2.1 telah jelas bahwa jumlah energi panas yang dapat disimpan dalam keadaan panas sensibel tergantung pada massa, nilai panas spesifik material dan perubahan temperatur.

Diketahui bahwa air merupakan salah satu material terbaik yang dapat digunakan untuk menyimpan energi panas sensibel dikarenakan air tersedia dalam jumlah yang banyak, murah, memiliki panas spesifik dan densitas yang tinggi. Hingga saat ini aplikasi komersil masih menggunakan air sebagai penyimpan energi panas pada sistem berbasis cairan.

Penyimpanan panas laten memanfaatkan panas laten yang terdapat pada material untuk menyimpan energi panas. Panas laten adalah jumlah panas yang diserap selama perubahan pada material tersebut dari satu fasa ke fasa yang lainnya. Ada dua jenis panas laten yang diketahui yaitu panas laten peleburan *(latent heat of fusion)* dan panas laten penguapan *(latent heat of vaporization)*. Panas laten peleburan adalah jumlah panas yang diserap ketika material berubah dari fasa padat ke fasa cair atau sebaliknya, kemudian panas laten penguapan adalah jumlah energi panas yang diserap ketika material berubah dari fasa cair ke fasa uap atau sebaliknya. Memang panas laten penguapan tidak diperhatikan untuk aplikasi penyimpanan energi panas laten dikarenakan adanya perubahan besar pada volume disertai dengan perubahan fasa. Jumlah penyimpanan energi panas pada panas laten ditentukan oleh :

$$Q = m * LH \quad (2.2)$$

Dimana "Q" adalah jumlah energi panas yang disimpan oleh panas laten (kJ), "m" adalah massa material yang digunakan untuk menyimpan energi panas (kg), dan "LH" adalah panas laten peleburan atau penguapan (kJ/kg).

Berdasarkan persamaan 2.2 telah jelas bahwa jumlah energi panas yang dapat disimpan dalam keadaan panas laten tergantung pada massa dan nilai dari panas laten peleburan atau penguapan tersebut. Material yang digunakan sebagai alat penyimpan energi panas pada keadaan panas laten disebut dengan Phase Change Materials (PCM).

Menurut Lane (1984), penyimpanan energi panas laten memerlukan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan penyimpanan energi panas sensibel. Disamping itu penyimpanan energi panas laten dapat menyimpan sejumlah besar energi panas dengan perubahan yang kecil pada temperatur, bagaimanapun juga penyimpanan energi panas laten masih memiliki banyak permasalahan tentang bahan yang digunakan untuk melakukan proses penyimpanan energi seperti biaya yang tinggi, konduktivitas termal yang rendah dan stabilitas pada sifat-sifat termofisik setelah mengalami proses siklus (berulang).

Seluruh material adalah Phase Change Materials (PCM). Perbedaan yang paling penting antara material ini adalah pada perubahan wujud temperatur. Masing-masing material terjadi perubahan wujud (fase) pada temperatur yang berbeda. Disamping itu masing-masing material juga memiliki nilai yang berbeda dari panas laten dan konduktivitas termal. Kekurangan utama dari sebagian besar PCM adalah konduktivitas termal rendah yang akan menurunkan laju perpindahan panas. Sifat yang paling penting dalam pemilihan PCM adalah material yang memiliki fase perubahan temperatur yang disertai dengan perubahan jarak temperatur. Memang tidak ada material khusus yang disebut sebagai material ideal untuk digunakan sebagai PCM, material tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Lebih lanjut Menurut Lane (1984), berikut ini adalah sifat-sifat yang diinginkan PCM agar dapat digunakan sebagai penyimpanan energi panas laten.

1.2. Sifat-sifat termofisik

1. Temperatur berubah fasa yang dilengkapi dengan aplikasi
2. Tinggi panas laten peleburan per satuan massa
3. Tinggi konduktivitas termal di kedua fasa cair dan padat

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

4. Rendah perubahan volume selama perubahan fasa terjadi
5. Tidak ada pendinginan selama pembekuan
6. Densitas tinggi
7. Rendah variasi densitas selama perubahan fasa
8. Memiliki nilai panas spesifik yang tinggi untuk memberikan manfaat tambahan pada penyimpanan panas sensibel

1.3. Sifat Kimia

9. Stabilitas kimia setelah banyak melewati siklus operasi
10. Tidak ada pemisahan fasa atau dekomposisi kimia
11. Tidak ada penurunan setelah banyak melewati siklus operasi
12. Tidak mudah terbakar, tidak korosif dan tidak beracun

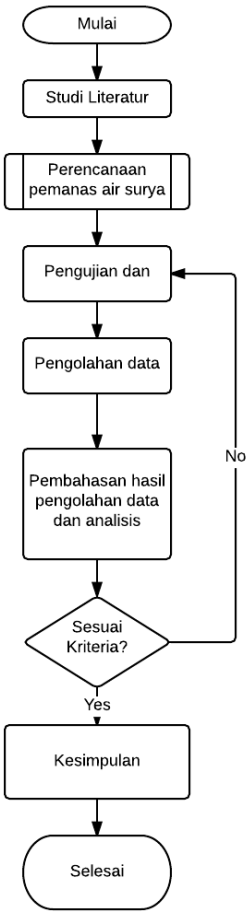
Canbazoglu et al. (2005) membuat penelitian tentang peningkatan unjuk kerja sistem panas air energi surya menggunakan *natrium tiosulfat pentahydrate* sebagai PCM yang diletakkan dalam tangki penyimpan air. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa waktu penyimpanan air panas, masa air panas yang dihasilkan dan total akumulasi panas pada sistem pemanas air surya dengan PCM lebih besar 2,59-3,45 kali dari sistem pemenas air surya tanpa PCM.

Cabeza dkk., (2006) melakukan penelitian dengan dimasukkan modul-modul PCM ke dalam tangki penyimpan air sistem pemanas air surya. Sebagai PCM digunakan campuran *sodium acetate trihydrate-grafit*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses pendinginan, pemanasan ulang dan radiasi surya yang tidak merata. Kemampuan sistem penyimpan panas dievaluasi dengan membandingkan panas yang disimpan jika tangki penyimpan air tidak dilengkapi dengan PCM, dan panas yang disimpanjiak PCM dimasukkan dalam tangki. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pengguna air panas akan memperoleh air panas dalam jangka lama jika tangki penyimpan air dilengkapi dengan PCM.

Hasil penelitian yang dilakukan Ibanez dkk. (2006), diperoleh, pengunaan PCM pada sistem pemanas air surya tipe rumah tangga di Lleida, Spanyol, mampu meningkatkan penyerapan panas hingga 8%.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dibagi dalam tiga tahapan utama, terdiri dari studi literatur, perancangan dan pembuatan alat uji, dan pelaksanan pengujian, jelasnya sebagaimana ditunjukkan dalam diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1: Diagram alir pelaksanaan penelitian

2.1. Perencanaan Pemanas Air Surya

Pada penelitian ini dipilih sistem pemanas air surya tipe thermosipon menggunakan kolektor jenis plat datar. Perencanaan dimulai penentuan parameter-parameter desain yang di perlukan seperti:

13. Sifat fluida cair yang digunakan.
14. Sifat bahan yang digunakan sebagai bahagian utama termosifon seperti plat penyerap, pipa , kaca penutup, isolator dan kerangka. Bahan yang dipilih adalah bahan yang mudah diperoleh dan dibentuk sesuai konfigurasi yang di inginkan.
15. Temperatur lingkungan sekitar dan kecepatan angin.

16. Radiasi matahari total.

Sejumlah asumsi digunakan dalam perencanan dan perhitungan kolektor surya plat datar untuk dijadikan sebagai dasar perhitungan tanpa mengaburkan kondisi fisik dasar, yaitu: (Duffie dan Beckman, 1997)

17. Kondisi steady state.
18. Tidak ada penyerapan pada kaca penutup.
19. Aliran panas yang melalui bidang penyerap dari kolektor adalah suatu dimensi kearah vertical.
20. Property tidak terpengaruh temperature.
21. Efek debu dan kotoran pada kolektor diabaikan.
22. Radiasi pada pelat penyerap adalah uniform.

Untuk perencanaan tangki penyimpan air, parameter yang perlu ditentukan antara lain material tangki, material insulator dan ketinggian tangki agar air mengalami sirkulasi alamiah.

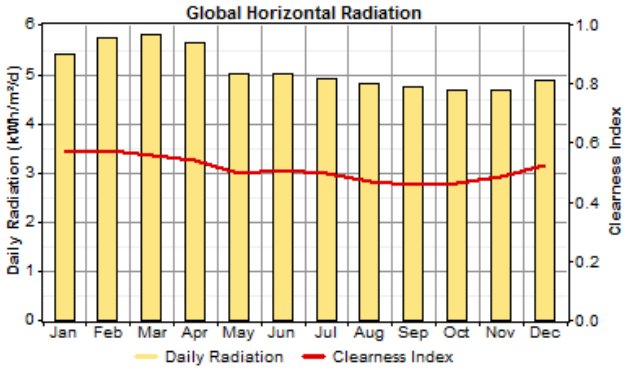
Pada tahap perencanaan ini terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan dimensi kolektor dengan menggunakan persamaan-persamaaan yang diberikan dalam Bab 2.

Data awal yang dibutuhkan untuk perencanaan pemanas air surya adalah data intensitas radiasi surya rata-rata setiap bulan selama satu tahun. Sesuai dengan lokasi pelaksanan pengujian yang dipusatkan di Lingkungan Kampus Universitas Syiah Kuala, maka data intensitas radiasi dapat digunakan data hasil pengukuran Badan Metereologi dan Geofisika Provinsi Aceh yang berpusat Bandara Udara Internasional Iskandar Muda, sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 3.1, dan Gambar 3.1.

Tabel 3.1: Data radiasi surya lokasi pengujian

Bulan	Temp. Udara (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Radiasi Matahari Harian (W/m²)	Tekanan Atm. (kPa)	Kec. Angin (m/s)
Jan	28.2	79.7%	539	99.7	4.2
Feb	28.2	79.7%	575	99.7	3.5
Maret	28.3	81.0%	579	99.7	2.8
April	28.6	82.0%	564	99.6	2.5
Mei	29.1	77.7%	501	99.6	3.1
Juni	29.2	74.8%	499	99.6	4.0
Juli	29.0	74.0%	490	99.6	3.9
Agus.	28.8	75.7%	481	99.7	4.2
Sept.	28.4	77.7%	474	99.7	3.6
Okt.	28.1	80.1%	467	99.7	3.2
Nov.	28.9	83.5%	466	99.7	3.2
Des.	29.1	81.2%	488	99.7	4.2

Sumber : BMKG Provinsi Aceh 2011



Sumber : BMKG Provinsi Aceh 2011

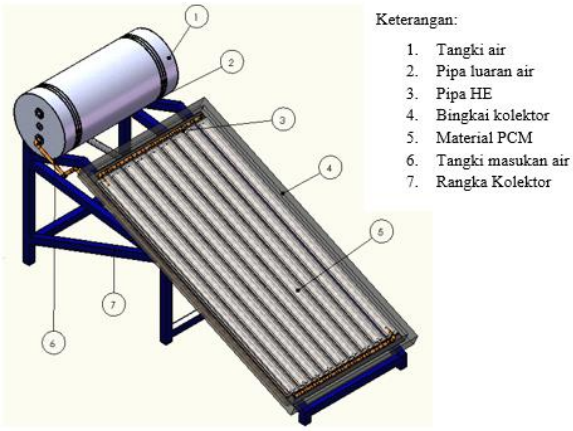
Gambar 3.2: Grafik radiasi matahari dan tingkat kecerahan

Dari Tabel 3.1 dan Gambar 3.2 terlihat bahwa intensitas radiasi matahari terkecil terjadi pada Nopember yaitu sebesar 466 W/m^2. Data ini akan digunakan sebagai data dalam perencanaan dimensi kolektor. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan agar pada saat keadaan intensitas radiasi surya berada pada saat minimum, kolektor surya masih mampu menyuplai air panas untuk mencukupi kebutuhan. Maka kondisi awal perencanaan kolektor adalah:

23. Intensitas radiasi surya adalah 466 Watt/m^2.
24. Kecepatan angin maksimum adalah 4,0 m/s^2.
25. Desain temperatur air keluaran kolektor adalah 50 ^{o}C dan temperatur masuk 28 ^{o}C.
26. Temperatur lingkungan saat pengujian model kolektor adalah 30 ^{0}C.
27. Kebutuhan air panas pada rumah tangga sebanyak 115 liter

Gambar 3.3 memperlihatkan sistem pemans air jenis termosifon hasil perancangan dengan bagian-bagian utamanya:

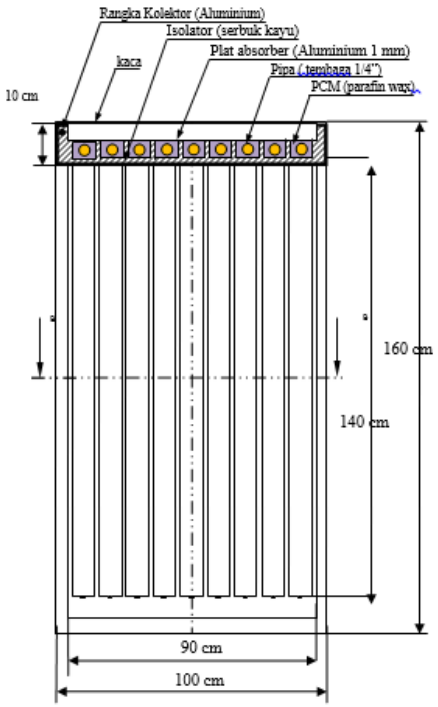
28. Kolektor surya, sebagai media penyimpan panas.
29. Tangki, sebagai media penyimpan air.
30. Dudukan, sebagai tempat dudukan kolektor surya dan tangki.



Gambar 3.3: Sistem pemanas air surya hasil perencanaan

2.2. Pembuatan Pemanas Air Surya

Ukuran dari bagian-bagian kolektor ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.4: Ukuran pemanas air surya hasil perencanaan

Spesifikasi dari masing-masing komponen yang dibuat adalah sebagai berikut:

31. Kotak kolektor : terbuat dari almunium dengan ketebalan 0.9 mm dan di perkuat dengan rangka yang juga terbuat dari alumunium.
32. Isolator: glass wolls dengan ketebalan 25 mm.
33. Penutup kaca: kaca bening dengan ukuran 1600 mm x 1000 mm x 3mm.
34. Pelat absorber: plat almunium dengan pelapis cat hitam dengan ukuran 1600 mm x 1000 mm x 0.4 mm.
35. Pipa header kolektor: pipa tembaga dengan diameter 1/2 inchi x 1200mm x 2 buah.
36. Pipa absorber kolektor: pipa tembaga dengan diameter 1/4 inchi x 1600 mm x 9 buah.
37. Tangki penyimpanan : terbuat dari aluminium tebal 0,5 mm dengan ukuran 450 mm x 900 mm dilapisi isolator menggunakan glass woll dengan ketebalan 25 mm dan ditutup dengan plat aluminium dengan ketebalan 0.2 mm.
38. Pipa sirkulasi: pipa PVC.
39. Material penyimpan panas yang digunakan adalah parafin dengan sifat-sifat sebagaimana diberikan dalam Tabel 3.2

Tabel 3.2: Data sifat termofisik lilin parafin

Melting temperature	46.7 ^{0}C
Thermal conductivity (solid)	0.1383 W/m.^{0}C
Thermal conductivity (liquid)	0.1383 W/m.^{0}C
Specific heat (solid)	2890 J/kg.K
Specific heat (liquid)	2890 J/kg.K
Density (solid)	947 kg/m3
Density (liquid)	750 kg/m3
Latent heat	209 kJ/kg

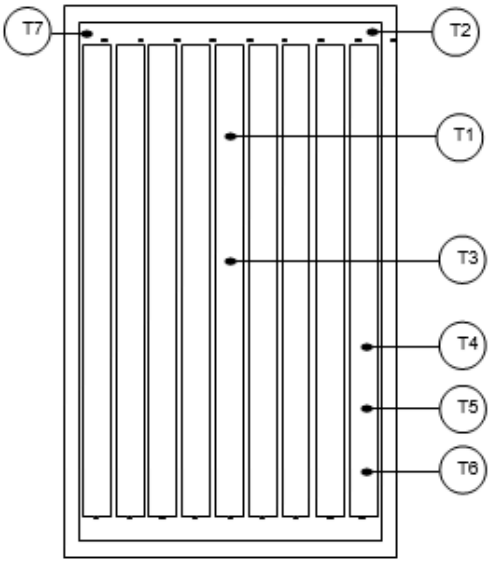
Sumber : Hasil pengukuran DSC

2.3. Pengujian dan Pengambilan Data

Lokasi pengujian dilaksanakan pada lahan terbuka di Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit mulai pukul 8.00 sampai dengan pukul 23.00.

Penempatan alat ukur pada pengujian kolektor surya merupakan bagian yang harus dilakukan dalam pengambilan data-data yang dibutuhkan untuk menentukan prestasi dari kolektor surya .Alat ukur ini terdiri dari rangkaian kabel-kabel yang ditempatkan pada beberapa titik tiap-tiap komponen dari kolektor surya. Adapun skema penempatan alat ukur pada pengujian kolektor surya sebagai berikut :

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



Keterangan
T1 = temperatur parafin pada posisi atas kolektor
T2 = temperatur air masuk
T3 = temperatur parafin pada sisi tengah kolektor
T4 = temperatur ruang pada sisi antara plat absorber dan kaca
T5 = temperatur parafin pada sisi bawah kolektor
T6 = temperatur kaca
T7 = temperatur air keluar

Gambar 3.5: Posisi penempatan alat ukur

2.4. Pengolahan Data dan Analisis

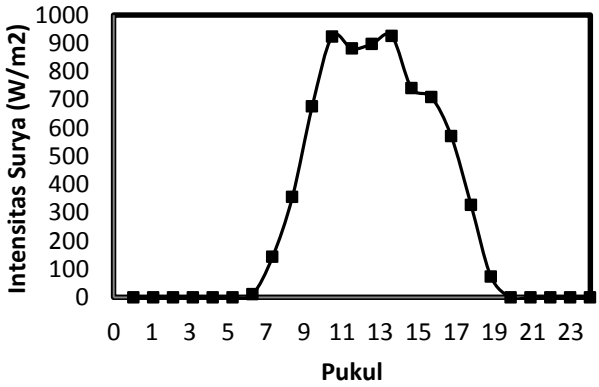
Untuk mendapatkan energi termal yang dapat dimanfaatkan dan efisiensi kolektor surya termosifon dengan menggunakan kaca dan plat absorber tidak dilapisi cat pelapis maka dilakukan analisa data. Hasil analisa data tersebut akan dijelaskan dalam bentuk grafik dengan format sebagai berikut:

40. Perbandingan Intensitas Matahari Harian (It) dan Energi Panas yang Dapat Digunakan (Qu) Terhadap Pengaruh tanpa Penggunaan cat pelapis pada plat absorber.
41. Hubungan Antara Intensitas matahari (It), temperatur plat absorber (Tp), temperatur fluida masuk (T_{fin}), temperatur fluida keluar (T_{fo}) terhadap waktu pengamatan (jam).
42. Hubungan Antara Intensitas Matahari (It) Dan Kerugian Panas (U_L) Terhadap Waktu pengamatan (Jam)
43. Hubungan efisiensi (ŋ) terhadap waktu pengamatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian

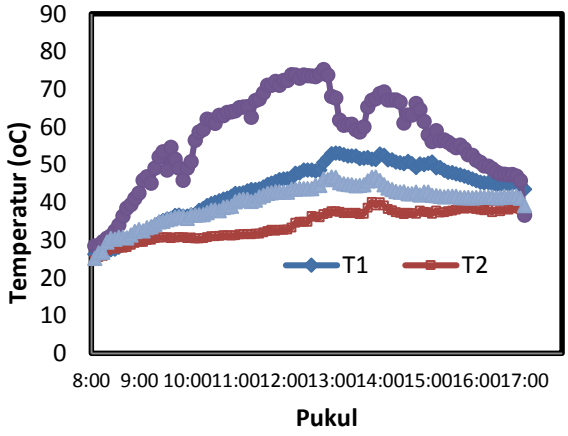
Data-data yang diperoleh dari pengujian pemanas air surya termosifon plat datar yang dilengkapi dengan material penyimpan panas seperti (temperatur air, temperatur plat penyerap dan intensitas matahari) dianalisa dengan menggunakan persamaan yang diberikan dalam bab-bab sebelumnya. Hasil pengujian dan analisa data dibahas dalam bentuk grafik. Hasil pengukuran intensitas radiasi matahari yang dilakukan pada 11 April 2012 dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.6: Grafik Intensitas matahari (It) terhadap Waktu pengamatan

Dari Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa pengambilan data intensitas matahari dilakukan dari pukul 00.00 sampai pukul 23.00. Pengambilan data pertama diambil dengan rentang 1 jam. Pada grafik diatas intensitas matahari telihat naik secara teratur pada pukul 08.00 sampai pukul 11.00 sedangkan intensitas matahari yang terlihat mulai fluktuatif pada pukul 12.00 sampai pukul 16.00. Intensitas matahari tertinggi terjadi pada pukul 14.00 yakni sebesar 924.3 W/m^2.

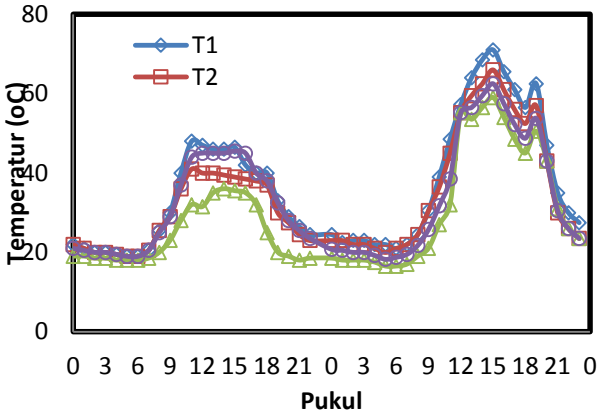
Data hasil pengujian yang dilakukan pada tanggal pada tanggal 11 April 2012 diperlihatkan dalam dalam Gambar 4.2. Dari Gambar terlihat bahwa temperatur air keluar sistem pemanas air surya sampai pada pukul 17:00 masih berada pada temperatur 45^oC, sedangkan temperatur ruang dalam kaca telah turun dibawah 50 ^oC. Hal ini menunjukkan adanya proses penyimpan panas dalam lilin parafin.



Gambar 4.7: Data hasil pengujian sistem pemanas air surya

Dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa proses pemanasan yang diterima oleh sistem pemanas air surya sangat tergantung pada radiasi surya. Semakin tinggi radiasi surya yang diterima oleh plat penyerap, temperatur air yang dicapai akan semakin tinggi. Penurunan radiasi surya dan kehilangan panas dari kolektor ke lingkungan merupakan akan mengakibatkan temperatur air juga turun.

Pengujian selanjutnya adalah melakukan pengujian performan sistem untuk bekerja selama 24 jam. Gambar asil pengukuran ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.8: Data hasil pengujian selama 2 hari

Dari hasil pengujian terlihat temperatur air dalam masuk sitem hanya bertahan sampai dengan pukul 21 malam, dimana pada pukul tersebut temperatur air hanya 30 ^{0}C, kondisi ini tentu tidak dapat diperguankan untuk keperluan mandi pada malam hari. Disisi lain temperatur air yang pada malam hari mencapai 19-22^{o}C, pada siang hari mulai jam 9:00 pagi telah mencapai 31-32^{o}C. Hal ini juga menujukan sistem ini mampu menaikkan temperatur secara cepat. Sistem ini secara umum telah mampu memberikan bekerja sesuai dengan yang diharapkan, sedangkan untuk pemakaian secara komersial perlu dilakukan analisis lebih lanjut tentang isolasi tangki penyimpan air, begitu juga dengan sistem isolasi rangka kolektor.

Besarnya energi berguna yang dapat diserap oleh kolektor ditentukan berdasarkan data pengamatan per hari. Pengamatan dimulai dari pukul 09.00 dengan dari perhitungan diperoleh energi berguna sebesar 441 W. kemudian energi yang berguna naik pada pukul 10.00 yakni sebesar 572.94 W dan kemudian laju energi yang berguna bergerak stabil dengan rata – rata 563.67 W sampai pukul 13.00. Energi berguna yang tertinggi terjadi pada pukul 12.51 yakni sebesar 627,21 W dan energi berguna terendah pada pukul 15.00 yakni 150,35 W.

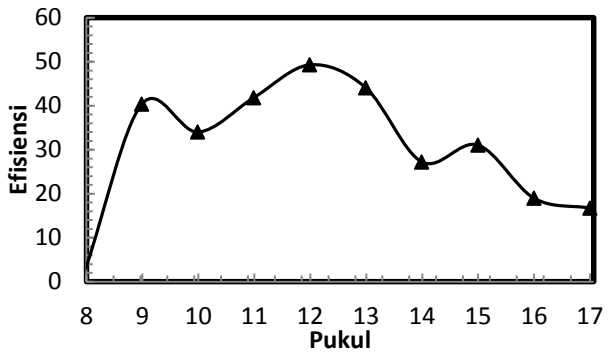
3.2. Pembahasan

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah meningkatnya kinerja sistem pemanas air surya akibat adanya penambahan material penyimpan panas. Pengukuran kinerja dapat dilakukan dengan menghitung efisiensi dari sistem. Besarnya efisiensi sistem pada kondisi operasional sering tidak mampu memberikan informasi akurat karena sifat-sifat fluida yang terus berubah dengan perubahan waktu.

Berdasarkan hasil perhitungan koefisien kehilangan panas menyeluruh pada kondisi tunak, maka dapat di gambarkan grafik hubungan efisiensi terhadap kondisi operasi sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4.4. Efisiensi tertinggi terjadi pada pukul 12.00 yakni sebesar 49,00 % dan terkecil terjadi pada pukul 8:00 sebesar 3,02 % pada pukul 08.00. Efisiensi rata-rata kolektor adalah 30,64 %.

Dari hasil penelitian yang dilakukan secara menyeluruh dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi energi radiasi matahari yang diterima oleh plat penyerap, suhu air semakin tinggi dicapai. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh masa air yang akan dipanaskan semakin besar masa air yang ada dalam sistem semakin besar energi yang dibutuhkan untuk meningkatkan temperaturnya, sehingga akan mengakibatkan meningkatnya luas kolektor yang dibutuhkan. Hal ini juga akan meningkatkan biaya pembuatan sistem pemanas air surya.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



Gambar 4.9: Efisiensi sistem pemanas air surya hasil pengujian

Dari hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa penurunan energi radiasi surya yang signifikan untuk jangka waktu yang relatif lama dapat menyebabkan kerugian yang signifikan, oleh karena itu peletakan posisi dari sistem adalah faktor utama untuk memperoleh kinerja yang baik. Hal ini harus dipertimbangkan pada saat awal pemasangan sistem karena mempengaruhi temperatur pada kaca penutup yang secara langsung mempengaruhi temperatur air keluar.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan material penyimpan panas dalam kolektor mampu memberikan konstribusi nyata terhadap kinerja sistem. Hal ini terlihat pada sore hari, temperatur air keluar dapat dipertahankan pada temperatur 40-50^{o}C sedangkan radiasi surya telah mulai menurun. Besarnya energi yang dapat diserap oleh PCM sangat tergantung pada temperatur plat *absorber*.

Dari hasil penelitian pengoperasian sistem selama 48 jam, diperoleh informasi bahwa temperatur air hanya dapat dipertahankan sampai dengan jam 20:00 malam, dan ini menunjukkan bahwa sistem pemanas air surya dapat dimanfaatkan secara optimal pada jam 9:00 sampai dengan jam 20:00 malam dengan temperatur air keluar rata-rata 40-45 °C.

4. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama meningkatkan kinerja sistem pemanas air surya menggunakan material penyimpan panas dalam kolektor surya plat datar. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan perancangan, pembuatan dan pengujian sistem dengan kondisi iklim kota Banda Aceh. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

44. Kolektor pemanas air surya termosifon yang dilengkapi material penyimpan panas mempunyai efisiensi maksimum 36,6 %.
45. Temperatur panas maksimum air yang dihasilkan kolektor pemanas air surya yang dilengkapi material penyimpan panas sebesar 70°C.
46. Temperatur air panas dapat dipertahankan sampai dengan jam 20:00 malam, dan ini menunjukkan bahwa sistem pemanas air surya dapat dimanfaatkan secara optimal pada jam 9:00 sampai dengan jam 20:00 malam dengan temperatur air keluar rata-rata 40-45 °C.
47. Efisiensi kolektor termal bergantung pada intensitas matahari, temperatur masukan, temperatur keluaran, laju aliran fluida.

NOMENKLATUR

Ac = Luas pelat penyerap (m2)

F = Faktor efisiensi kolektor (0,8-0,9)

h_w = kofisien perpindahan panas oleh angin (W/m2C)

I_t = Intensitas surya (W/m2)

Ak = Luas permukaan transparan kolektor (m2)

αA = Tranmision-absorbsivitas produk

Qu =Jumlah energi berguna,

U_L = Koefisien kehilangan panas total

T = temperatur absolut benda

T_a = temperatur lingkungan (K)

T_{pm} = tempertur plat rata – rata (K)

T_r = Temperatur rata-rata kolektor (oc)

α = absorpsivitas plat penyerap

β = kemiringan kolektor

e = emisivitas benda

εp = emintasi plat

σ = nilai tetapan Stefan-Boltzmann

DAFTAR PUSTAKA

Cabeza, L.F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J., Nogues, M., 2006. Experimentation with a water tank including a PCM module. Solar Energy Materials & Solar Cells 90, 1273–1282.

Canbazoglu, S., Sahinaslan, A., Ekmekyapar, A., Aksoy, Y.G., Akarsu, F., 2005. Enhancement of solar thermal energy storage performance using sodium thiosulfate pentahydrate of a conventional solar waterheating system. Energy Building 37, 235–242.

Duffie, J. A. & Beckman, W. A., 1997, Solar engineering of thermal processes, New York, John Wiley and Sons.

Energy Saving Trust., 2005, Renewable energy: Factsheet 3. Online: http://www.energysavingtrust.org.uk/schri/resources/factsheets.cfm [Accessed: 28/04/12]

Garg, H. P., 1975, Year round performance studies on a built-in storage type solar water heater at Jodhpur, India. Solar Energy, 17, 167-172.

Ibanez, M., Cabeza, L.F., Sole´, C., Roca, J., Nogue`s, M., 2006. Modelization of a water tank including a PCM module. Applied Thermal Engineering 26, 1328–1333.

Kousksou.T, P. Bruel, G. Cherreau, V. Leoussoff and T. El Rhafiki, 2010, PCM Storage For Solar DHW: From An Unfulfilled Promise To A Real Benefit, 9th International Conference Onphase-Change Materials And Slurries for Refrigeration And Air Conditioning 29 September -1 October 2010 Sofia, Bulgaria.

Lenel, U.R., Mudd, P.R., 1984. A review of materials for solar heating systems for domestic hot water. Solar Energy 32, 109–120.

Talmatsky, E., Kribus, A., 2008. PCM storage for solar DHW: an unfulfilled promise? Solar Energy 82, 861–869.

World Energy Council (2007) 2007 Survey Of Energy Resources, Elsevier.

Zabla, B., Martin, JM., Cabeza, LF., Mehling, H., 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. Applied Thermal Engineering 23, 251–283.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Kaji Eksperimental Kolektor Surya Dilengkapi Material Penyimpan Energi Panas

Muhammad Amin[1], T.M.I Riayatsyah[2]

[1] *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Samudra, Meurandeh Langsa*

[2] *Jurusan Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syeh Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, INDONESIA*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Phase Change Material (PCM),
Pemanas air surya,
Material penyimpan energi panas,
Perpindahan panas.

A B S T R A K

Pemanfaatan energi surya sebagian besar untuk pemanas air. Sistem pemanas air surya sudah umum digunakan namun masih memiliki beberapa hambatan sehingga selalu diperlukan penelitian untuk meningkatkan kinerja sistem pemanas air surya. Pada penelitian ini telah dirancang pemanas air surya yang dapat diandalkan untuk menyediakan air panas pada saat tidak tersedianya energi matahari atau sinar surya dalam jangka pendek. Pemanas air surya yang dirancang dan dibuat berukuran panjang 465 mm x 365 mm x 15 mm. Untuk meningkatkan kinerja sistem digunakan material penyimpan energi panas (PCM) diletakkan didalam kolektor surya yang berbentuk bola-bola. Material yang digunakan untuk penyimpan energi panas yaitu lilin lebah (*beeswax*). Pengujian sistem pemanas air surya dilakukan dilingkungan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala dengan kondisi cuaca Kota Banda Aceh. Dari hasil pengujian ditunjukkan sistem pemanas air surya mampu mencapai 58^0C, penggunaan material penyimpan energi panas mampu menaikkan temperatur air yang telah diganti pada temperatur 40^0C hingga 45^0C selama 2-3 jam sedangkan radiasi surya dan temperatur ruang kaca mulai menurun. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa menggunakan material berubah fasa (PCM) sebagai material penyimpan energi panas akan mampu meningkatkan dan mempertahankan kinerja sistem pemanas air surya.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang drastis dan revolusi industri menjadi penyebab utama peningkatan kesenjangan antara permintaan dan pasokan energi dunia saat ini. Dari waktu ke waktu energi terbarukan seperti energi surya merupakan salah satu solusi untuk masalah tersebut, namun masih memiliki hambatan dalam penyebar luasannya. Salah satu solusi dari hambatan tersebut yaitu penggunaan sistem penyimpanan energi panas yang menyimpan energi panas pada siang hari dan melepaskan energi pada malam hari.

Salah satu teknik menyimpan energi panas adalah aplikasi material berubah fasa (PCM), sebelum aplikasi teknologi praktis ini digunakan dalam skala besar, perlu untuk diselesaikan berbagai masalah pada tahap penelitian dan pengembangannya [1,2]. Karena alasan ini, penelitian ini berusaha untuk menyelidiki potensi dari peningkatan kinerja energi panas melalui material berubah fasa yang dipilih untuk penyimpanan panas pada sistem pemanas air surya. Pada penelitian ini dipilih lilin lebah sebagai material penyimpan energi panas. Penelitian ini ditujukan untuk kaji kemampuan PCM dalam menyimpan panas dan unjuk kerja sistem pemanas air surya jika digunakan PCM.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan material berubah fasa (PCM) yang mempunyai kemampuan yang paling baik dalam menyimpan energi panas dan mengetahui karakteristik material berubah fasa yang telah dipilih.

Alamat e-mail: ir.amin97@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

2. Material Penyimpan Panas

Energi dalam bentuk panas dapat disimpan dalam keadaan panas sensibel atau panas laten atau dengan kombinasi dari keduanya. Temperatur penyimpanan tersebut tergantung pada penggunaannya. Temperatur penyimpanan dapat diklasifikasi sebagai rendah (kurang dari 100^{o}C), menengah (100 sampai 450^{o}C). Lama penyimpanan dapat diklasifikasikan sebagai durasi singkat (beberapa jam sampai beberapa hari) dan durasi lama (beberapa bulan sampai beberapa musim). Sistem penyimpanan energi termal secara umum dapat dirincikan dengan para meter sebagai berikut :

1. Jumlah energi yang masuk dan keluar
2. Kualitas dari energi yang masuk dan keluar
3. Penyimpanan energi yang memiliki durasi yang berulang (*cycle duration*)
4. Daya Input dan output
5. Densitas energi per satuan volume
6. Biaya investasi per satuan energi yang dihasilkan
7. Biaya operasional dan perawatan.

Panas sensibel adalah panas yang tersimpan pada suatu material karena adanya perubahan temperatur. Pada saat temperatur naik dan mempengaruhi temperatur suatu material tetapi tidak terjadi perubahan fasa dari material tersebut maka akan diklasifikasikan sebagai jenis panas sensibel. Jumlah panas yang tersimpan tergantung pada panas spesifik dari media penyimpan panas, perubahan temperatur dan jumlah bahan penyimpan panas. Jumlah panas yang disimpan dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$Q_s = \int_{T_1}^{T_2} m_1 . Cp_1 . dT = m_1 . Cp_1 . (T_2 - T_1) \qquad (2.1)$$

Dimana:

Q_s = panas sensibel yang tersimpan (kJ)
T_1 = temperatur awal (^{0}C)
T_2 = temperatur akhir (^{0}C)
m_1 = massa (kg)
Cp_1 = panas spesifik (kJ/kg. ^{0}C)
Cp_2 = panas spesifik rata-rata antara temperatur awal dan temperatur akhir (KJ/Kg.^{0}C).

Perbedaan antara panas sensibel dan panas laten adalah ketika panas dinaikkan, jika temperatur tetap konstan terhadap pemanasan dan hanya mengalami perubahan fasa dapat diklasifikasikan sebagai penyimpan panas laten. Pada penyimpanan panas laten dapat menyimpan panas lebih banyak karena kepadatan penyimpanan energi panas yang besar. Material penyimpan panas disebut *phase change material* (PCM). Jumlah energi yang tersimpan tergantung pada jumlah PCM dan panas laten (*latent heat*) dari PCM, karena besarnya energi yang dapat disimpan pada temperatur hampir konstan dalam volume yang relatif kecil, metode penyimpanan panas laten dapat dipertimbangkan untuk terus dikembangkan. Jumlah energi panas laten yang tersimpan dapat dihtung dengan persamaan berikut [1] :

$$Q_1 = m_2 . \lambda \qquad (2.2)$$

Dimana:

Q_1 = panas laten yang tersimpan (kJ)
m_2 = massa dari PCM (kg)
λ = *Latent heat* dari PCM (kJ/kg)

3. Metodologi

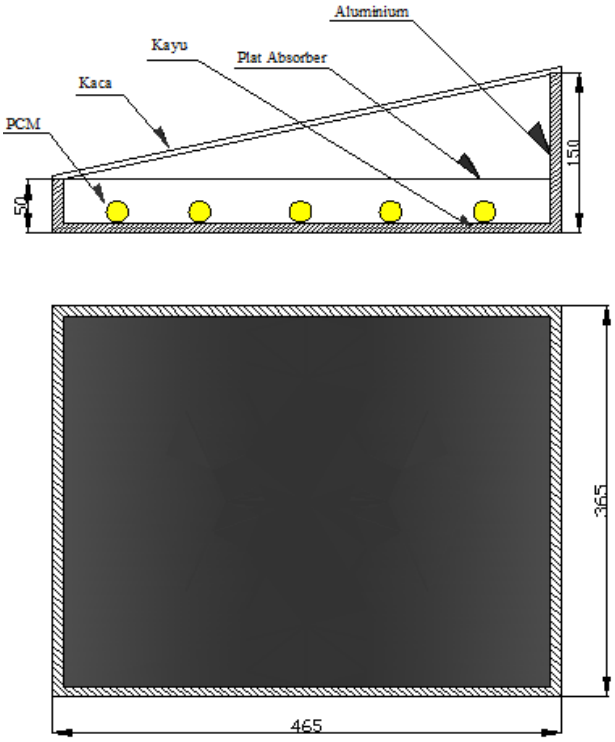
Pada penelitian ini material penyimpanan panas laten yang akan digunakan yaitu lilin lebah (*beeswax*). Sifat fisik lilin lebah (*beeswax*) terdiri dari entalpi panas laten, temperatur leleh dan panas spesifik di ukur dengan menggunakan peralatan DSC (*Differential Scanning Calorimetry*).

Besarnya panas yang diserap dinamakan entalpi panas laten, besarnya ditentukan dengan integral luas kurva mulai *melting*. Densitas (ρ) lilin lebah diukur menggunakan peralatan DTA (*Differential Thermal Analyzer*). Pada penelitian ini DSC dan DTA yang digunakan adalah DSC dan DTA yang terdapat di laboratorium Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Unsyiah. Sedangkan data konduktivitas termal lilin lebah (k_{pcm}) kondisi padat dan cair dirujuk dari literatur [1].

3.1. Perencanaan Alat Pemanas Air Surya

Pada penelitian ini alat sistem pemanas air surya dirancang seperti pada gambar dibawah ini:

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

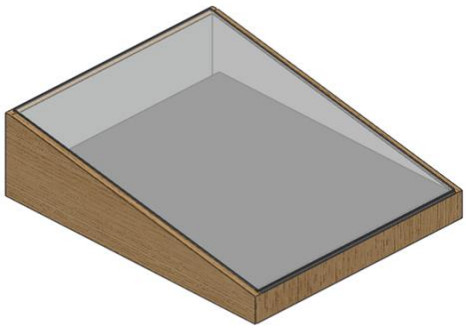


Gambar 1. Ukuran kolektor pemanas air surya

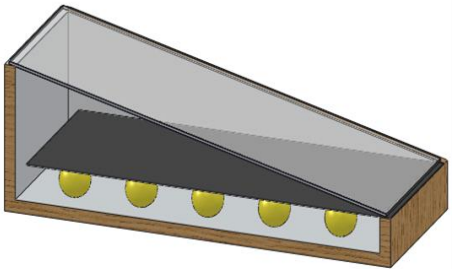
Spesifikasi dari masing-masing komponen yang dibuat adalah sebagai berikut:

1. Kotak kolektor : terbuat dari alumunium dengan ketebalan 1 mm dan dan dindingnya diperkuat dengan menggunakan kayu yang mempunyai ketebalan 10 mm.
2. Penutup kaca : kaca bening dengan ukuran 465 mm x 365 mm x 3 mm.
3. PCM : bola-bola dengan diameter 40 mm yang telah diisi material penyimpan panas.
4. Material penyimpan panas yang digunakan adalah lilin lebah.
5. Plat absorber : aluminium dengan ketebalan 1 mm

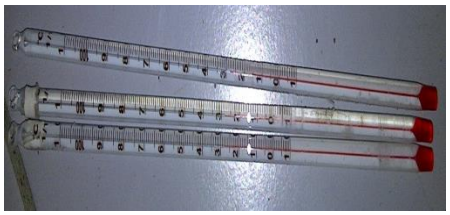
3.2. Peralatan Penelitian



Gambar 2. Gambar rancangan pemanas air surya dilengkapi material penyimpan panas



Gambar 3. Gambar potongan hasil rancangan pemanas air surya dilengkapi material penyimpan panas



Gambar 4. Termometer gelas

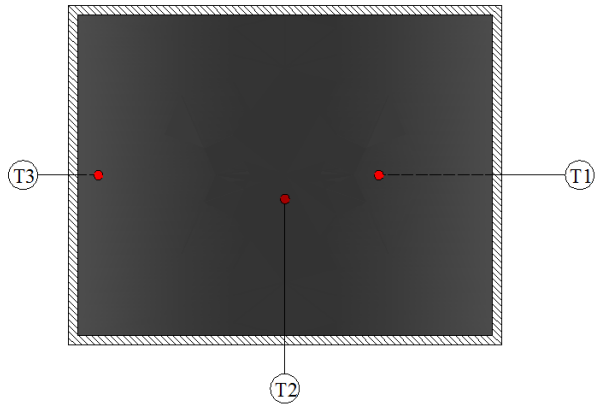
3.3. Teknik Pengumpulan Data

Lokasi pengujian dilaksanakan pada lahan terbuka di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Pengambilan data dilakukan pada mulai pukul 08.00 WIB sampai pukul 18.00 WIB. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat termometer gelas, kolektor yang telah dilengkapi dengan PCMnya diletakkan dibawah sinar matahari kemudian data yang diambil yaitu setiap rentang waktu 15 menit.

Kolektor diletakkan dibawah sinar matahari hingga dibiarkan hingga temperatur air mencapai titik maksimum, kemudian air didalam kolektor yang sudah panas diganti dengan air dengan temperatur kamar untuk melihat kinerja PCM didalam kolektor. Pada penelitian ini peneliti ingin

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

mengetahui tingkat kinerja PCM dalam mempertahankan temperatur air sehingga bila tidak tersedianya sinar matahari air didalam kolektor akan tetap hangat dengan adanya PCM. Adapun skema penempatan alat ukur pada pengujian kolektor surya sebagai berikut:



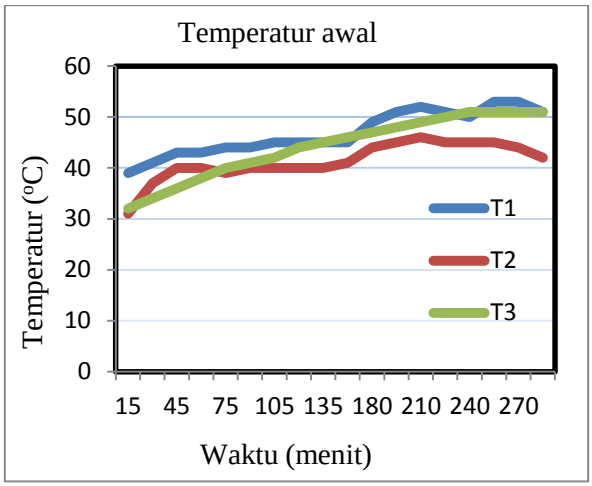
Gambar 5. Posisi penempatan alat ukur

Keterangan:
T1 = temperatur ruang pada sisi antara plat absorber dan kaca
T2 = temperatur kaca
T3 = temperatur air didalam kolektor

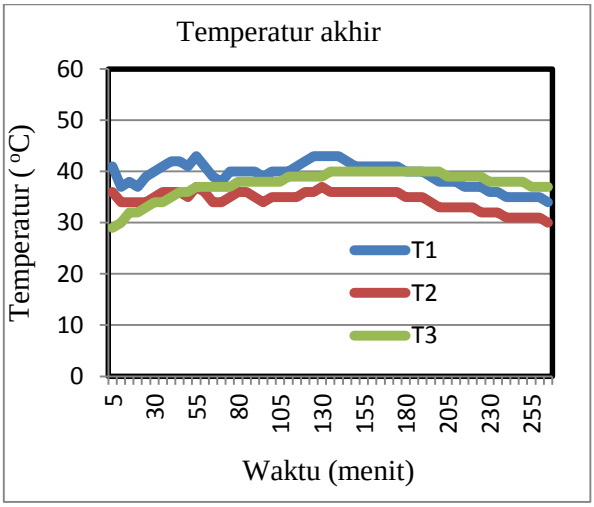
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengukuran

Data hasil pengujian yang dilakukan pada tanggal 10, 11, dan 17 Oktober 2013 diperlihatkan dalam gambar-gambar grafik dibawah ini, dari grafik-grafik dibawah ini terlihat bahwa temperatur air pada saat air diganti mencapai 45^0C sedangkan temperatur ruang dalam kaca telah turun dibawah 45^0C. Hal ini menunjukkan bahwa adanya proses penyimpanan dan pelepasan panas pada PCM. Dari hasil pengujian pada tanggal 10 Oktober 2013 pada gambar 4.1. dari gambar terlihat bahwa temperatur air pada sistem pemanas air surya mencapai titik maksimumnya pada temperatur 51^0C.



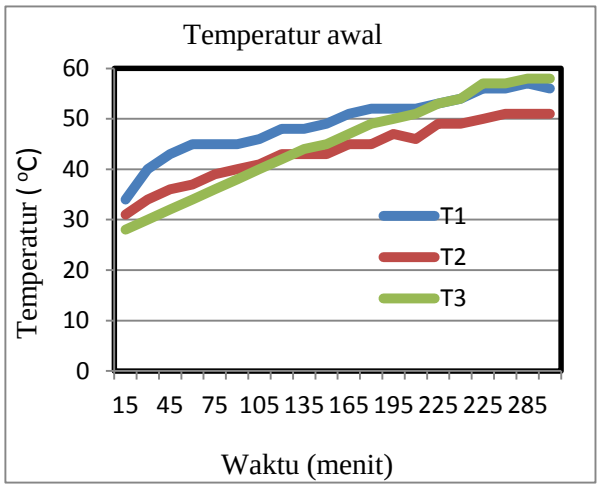
Gambar 4.1. Data hasil pengujian tanggal 10 Oktober 2013.



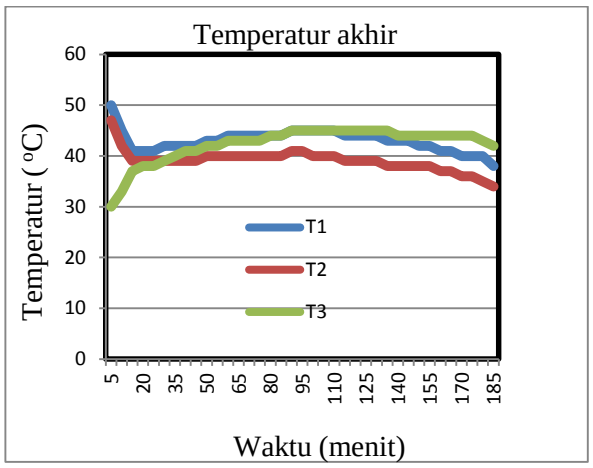
Gambar 4.2 Data hasil pengujian setelah air diganti tanggal 10 Oktober 2013

Selanjutnya air diganti dengan air biasa untuk menguji kinerja PCM didalam kolektor dari data hasil pengujian pada gambar 4.2. terlihat bahwa temperatur air pada sistem pemanas air surya masih berada pada 40^0C, sedangkan temperatur ruang kaca telah turun dibawah 45^0C. Hal ini menunjukkan adanya proses penyimpanan energi panas pada PCM.

Pengujian selanjutnya pada tanggal 11 Oktober 2013 pada gambar 4.3. terlihat bahwa temperatur air mencapai 58^0C pada sistem pemanas air surya setelah 300 menit.

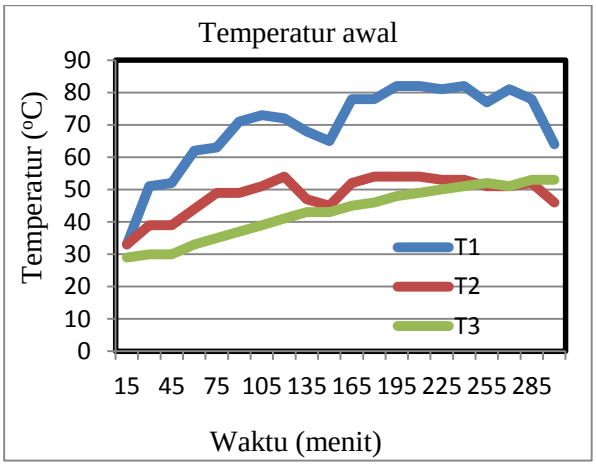


Gambar 4.3 Data hasil pengujian tanggal 11 Oktober 2013

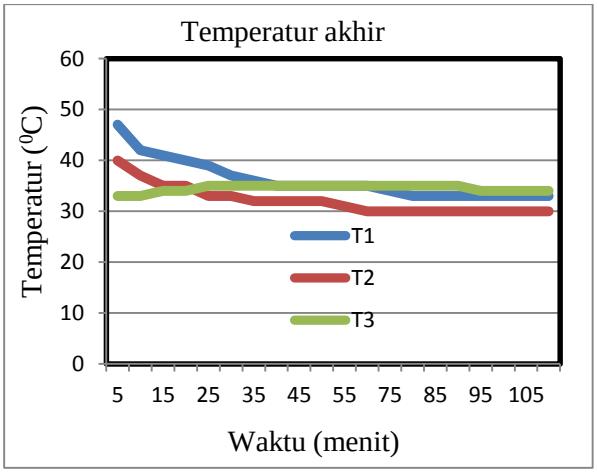


Gambar 4.4 Data hasil pengujian setelah air diganti tanggal 11 Oktober 2013

Selanjutnya air yang mencapai temperatur 58^{0}C dikeluarkan dan diganti dengan air biasa yang bertemperatur 28^{0}C untuk menguji kinerja PCM didalam kolektor. Dari data hasil pengujian pada gambar 4.4. terlihat bahwa temperatur air pada sistem pemanas air surya mampu mencapai temperatur 45^{0}C, sedangkan temperatur ruang kaca telah turun dibawah 45^{0}C.



Gambar 4.5 Data hasil pengujian tanggal 17 Oktober 2013



Gambar 4.6 Data hasil pengujian setelah air diganti tanggal 17 Oktober 2013

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah meningkatkan kinerja dari sistem pemanas air surya dalam mempertahankan temperatur air akibat adanya penambahan material penyimpan panas. Dari data hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan material penyimpan panas didalam kolektor mampu memberikan kontribusi terhadap kinerja kolektor. Hal ini terlihat bahwa setelah pergantian air, temperatur air dapat dipertahankan pada temperatur 40-45^{0}C sedangkan radiasi surya dan temperatur ruang kaca telah mulai menurun.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari data-data hasil pengukuran, analisa data dan grafik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

6. Kolektor pemanas air surya yang dilengkapi material penyimpan panas mampu menaikkan temperatur air yang telah diganti dengan air biasa yang bertemperatur 28^0C dapat mencapai temperatur 45^0C.
7. Kinerja material penyimpan panas mampu mempertahankan temperatur air berkisar 40-45^0C hingga 3 jam sedangkan temperatur kaca dan ruang kaca telah turun dibawah 45^0C.
8. Temperatur air didalam kolektor pemanas air surya bergantung pada intensitas matahari dan tingkat kecerahan langit pada saat pengujian.
9. Kinerja material penyimpan panas dalam menaikkan temperatur air yang diganti sangat bergantung pada tingginya temperatur saat pemanasan awal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, 2009, "*Review on Thermal Energy Storage With Phase Change Materials and Application*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, hlm 318-345.

[2] Cabeza, L.F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J., Nogues, M., 2006. *Experimentation whit a water tank including a PCM module*. Solar Energy Materials & Solar Cells 90, 1273-1282.

[3] Canbazoglu, S., Sahinaslan, A., Ekmekyapar, A., Aksoy, Y.G., Akarsu, F., 2005. *Enhancement of solar thermal energy storage performance using sodium thiosulfate pentahydrate of a conventional solar waterhetaing system*. Energy Building 37, 235-242.

[4] Celine Garnier., 2009, *Performance Measurement And Mathematical Modelling Of Integrated Solar Water Heaters*, Thesis, Edinburgh Napier University for the award of Doctor of Philosophy, 2009

[5] Cruz, J. M. S., Hammond, G. P. & Reis, A. J. P. S. (2002) *Thermal performance of a trapezoidal-shaped solar collector/ energy store*. Applied Energy, 73, 195-212.

□TAR

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Perencanaan Ketel Uap Menggunakan Bahan Bakar Biomassa Sawit Dengan Kapasitas Uap 100 Ton/Jam Pada Daerah Aceh Selatan

Ibrahim[1] dan Aqli Bill Haqqi[2]

[1,2] Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala,
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Ketel uap,
Biomassa Sawit

A B S T R A K

Ketel uap/boiler merupakan suatu peralatan atau sistem yang bertujuan untuk merubah air menjadi uap yang berguna. Uap yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga. Perencanaan ketel uap ini termasuk pada skala besar dengan kapasitas uap yang dihasilkan sebesar 100 ton/jam menggunakan bahan bakar biomassa sawit (tandan kosong sawit/tankos dan cangkang) sebagai sumber bahan bakar. Ketel uap ini direncanakan pada daerah Aceh Selatan, dengan perkiraan penghasilan tandan kosong sawit sekitar 1,8 ton/jam. Ketel uap dengan kapasitas besar diharapkan bisa digunakan sebagai pembangkit energi listrik. Ketel uap ini direncakan dapat menghasilkan uap pada temperatur 100 – 120^{o}C.. Tekanan uap di rencanakan 35 kg/cm^{2}. Jenis yang dirancang adalah ketel uap pipa air. Bahan ketel menggunakan bahan carbon steel.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Krisis energi listrik di Indonesia disebabkan karena semakin menipisnya bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara yang tidak diimbangi dengan peningkatan pertumbuhan penduduk. Relevansi krisis energi listrik dengan krisis bahan bakar fosil terjadi karena banyak pembangkitan tenaga listrik menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utamanya. Solusi bagi krisis energi listrik dan bahan bakar baku fosil seperti tersebut diatas adalah adanya sumber energi alternatif. Sumber energi alternatif tersebut harus bias menjadi bahan bakar subtitusi yang ramah lingkungan, efektif, efisien dan dapat diakses oleh masyarakat luas. Selain itu sumber energi alternatif tersebut idealnya berasal dari sumber energi yang bias diperbarui. Sumber energi yang bias diperbarui relative tidak berpotensi habis. Sebaliknya, selalu tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang lebih dari cukup, antara lain energi angin, air, biomassa, panas bumi, energi surya dan lain-lain.

Bentuk energi baru terbarukan (EBT) selain panas bumi dan tenaga air yang tersedia di Indonesia adalah biomassa, energi matahari dan energi kelautan. Besarnya potensi dan pemanfaatan energi terbarukan tersebut dapat dilihat pada tebel 1.1

Tabel 1.1 Potensi dan Pemanfaatan Energi Terbarukan

No	Energi Baru dan Terbarukan	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang	Rasio (%)
	1	2	3	4 = 3/2
1	Mini/Mikrohidro	500 MWe	86,1 MWe	17,22
2	Biomass	49.810 Mwe	445,0 MWe	0,89
3	Tenaga Surya	4,80 kWh/m^{2}/hari	12,1 MWe	-
4	Tenaga Angin	9.290 MWe	1,1 MWe	0,01
5	Kelautan	240 GWe	1,1 MWe	0,01

Sumber: Draft KEN 2010-2050

Salah satu potensi energi yang dapat diperbarui adalah energi biomassa limbah kelapa sawit. Selama ini, kelapa sawit banyak digunakan sebagai penghasil minyak nabati. Limbah kelapa sawit yang ditimbulkan oleh pengolahan kelapa sawit memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi. Bila dikelola dengan baik limbah kelapa sawit dapat

Alamat e-mail: abillhaqqi@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

digunakan sebagai energi alternatif pengganti batu bara yang biasa digunanakan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Limbah kelapa sawit tersebut dikenal dengan nama biomassa sawit. Limbah kelapa sawit yang bisanya digunakan sebagai energi alternatif adalah cangkang, serat dan tandan kosong kelapa sawit.

Pada daerah Aceh Selatan misalnya, produksi tandan buah segar kelapa sawit diperkirakan mencapai 65.646 ton/tahun (7,6 ton/hari). Sedangkan untuk ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup signifikan bila ditinjau berdasarkan rata-rata jumlah produksi tandan kosong kelapa sawit terhadap total jumlah tandan buah segar yang diproses. Rata-rata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di pabrik kelapa sawit (Darnoko, 2002). Jadi dapat disimpulkan bahwa produksi tandan sawit kosong (tankos) pada daerah Aceh Selatan adalah sekitar 1,8 ton/hari.

Untuk pemanfaatan biomassa tersebut, dapat dilakukan dengan merancang sebuah ketel uap yang menggunakan energi bahan bahan bakar dari biomassa tersebut. Perencanaan ketel uap ini memanfaatkan biomassa tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Bahan Bakar Biomassa

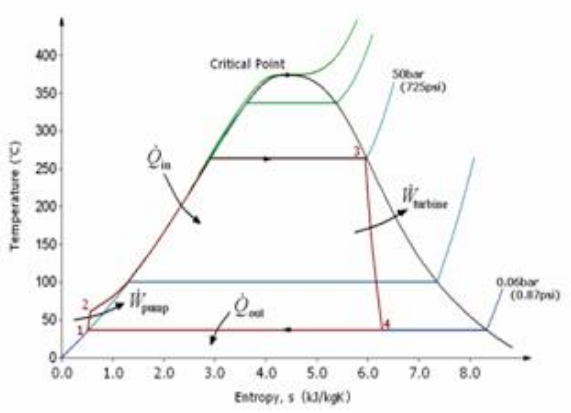
Biomassa adalah bagian yang dihasilkan dari limbah produk pengolahan hasil pertanian, kehutanan, industry dan limbah rumah tangga. Biomassa sangat beragam jenisnya yang ada pada dasarnya merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Jumlah produksi biomassa sangat melimpah di dunia. Namun pemanfaatan energy yang berasal dari biomassa masih belum optimal.

Biomassa dapat digunak an untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan pembangkitan l;istrik. Kayu sebagai sumber terbesar dari bioenergi telah digunakan untuk menyediakan panas selama ribuan tahun. Tetapi masih banyak tipe lain dari biomassa, seperti tanaman, sisa-sisa pertanian atau kehutanan, dan komponen organic dari sampah kota dan industri, yang sekarang dapat digunakan sebagai sumber energy. Yang termasuk sumber daya biomassa adalah semua bahan organik yang pada dasarnya dapat diperbaharui termasuk tanaman dan pohon khusus untuk energy tersebut, tanaman pangan, sampah dan sisa-sisa pertanian, sisa dan sampah kehutanan, tanaman air, kotoran hewan, sampah perkotaan dan metrial sampah lain.

Dari berbagai sumber daya yang ada, maka penulis memilih biomassa sawit sebagai bahan bakar untuk perencanaan ketel uap ini.

2.2. 2.2 Ketel Uap

Ketel uap/boiler merupakan suatu peralatan atau sistem yang bertujuan untuk merubah air menjadi uap yang berguna. Uap yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga. Pada dasarnya, prinsip kerja ketel uap menggunakan konsep siklus rankine. Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus Rankine merupakan model operasi dari mesin uap panas yang secara umum ditemukan di pembangkit listrik. Sumber panas yang utama untuk siklus Rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari.



Gambar 2.1. Siklus rankine

Siklus Rankine terdiri dari 4 tahapan proses :
1 – 2 merupakan proses kompresi isentropik dengan pompa
2 – 3 Penambahan panas dalam boiler pada P = konstan
3 – 4 Ekspansi isentropik ke dalam turbin
4 – 1 Pelepasan panas di dalam kondensor pada P = konstan

Ketel uap dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Ketel-ketel lorong Api dan ketel-ketel pipa api**.** Yaitu ketel-ketel api dan gas asap yang digunakan untuk memanasi air dan uap, akan melalui silinder

api, lorong-lorong api dan pipa-pipa ataupun tabung-tabung api yang di bagian luarnya terdapat api atau uap. Yang termasuk dalam golongan ini ialah ketel-ketel :

- Ketel Cornwall dan ketel Lancashire
- Ketel Schots dan ketel Schots kembar
- Ketel kombinasi antara silinder api, lorong api dan pipa-pipa api
- Ketel Lokomotip dan Lokomobil
- Ketel-ketel Tegak, Ketel-ketel Cochran dan variasinya

2. Ketel-ketel Pipa Air. Yaitu ketel-ketel air atau uap di dalam pipa-pipa atau tabung-tabung, yang dipanasi oleh api atau asap di bagian luarnya. Yang termasuk dalam golongan ketel-ketel pipa air biasa ialah :
   - Ketel Seksi (*Section boiler*) dan beberapa variannya.
   - Ketel Yarrow dan ketel-ketel berpipa terjal serta beberapa variannya.
   - Ketel –D (*D-boiler)* atau ketel dengan dua drum.
   - Ketel Pancaran dan beberapa variannya
3. Ketel-ketel Pipa Air dengan Perencanaan Khusus. Ketel-ketel pipa jenis ini direncanakan dengan berbagai maksud, antara lain :
   - Digunakan untuk bertekanan tinggi dan tekanan superkritis, melebihi 225 kg/cm^2.
   - Untuk dapat menggunakan bahan nuklir,
   - Untuk dapat menggunakan air dengan kualitas agak rendah,
   - Untuk memperbesar beban tungku ketel atau untuk memperbesar angka perpindahan panasnya.

3. Metodologi

3.1. Analisa Bahan Bakar

Untuk menghasilkan uap pada suatu unit ketel uap dibutuhkan sejumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Rumusan dari analisa bahan bakar dapat dilihat dibawah ini.

3.1.1.1. Nilai kalor bahan bakar

Nilai kalor dari bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Petit* dan *Dulong* sebagai berikut:

$$HHV = 33195\,C + 121423\,(H_2 - O_2/8) + 10468\,S \quad (kJ/kg)$$

$$LHV = 33195\,C + 121423\,(H_2 - O_2/8) + 10468\,S - 2512\,(W + (9 \times O_2/8)) \quad (kJ/kg)$$

3.1.1.2. Konsumsi bahan bakar

Menurut Menurut Muin, Syamsir A (1988:143) Nilai konsumsi bahan bakar dapat dihitung menggunakan:

$$W_f = \frac{W_s(h_{uap} - h_w)}{LHV \,.\, \eta} \quad kg/jam$$

Dimana:

W_f = Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)
W_s = Berat produksi uap (kg/jam)
h_{uap} = Entalpi uap pada temperatur (kJ/kg)
h_w = Entalpi air pada temperatur (kJ/kg)
LHV = Nilai kalor atas bahan bakar kJ/kg
η = efisiensi ketel (%)

3.1.1.3. Produksi gas asap

Menurut Menurut Muin, Syamsir A (1988:181), untuk mengetahui berat total gas asap yang keluar dari cerobong dari hasil pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar adalah dengan cara melakukan penjumlahan, yaitu:

$$W = W\,CO_2 + W\,H_2O + W\,SO_2 + W\,N_2 \quad (kg/kg.b.b)$$

3.2. Ruang bakar

Perhitungan volume ruang bakar dapat menggunakan rumus berikut:

$$V = \frac{LHV \; x \; W_f\,(1 - Luc) + H_f}{Hv}$$

Dimana:

V = Volume ruang bakar (m^3)
LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)
W_f = Jumlah kebutuhan bahan bakar (kg/jam)
Luc = Kerugian pembakaran (asumsi = 0,04)
H_f = Panas sensibel dari bahan bakar (kJ/kg)
Hv = Penyerapan panas pada ruang bakar (kkal/Nm^3)

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

3.3. Temperatur pembakaran teoritis

Menurut Muin, Syamsir A, temperatur pembakaran teorotis pada ruang bakar adalah:

$$T_1 = \frac{(LHV)\ x\ \eta_f}{V_g\ x\ C_p}$$

Dimana:

T_1 = Temperatur pembakaran teoritis (°C)
LHV = Nilai pembakaran terendah (kJ/kg)
C_p = Panas jenis gas asap pada (kJ/K)
Vg = Volume gas asap (m^3 std/kg.bb)
η_f = efisiensi dapur (0,90 + 0,97)

3.4. Suhu efektif nyala api

untuk menghitung besarnya suhu efektif dari nyala api pada ruang bakar boiler dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T_f = \sqrt[4]{T_1^2\ .\ T_2^2}$$

Dimana:

T_1 = temperatur teoritis pembakaran
T_2 = temperatur dinding dapur

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan rumusan diatas, maka diperoleh spesifikasi unit boiler yang dirancang sebagai berikut :

TYPE DAN KAPASISTAS	
Tipe boiler	: pipa air
Kapasitas uap	: 100 ton/jam
Temperature dan tekanan uap operasi	: 100 -120°C; 1,5 – 2,0 bar

DIMENSI UKURAN KETEL :	
Diameter ketel	:2 m
Panjang ketel	: 10 m
Bahan dinding ketel	: carbon steal SA-299
Bahan isolasi	: asbes

DIMENSI UKURAN BIDANG PEMANAS	
Bahan pipa	: steamless carbon stell
Diameter luar (DO)	: 7,30 cm
Diameter dalam (DI)	: 6,26 cm
Tebal pipa (t)	: 0,52 cm
Jarak antara sumbu (b)	: 3xDO = 21,9 cm
Panjang efektif (L)	: 5,2 m
Jumlah baris	: 18 baris
Jumlah pipa	: 252 buah

DIMENSI RUANG BAKAR	
Volume ruang bakar	: 47,76 m^3
Panjang ruang bakar	: 3,8 m^3
Diameter ruang bakar	: 2 m^3

DIMENSI CEROBONG:	
Panjang cerobong	: 20 m
Diameter atas cerobong	: 0,5 m
Diameter bawah cerobong	: 2,12 m
Nilai tarikan asap	: 43 m/s

5. Kesimpulan

1. Unit boiler cukup efisien dengan capaian efisiensi thermal 85%
2. Bahan bakar yang digunakan untuk unit boiler tersedia cukup baik pada daerah Aceh Selatan.
3. Unit boiler yang menggunakan bahan bakar biomassa sawit pada daerah Aceh Selatan dapat digunakan sebagai pengganti pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar konvensional.

4. Daftar Pustaka

5. Babcock dan Wilcock, 1972, *Steam / Its Generation and use*, edisi ke-38.
6. Muin. A, Syamsir, 1988, Pesawat-pesawat Konversi Energi (Ketel Uap), Cv. Rajawali, Jakarta.
7. Incropera, F. P and David P. DeWitt, 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, *Sixth Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
8. Djoko Setyarjo,M.J, 1987, Ketel Uap, Edisi Pertama, PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
9. Muluk Chairul, 2011 Pemanfaatan Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pembangkit Listrik, Jakarta.
10. Anonim, Panduan Untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa, The Japan Institute of Energy.
11. Siregar,H.P, 2001 Pengembangan Ketel Uap untuk Industri Kecil, Prosiding Seminar Nasional Peran Teknologi Informasi dalam pengembangan Usaha Kecil Menengah, Forum Komunikasi Teknologi Tepat Guna Jawa Timur, Surabaya.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

12. Rusnato, Perencanaan Ketel Uap Tekanan 6 Atm Dengan Bahan Bakar Kayu Untuk Industri Sederhana.
13. Suyatno, 1991 Perencanaan Ketel Uap Kapasitas 2500 kg/jam Uap Jenuh Pada Tekanan 15 Bar Absolute Dengan Bahan Bakar Baggase, Semarang.
14. Anonim, 2010, Panduan dan Format Penulisan Proposal TGA – Karya Ilmiah – TGA, Jurusan Teknik Mesin Unsyiah, Darussalam.

□TAR

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Karakteristik Batubara Pada Cekungan Meulaboh Di Kabupaten Aceh Barat Dan Nagan Raya, Provinsi Aceh

Hamdani[a] danYossi Oktarini[b]

a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Kota Langsa, Aceh,
b Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh,

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Karaktersitik,
Batubara,
Analisis Proksimat,
Cekungan Meulaboh

A B S T R A K

Batubara adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan mineral matter penyusunnya. Penentuan kualitas batubara dilakukan melalui analisis kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik batubara yang meliputi sifat kimia yang terkandung pada batubara Cekungan Meulaboh di Kabupaten Aceh Barat dan Nagan Raya, Provinsi Aceh. Penelitian ini menggunakan 30 sampel data batubara dari lokasi yang berbeda-beda. Analisis kualitas dari batubara dilakukan melalui analisis proksimat terhadap parameter kualitas batubara yang meliputi kandungan air (moisture content), kandungan abu (ash content), zat terbang (volatile matter), karbon tertambat (fixed carbon), kandungan sulfur (sulfur content) dan kalori (calorific value).

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. PENDAHULUAN

Batubara adalah batuan sedimen organik yang terbentuk dari sisa-sisa macam tumbuhan dan telah mengalami dekomposisi atau penguraian oleh adanya proses biokimia dan geokimia dalam lingkungan bebas oksigen yang dipengaruh oleh panas dan tekanan yang berlangsung lama sehingga berubah baik sifat fisik maupun sifat kimia. Proses pembentukan batubara dapat melalui proses sedimentasi dan skala waktu geologi. Pada proses sedimentasi, batubara terbentuk dari material tumbuh-tumbuhan, yang terendapkan di dalam suatu cekungan pada kondisi tertentu (Hadi et al, 2012).

Cekungan sedimentasi yang ada di alam bersifat dinamis, artinya dasar cekungannya akan mengalami proses penurunan atau pengangkatan yang dipengaruhi akibat dari gaya-gaya tektonik. Apabila proses penurunan dasar cekungan sedimentasi lebih sering terjadi, akan terbentuk penambahan luas permukaan tempat tanaman mampu hidup dan berkembang. Selain itu, penurunan dasar cekungan akan mengakibatkan terbentuknya batubara yang cukup tebal. Makin sering cekungan sedimentasi mengalami proses penurunan, batubara yang terbentuk akan makin tebal. Di Indonesia, batubara yang mempunyai nilai ekonomis terdapat pada cekungan sedimentasi yang berumur tersier, dengan luasan ratusan hingga ribuan hektar, terutama di Pulau Sumatra dan Kalimantan. Kenyataan tersebut memberikan pola pikir bahwa cekungan sedimentasi di kedua pulau tersebut, proses penurunan dasar cekungan lebih sering terjadi, sehingga suatu hal yang wajar apabila ketebalan endapan batubara dikedua pulau tersebut dapat mencapai ratusan meter (Sidiq, 2011). Di Pulau Sumatera, batubara ditemukan di Meulaboh (Sumatera Utama) sebesar 4,7% dari jumlah seluruh batubara Indonesia (Muchjidin, 2006).

Pengendapan material pembentuk batubara di dalam cekungan pengendapan ini selanjutnya akan mengalami proses biokimia dan termodinamika yang akan mengubah serta meningkatkan derajat pembatubaraan yang bermula dari gambut yang akan berubah menjadi antrasit. Proses

Alamat e-mail: hamdani_umar@yahoo.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

pembatubaraan ini akan menghasilkan karakteristik kualitas batubara yang berbeda-beda dari satu tempat ke tempat lainnya.

Karakterisasi batubara berbeda-beda sesuai dengan *coal field* dan *coal seam*, sehingga batubara memiliki tingkat variabilitas tinggi baik fisik maupun kimia, dan tidak hanya bervariasi secara vertical namun juga horizontal. Akibat variabilitasnya ini dilakukanlah parameterisasi kualitas batubara untuk memudahkan pemanfaatannya, yang lazim digunakan adalah kadar kelembaban, kandungan zat terbang, kadar karbon, kadar abu, kadar sulfur dan nilai kalor (Komariah, 2012).

Mengingat masih minimnya penelitian yang dilakukan terhadap batubara Cekungan Meulaboh Aceh Barat dan Nagan Raya terutama mengenai kualitas batubara melalui analisis proksimat, dengan demikian peneliti bermaksud ingin mengetahui bagaimana karakteristik kimia batubara yang mempengaruhi kualitas batubara di daerah telitian. Penelitian ini menggunakan data dari analisis proksimat terhadap 30 sampel batubara dari daerah konsesi pertambangan PT. Media Djaya Bersama (MDB), yang beroperasi di Kabupaten Aceh Barat dan Nagan Raya, Provinsi Aceh. Data analisis proksimat kualitas batubara yang dilakukan oleh Geoservices ini diperoleh dari Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Aceh. Adapun data hasil analisis laboratorium yang diperoleh berupa parameter kandungan air (*moisture content*), kandungan abu (*ash content*), zat terbang (*volatile matter*), karbon tertambat (*fixed carbon*), kandungan sulfur (*sulfur content*) dan kalori (*calorific value*).

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik batubara yang meliputi sifat kimia yang terkandung pada batubara Cekungan Meulaboh di Kabupaten Aceh Barat dan Nagan Raya, Provinsi Aceh.

2. KARAKTERISASI KUALITAS BATUBARA

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*). Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat. Analisis proksimat merupakan analisis pengujian kimia terhadap *moisture*, kandungan abu, kandungan zat terbang, dan kadar karbon yang ditentukan dari serangkaian metode pengujian standar *(standart test methods)*. Analisis ini dikembangkan sebagai alat sederhana untuk menentukan distribusi produk yang diperoleh dari sampel batubara dipanaskan dibawah kondisi tertentu. Dengan pengertian lain, analisis proksimat memisahkan produk ke dalam empat kelompok: (1) *moisture*; (2) kandungan zat terbang, terdiri dari gas dan uap selama pirolisis; (3) kadar karbon, fraksi non-*volatile* dari batubara, (4) kandungan abu, sisa pembakaran anorganik. (Speight, 2005).

Moisture yang mengisi penuh pori-pori ini ditentukan sebagai *total moisture* dan dipandang sebagai *moisture* bawaan di dalam sampel yang dikumpulkan dalam keadaan segar: tidak menunjukkan adanya yang dapat dilihat *(visible)* pada permukaan batubara, tidak dibiarkan menjadi kering setelah pengumpulan sampel, dan sampel diambil dari muka batubara segar yang belum kering. Apabila sampel tidak memenuhi kriteria ini, maka *moisture* bawaan dapat ditaksir dengan penentuan *equilibrium moisture* (Muchjidin, 2006). Sementara itu, *inherent moisture* terdapat di dalam kapiler zat batubara dan berada dalam tekanan dari kelembaban kapiler air permukaan. Untuk itu banyak energi yang perlu dikeluarkan untuk mengeluarkan air di dalam permukaan partikel batubara sehingga menguap. Batubara yang hanya mengandung *inherent moisture*, tidak akan mengandung air pada permukaan partikelnya (Cook, 1999).

Volatile matter (VM) ialah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh *kadar moisture*). *Volatile* yang menguap terdiri atas sebagian besar gas-gas yang mudah terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metan (Muchjidin, 2006). Parameter kualitas batubara lainnya adalah *Fixed Carbon* (FC). FC menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. *Fixed Carbon* atau kadar karbon merupakan kandungan utama dari batubara. Kandungan inilah yang paling berperan dalam menentukan besarnya *heating value* suatu batubara. Semakin banyak *fixed carbon*, maka semakin besar *heating value*-nya. Nilai kadar karbon diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar *moisture* (kelembapan), kadar abu, dan jumlah zat terbang. Nilai ini semakin bertambah seiring dengan tingkat pembatubaraan. Kadar karbon dan jumlah zat terbang digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar yaitu berupa nilai *fuel ratio* (Komariah, 2012), sebagai berikut :

$$Fuel\ Ratio = \frac{Fixed\ Carbon}{Volatile\ Matter}$$

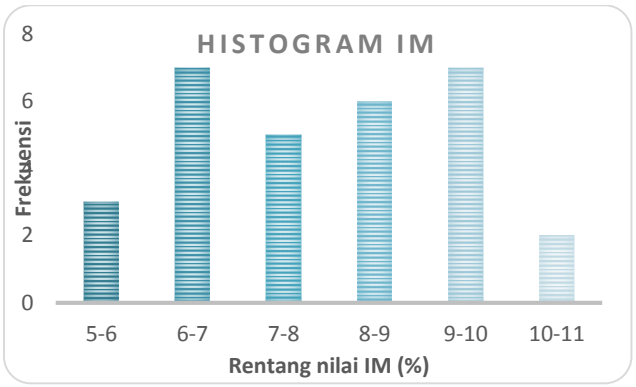
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Kandungan abu *(ash)* merupakan jumlah residu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Kandungan abu berasal dari hasil sisa pembakaran batubara. Keberadaan kandungan abu pada lapisan batubara dikarenakan senyawa organik dan anorganik yang merupakan hasil dari rombakan material disekitarnya yang bercampur pada saat transportasi, sedimentasi dan pembatubaraan (Sidiq, 2011). Sementara itu, kandungan sulfur dalam batubara sangat bervariasi dan pada umumnya bersifat heterogen sekalipun dalam satu seam batubara yang sama. Sulfur dalam batubara thermal maupun metalurgi tidak diinginkan, karena sulfur dapat mempengaruhi sifat-sifat pembakaran yang dapat menyebabkan *slagging* maupun mempengaruhi kualitas produk dari besi baja. Oleh karena itu dalam komersial, sulfur dijadikan batasan garansi kualitas, bahkan dijadikan sebagai *rejection limit* (Rismayanti, 2012)

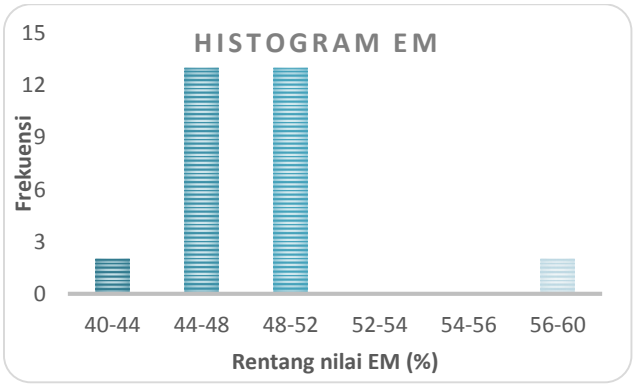
Kalor adalah suatu bentuk energi yang diterima oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah suhu atau wujud bentuknya. Kalor berbeda dengan suhu, karena suhu adalah ukuran dalam satuan derajat panas. Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda. Panas yang dilepas oleh batubara bila dibakar di udara merupakan besaran yang sangat penting dalam menganalisis batubara. Energi yang dibebaskan ini berasal dari adanya interaksi eksotermis senyawa hidrokarbon dengan oksigen. Material lainnya seperti *moisture*, nitrogen, sulfur, dan zat mineral juga mengalami perubahan kimia, tetapi kebanyakan reaksinya endotermis dan akan mengurangi energi yang sebenarnya ada dalam batubara (Muchjidin, 2006).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1.a terdapat histogram yang mengilustrasikan rentang nilai dan frekuensi *Equilibrium Moisture* (EM) dalam basis *as received* (ar), dimana frekuensi data EM terbesar sebesar 13 data yaitu terdapat pada rentang EM 44-48% dan 48-52%, selanjutnya pada rentang nilai 52-54 % dan 54-56 % tidak diperoleh frekuensi nilai EM, kemudian pada rentang nilai EM 56-60% terdapat sebanyak 2 data EM. Dari histogram terlihat bahwa tipikal EM (ar) pada sampel batubara Cekungan Meulaboh berkisar antara 44-52% .



(a)



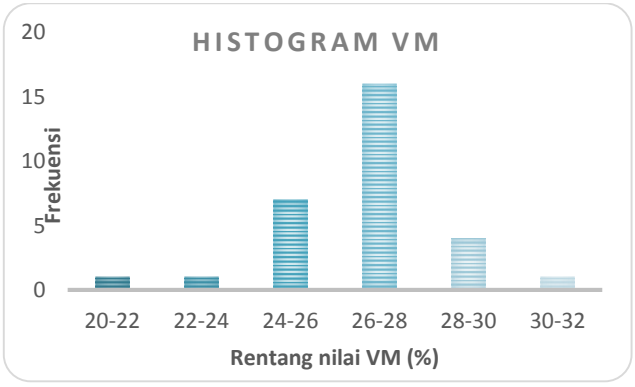
(b)

Gambar 1. Distribusi Nilai (a) *Equilibrium Moisture* dan (b) *Inherent Moisture*

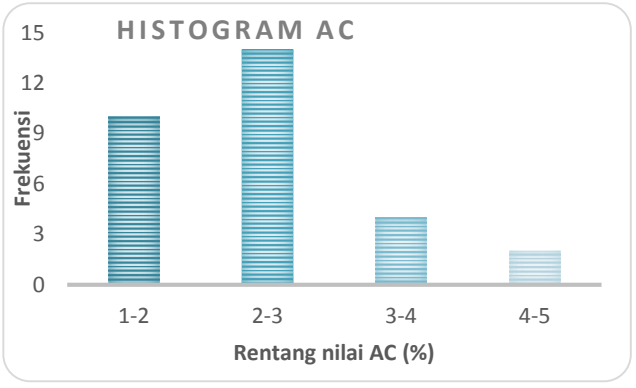
Sementara itu, Gambar 1.b memberi ilustrasi mengenai histogram *Inherent Moisture* (IM). Histogram IM menunjukkan nilai IM pada setiap rentang dengan fluktuasi data yang bervarisi, yang dimulai pada rentang 5-6% terdapat sebanyak 3 data, pada rentang data selanjutnya terdapat frekuensi tertinggi yakni sebanyak 7 data dengan interval IM 6-7%. Selain itu, frekuensi data yang sama juga terdapat pada rentang berikutnya yaitu pada 9-10%, dengan demikian dapat dijelaskan bahwa tipikal data IM (ar) pada sampel terdapat pada rentang 6-10%.

Gambar 2.a menampilkan histogram *Ash Content* (AC) dalam basis *as received* (ar), dimana pada histogram terdapat 4 rentang nilai AC yang berbeda yang berkisar antara 1-5 %, dari histogram tersebut terlihat bahwa nilai AC yang tertinggi terdapat pada rentang 2-3%, diperoleh sebanyak 14 data. Sementara itu, rentang nilai AC pada interval pertama sebesar 1-2% sebanyak 10 data, pada interval lainnya nilai AC tidak terlalu signifikan yakni terdapat pada rentang 3-4% dan 4-5%, masing-masing sebanyak 4 dan 2 data. Dari analisis melalui histogram di atas dapat dinyatakan bahwa tipikal data untuk nilai AC

pada sampel batubara Cekungan Meulaboh berkisar 2-3%. Sedangkan, pada Gambar 2.b terdapat histogram *Volatile Matter* (VM) dalam basis *as received* (ar) yang menggambarkan nilai VM pada tiap rentang tertentu, terlihat bahwa nilai terbesar VM berada pada rentang 26-28% sebanyak 16 data. Dibawah rentang nilai tersebut, terdapat 7 data yang berada pada rentang 24-26% dan seterusnya data VM tidak terlalu signifikan yaitu sebanyak 4 dan 1 data saja. Dengan demikian, terlihat bahwa tipikal VM pada sampel berada pada interval 26-28% dengan frekuensi sebanyak 16 data.



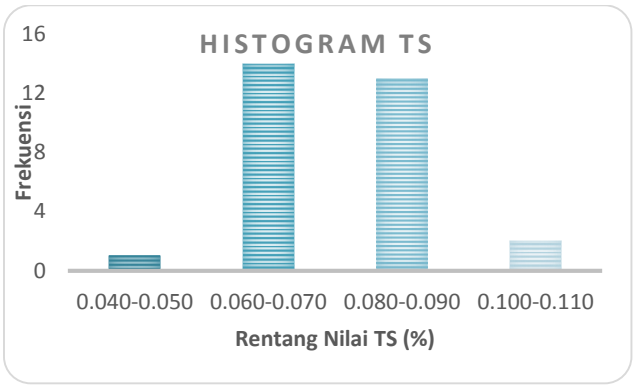
(a)



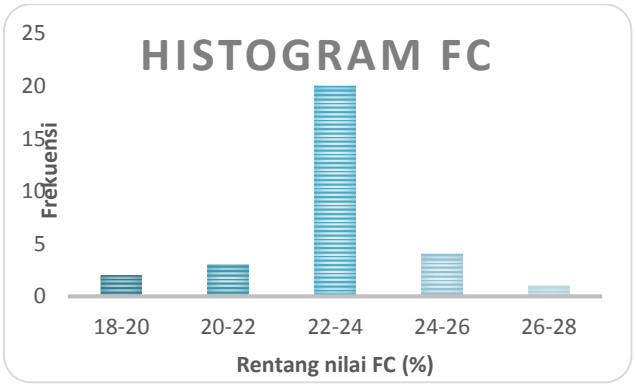
(b)

Gambar 2. Histogram (a) *Ash Content* dan (b) *Volatile Matter*

Pada Gambar 3.a terlihat nilai *Fixed Carbon* (FC) dalam basis *as received* (ar) yang diilustrasikan pada sebuah histogram, secara keseluruhan data FC pada histogram terdistribusi dengan baik. Pada rentang 22-24% memiliki frekuensi tertinggi sebanyak 20 data, dan selanjutnya pada interval 24-26% dan 20-22% terdapat sebanyak 4 dan 3 data. Pada interval lainnya yakni 18-20% dan 26-28 % hanya diperoleh 2 dan 1 data. Dari analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa tipikal nilai FC pada sampel batubara yaitu terdapat pada interval 22-24% sebanyak 20 data.



(a)



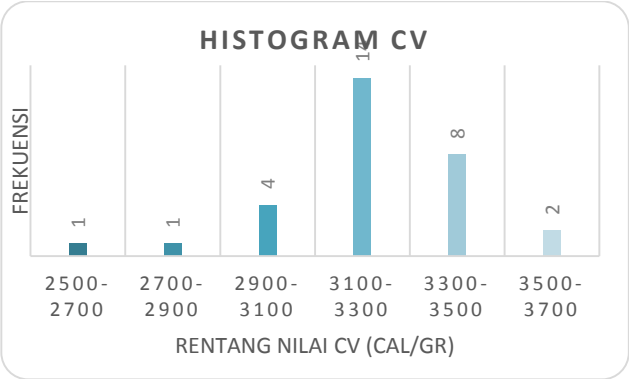
(b)

Gambar 3. Histogram (a) *Fixed Carbon* dan (b) *Total Sulphur*

Sedangkan, Gambar 3.b menampilkan histogram nilai *Total Sulphur* (TS) dalam basis *as received* (ar), dari histogram tersebut terlihat bahwa nilai TS banyak didominasi pada rentang 0,060-0,090 %, dengan frekuensi sebanyak 14 data berada pada rentang 0,060-0,070 dan pada rentang 0,080-0,090 terdapat 13 data. Sementara itu, pada rentang kelas lainnya hanya terdapat 2 dan 1 data, yaitu pada rentang 0,100-0,110% dan 0,040-0,050%. Dengan demikian dari analisis histogram terhadap TS diperoleh tipikal nilai TS yakni sebanyak 27 data berkisar pada rentang 0,060-0,090%.

Histogram *Calorific Value* (CV) dalam basis *as received* (ar) seperti pada Gambar 4. menunjukkan frekuensi data CV bervariasi terhadap tiap rentang data.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

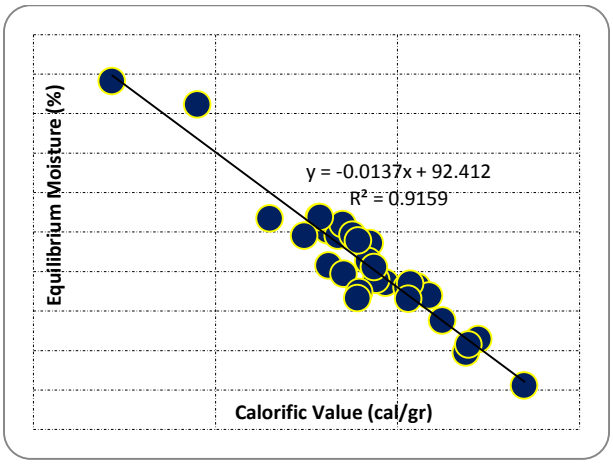


Gambar 4. Histogram (*Calorific Value)*

Dari histogram tersebut, dapat dilihat bahwa sebanyak 14 data yang merupakan frekuensi tertinggi pada rentang CV 3100-3300 cal/gr. Sementara itu, interval 3300-3500 cal/gr memiliki data yang cukup banyak yaitu dengan frekuensi sebesar 8 data. Sedangkan untuk interval lainnya terdapat 4 data yang berada pada rentang 2900-3100 cal/gr, dan seterusnya sebanyak 2 data saja yaitu pada rentang CV 3500-3700 cal/gr. Selanjutnya pada rentang 2500-2700 cal/gr dan 2700-2900 cal/gr masing-masing 1 data. Berdasarkan frekuensi data CV pada histogram di atas, dapat dijelaskan bahwa tipikal data CV pada Cekungan Meulaboh terletak pada rentang 3100-3300 cal/gr dengan frekuensi 14 data.

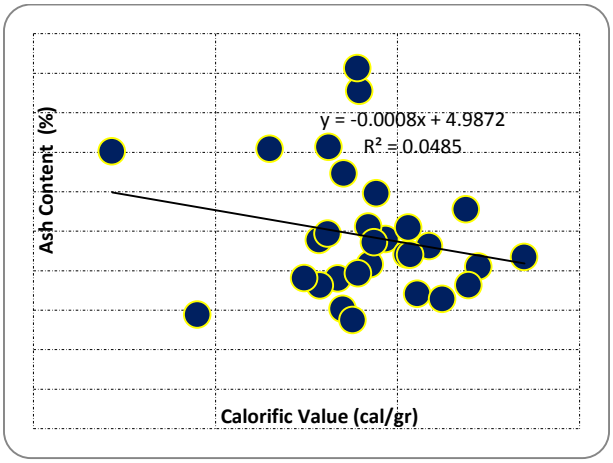
3.1. Hubungan Parameter Kualitas Batubara terhadap Calorific Value (CV)

Dari Gambar 5.a terlihat bahwa hubungan antara *Equilibrium Moisture* (EM) dan *Calorific Value* (CV) sangat besar dimana terdapat hubungan yang berkebalikan yaitu semakin kecil nilai EM maka *Calorific Value* semakin besar, besar hubungan antara EM dan CV ini terlihat dari koefisien determinasi sebesar R^2= 0,9159. Dari grafik hubungan EM dan CV tersebut terlihat bahwa tipikal data untuk sampel batubara Cekungan Meulaboh mempunyai rentang nilai CV sebesar 3000-3400 cal/gr dengan EM berada pada rentang 46-51%.



Gambar 5. Hubungan Equilibrium Moisture terhadap Calorific Value

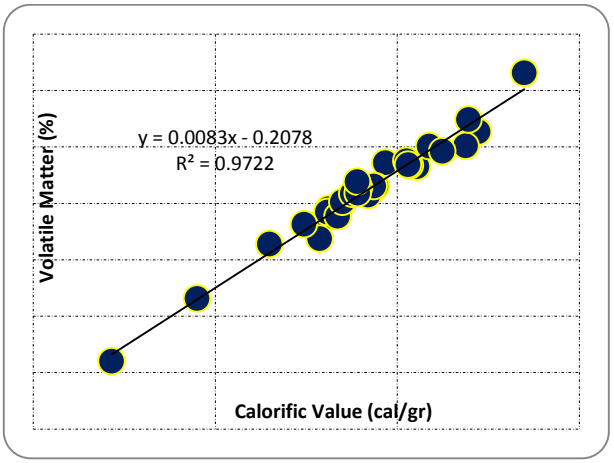
Gambar 6.a menunjukkan tidak ada pengaruh yang signifikan dari nilai *Ash Content* (AC) terhadap perubahan nilai *Calorific Value* (CV), hubungan antara dua variabel ini memiliki koefisien determinasi yang sangat kecil yaitu R^2= 0,0485.



Gambar 6. Hubungan *Ash Content* terhadap *Calorific Value*

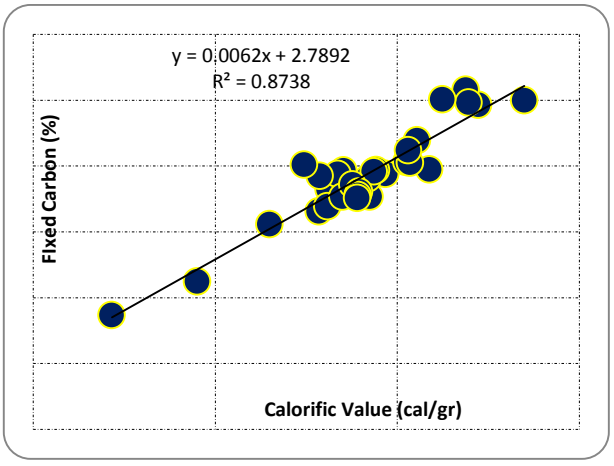
Sementara itu, hubungan antara V*olatile Matter* (VM) terhadap CV (Gambar 6.b) mempunyai pengaruh yang sangat besar, hal ini terlihat dari koefisien determinasi yang mendekati 1 yaitu R^2 = 0,9722 , korelasi antara VM dan CV memberi hubungan garis lurus dimana semakin besar nilai VM maka nilai CV juga semakin meningkat. Dari grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa tipikal nilai CV pada sampel batubara ialah berkisar antara 3000-3500 cal/gr dengan VM antara 25-29%. Besarnya nilai VM dari batubara mengindikasikan besarnya reaktifitas batubara pada saat dibakar karena kandungan *volatile matter* dapat

mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas nyala api.



Gambar 6. Hubungan Volatile Matter terhadap Calorific Value

Dari Gambar 7.a terlihat bahwa korelasi antara *Fixed Carbon* (FC) yang signifikan terhadap nilai kalori (CV), yakni terlihat dari besar R^2 = 0,8738, dari korelasi ini nilai FC semakin besar seiring meningkatnya nilai CV dan sebaliknya. FC merupakan ukuran dari padatan yang masih ada dalam peralatan pembakaran setelah zat-zat mudah menguap yang ada dalam batubara atau FC merupakan indikator yang menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa.



Gambar 7. Hubungan (a) *Fixed Carbon* dan (b) *Total Sulphur* terhadap *Calorific Value*

Dari grafik hubungan FC dan CV ini terlihat bahwa tipikal data CV berada berkisar pada 3000-3400 cal/gr dengan rentang nilai FC berkisar pada 21-24%. Sementara itu, *Total Sulphur* (TS) pada grafik Gambar 7.b menunjukkan pengaruh yang tidak terlalu besar terhadap perubahan nilai CV, ditandai dengan hubungan korelasi antara keduanya yang relatif kecil yaitu R^2 = 0,2056.

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari analisis parameter kualitas batubara pada Cekungan Meulaboh diperoleh tipikal data dalam basis *as received* (ar) untuk tiap parameternya sebagai berikut: EM diperoleh pada rentang 44-52% dan IM terletak pada interval 6-10%. Sementara itu, untuk tipikal data AC dari sampel berkisar 2-3% dan VM terdapat pada interval 26-28%. Sedangkan FC dan TS masing-masing terdapat pada interval 22-24% dan 0,060-0,090%. Untuk tipikal CV berdasarkan analisis histogram data diperoleh sebesar 3100-3300 cal/gr.
2. Berdasarkan analisis parameter kualitas batubara terhadap *calorific value* (CV) terlihat bahwa V*olatile Matter* (VM) mempunyai korelasi yang besar terhadap peningkatan CV yang ditandai oleh koefisien determinasi sebesar R^2 = 0,9722. Selain itu, *Fixed Carbon* (FC) menunjukkan pengaruh yang sama signifikan terhadap CV yaitu dengan R^2 = 0,8738. Namun, *Equilibrium Moisture* (EM) memberi pengaruh berkebalikan yaitu penurunan terhadap CV, dengan korelasinya sebesar R^2= 0,9159. Sementara itu, parameter kualitas lainnya seperti IM, AC, dan TS tidak memberi pengaruh signifikan terhadap nilai CV.

DAFTAR PUSTAKA

Cook, A.C, 1982. The Origin and Petrology of Organic Matter in Coals, Oil Shales, and Petroleum Source-Rock. Geology Departement of Wollonggong University, Australia

Hadi, A.I, et al, 2012, Analisis Kualitas Batubara Berdasarkan Nilai HGI dengan Standar ASTM, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu.

Komariah, W.E, 2012, Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah melalui Penghilangan Moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro, Tesis, Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok.

Muchjidin, 2006, Pengendalian mutu dalam industri batu bara, Penerbit ITB, Bandung.

Rismayanti, 2012, Analisa Batubara, http://rismayantianalisabatubara.blogspot.com/, Artikel : Senin, (tanggal akses : 20 Januari 2014).

Sidiq, Nur, 2011, Geologi dan Studi Kualitas Batubara pada Seam A, Daerah Binai dan Sekitarnya, Kecamatan Tanjung Palas Timur, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Timur, Skripsi, Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Yogyakarta.

Speight. J.G, 2005, Handbook of coal analysis, Vol. 166, John Wiley & Sons, Inc.

□TAR

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Analisis Pemanfaatan *Boil-Off Gas* Sebagai Bahan Bakar Kapal Pengangkut Gas

T. Azuar Rizal[a], Hamdani[b] dan Muhammad Amin[a]

[a]*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Langsa, Aceh*
[b]*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Boil off Gas;
Bahan Bakar
Kapal Angkut Gas
LNG

A B S T R A K

Kapal pengangkut LNG merupakan sarana utama yang paling handal dalam transportasi LNG di dunia. Dalam operasionalnya, setiap kapal pengangkut LNG akan menghasilkan boil-off gas akibat ekspansi dari tangki penyimpan LNG. Jumlah rata-rata BOG yang dapat dihasilkan adalah 0,15% dari kapasitas tangki ruang muat per hari. Untuk itu, ada peluang untuk memanfaatkan BOG sebagai bahan bakar kapal pengangkut LNG. Salah satu sistem penggerak mula yang dapat memanfaatkan BOG adalah penggerak mula yang menggunakan siklus gabungan turbin gas dan turbin uap. Paka kajian ini telah dilakukan analisa perbandingan penggunaan siklus kombinasi dengan 3 alternatif keluaran daya. Siklus kombinasi yang menjadi pilihan adalah yang membutuhkan bahan bakar yang rendah dan menghasilkan daya yang besar. Dari hasil analisa untuk kapal pengangkut dengan volume LNG 138.000 m^3, diperoleh kombinasi turbin gas dengan daya keluar 25.060 KW dan turbin uap 5.000 KW, akan dapat beroperasi menggunakan BOG sebagi bahan bakar dibandingkan dengan kombinasi daya turbin gas 14.900 KW dan turbin uap 15.000 KW akan membutuhkan bahan bakar tambahan untuk penyediaan panas pada HRSG.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Boil-off gas adalah prose penguapan gas cair (LNG) pada tekanan atmosfer. Gas hasil penguapan ini sering dibuang langsung ke lingkungan dengan cara melakukan pembakaran pada suar gas (gas flare). Akan tetapi dalam proses pengangkutan oleh kapal pengangkut, gas akan mengalami proses penguapan gas tidak karena adanya perbedaan temperatur antara lingkungan dengan gas dalam tangki yang mencapai -160 ^oC. Untuk mencairkan *boil-off gas* memerlukan peralatan kompresi yang mahal untuk menginstal dan mengoperasikan, sehingga segala upaya dilakukan untuk memanfaatkan boil-off gas tersebut.

Sistem penggerak pada kapal merupakan bagian yang sangat vital dalam pengoperasian kapal tersebut. Pemilihan sistem penggerak yang tepat dapat memberikan penghematan yang signifikan dalam operasionalnya. Umumnya, istem penggerak kapal LNG konvensional menggunakan steam turbine. Efisiensi dari sistem penggerak steam turbine ini cukup rendah. Dengan demikian, dibutuhkan suatu inovasi teknologi sistem penggerak kapal yang mampu memberikan efisiensi yang tinggi sekaligus mampu menghemat bahan bakar.

Sebuah kombinasi Gas Turbine dan Steam Turbine melalui sebuah unit Heat Recovery Steam Generator menawarkan banyak keuntungan jika di aplikasikan sebagai tenaga penggerak utama di kapal LNG.

Keuntungan utama dari sistem ini adalah penghematan energi sebesar 30% sampai 35% dibanding jika marine gas turbine ataupun marine steam turbine dipakai secara terpisah. Kondisi ini menjadi lebih menarik lagi seiring dengan perkembangan teknologi dari modern advanced gas turbine berbahan bakar gas alam yang mampu memberikan

Alamat e-mail: azuarrizal@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

efisiensi thermal total pada suatu unit combined cycle power plant (CCPP) lebih dari 60%. Dengan efisiensi total sebesar ini memungkinkan bagi CCPP untuk kembali bersaing dengan motor diesel. Terlebih lagi dengan adanya tuntutan akan emisi gas buang serendah mungkin, CCPP berbahan bakar gas alam akan lebih unggul.

Teknologi saat ini sudah mampu untuk mengaplikasikan *Combined Cycle Propulsion Plant* (CCPP) di kapal. Kombinasi dari tipe penggerak ini sangat tinggi, bahkan mampu mencapai 60%, lebih besar dari efisiensi diesel engine. Gas turbine juga mampu memanfaatkan boil-off gas (BOG) yang dikeluarkan akibat ekspansi muatan LNG carrier. Pemanfaatan BOG dan efisiensi yang tinggi dari CCPP akan memberikan keuntungan tersendiri apabila diaplikasikan pada LNG carrier. Oleh karena itu, dalam penulisan tesis ini, dilakukan analisa dari penggunaan CCPP dengan pemanfaatan BOG pada LNG pengagkutan LNG.

Penanganan akibat terjadinya boil off-gas selama operasi kapal pengangkut LNG merupakan isu kunci dalam teknis dan ekonomi penilaian sistem energi. Menurut jenis dari sistem energi, BOG dapat digunakan sebagai bahan bakar, reliquefied atau dibakar dalam sebuah unit gasifikasi.

Dalam sistem propulsi turbin gas, BOG digunakan sebagai bahan bakar utama. Besarnya gas yang terbentuk dari BOG sangat tergantung dari lokasi pelayaran dari kapal pengangkut. Untuk itu berbagai sistem perlu dikembangkan untuk memperoleh sistem propulsi yang optimal untuk kapal pengangkut. Salah satu sistem yang dapat dikembangkan adalah penggunaan BOG untuk sistem HRSG pada sistem propulsi kapal pengangkut LNG.

2. Pembangkit Tenaga Siklus Gas

Menurut ***Richard Gilmore (2005),*** pemilihan spenggerak mula kapal pengangkut LNG dapat didasarkan pada dua faktor utama yaitu efisiensi unit penggerak dan pemanfatan BOG sebagai bahan bakar. Efisiensi unit penggerak merupakan salah satu faktor penting yang ditentukan olh jarak jelajah dan berat bahan yang diangkut yang termasuk. Efisiensi unit penggerak akan menentukan jumlah bahan bakar yang digunakan, biaya operasi kapal, dan biaya bahan bakar, yaitu akhirnya akan menentukan besarnya biaya yang diperlukan untuk mengangkut jumlah tertentu kargo per mil laut.

Selama perjalan ada sejumlah LNG menguap dari tangki LNG yang mncapai 0,15% per hari dari volume maksimum tangki LNG saat pelayaran kapal. Penguapan ini terjadi untuk mengontrol suhu dan tekanan dalam tangki. LNG merupakan bahan bakar yang memiliki perbandingan HHV per kg berat yang tinggi, yang artinya penggunaan LNG akan mampu dapat menghemat hingga 25% dari berat bahan bakar. (Dimana Gas HHV: 13000 kkal / kg, dan HHV minya berat: 10280 kkal / kg).

Tabel 2-1 Perbandingan sistem penggerak mula kapal pengangkut LNG

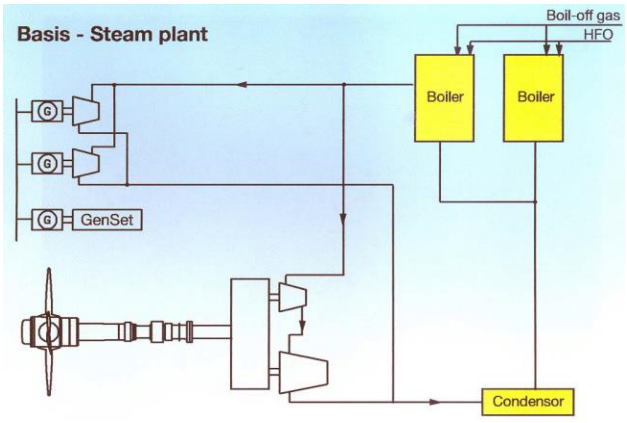
Penggerak Mula	Konfigurasi	Bahan Bakar	Penanganan BOG	Sistem Transmisi
Turbin Uap	Dua Boiler dan memiliki HP dan LP turbin Uap	Gas Alam Minyak Berat Gabungan	Bahan Bakar boiler	Transmisi mekanik dengan roda gigi reduksi
Motor Bakar Diesel (putaran rendah atau putaran sedang)	Satu atau dua unit Motor Bakar diesel	Minyak Berat	Suar Gas Pencairan	Transmisi langsung
Turbin Gas	Satu unit Turbin gas penggerak mula dan satu unit untuk penyedia listrik	Gas alam	Bahan bakar turbin gas	Transmisi dengan roda gigi reduksi
	COGAS Kombinas turbin uap-turbin gas	Gas alam	Bahan bakar turbin gas	

Sejumlah besar alternatif sistem penggerak telah dipertimbangkan selama beberapa tahun terakhir sebagai kandidat untuk penggantian penggunaan pembangkit tenaga uap tradisional pada kapal LNG. Tabel 2.1 menggambarkan dan membandingkan alternatif yang penggerak mula yang dapat dijadikan dasar pada pemilihan sistem penggerak kapal pengangkut LNG.

Kapal pengangkut LNG dengan penggerak mula turbin uap biasanya menggunakan dua unit boiler untuk memasok uap ke turbin tekanan tinggi dan turbin tekanan rendah. Putaran turbin kemudian direduksi menggunakan roda gigi untuk memutar poros baling-baling kapal. Turbin uap juga digunakan untuk menggerakkan generator pembangkit energi listrik untuk menjalankan seluruh peralatan bantu yang ada dalam kapal. Gambar 2.1.

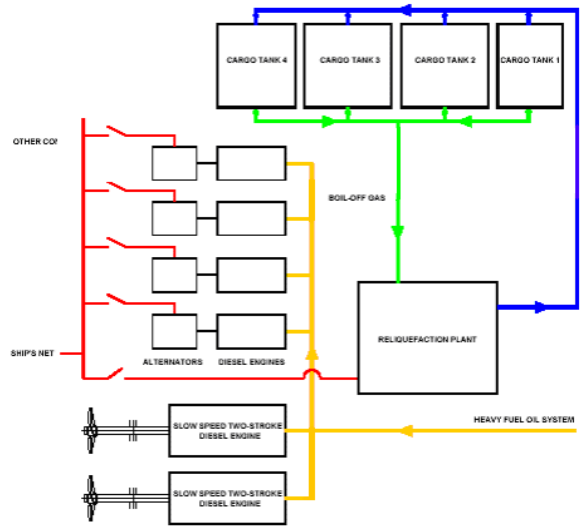
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

memperlihatkan diagram sistem penggerak mula turbin uap pada kapal pengangkut LNG.



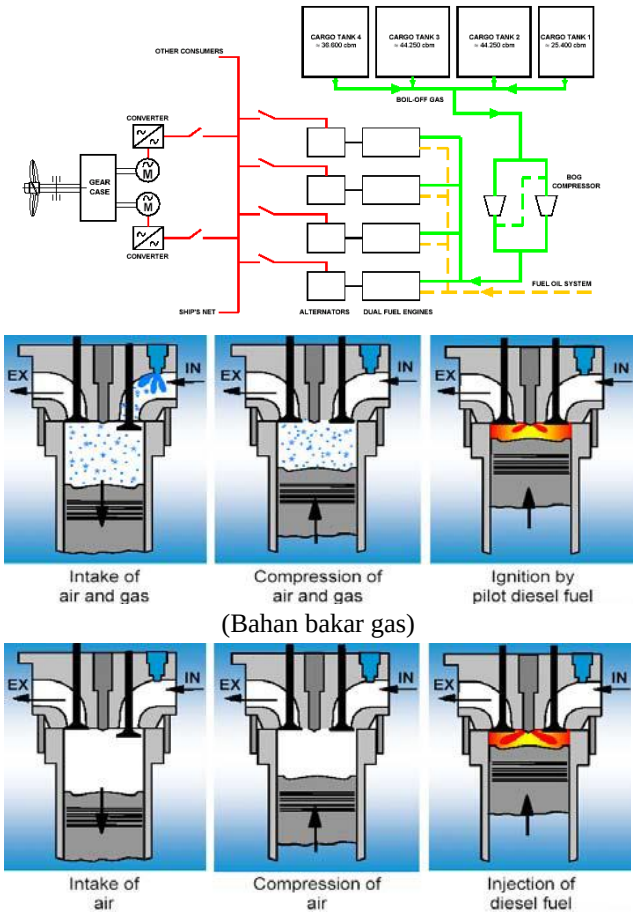
Gambar 2-1: Skema sistem penggerak mula turbin uap

Gambar 2.2. memperlihatkan sistem penggrak mula motor bakar diesel putaran rendah. Sistem ini telah banyak digunakan pada kapal angkut. Dengan pertimbangan kehilangan gas yang dihasilkan oleh boil-off gas, maka sistem penggerak ini sangat jarang digunakan pada kapal pengangkut LNG. Dengan meningkatnya kemampuan melakukan pencairan gas hasil boil-off gas, pengunaan sistem penggerak mula motor bakar diesel putaran rendah telah menjadi pilihan pada ssat ini.



Gambar 2-2:Skema sistem penggerak motor bakar diesel putaran rendah

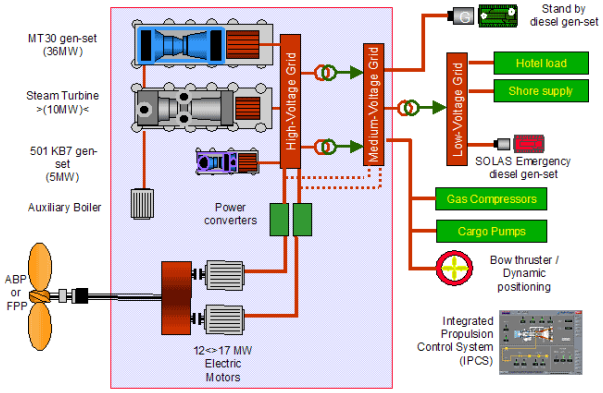
Pemilihan pengerak mula motor diesel putaran sedang pada kapal pengangkut LNG, didasarkan pada kemampuan motor bakar tersebut menggunakan dua tipe bahan bakar (bahan bakar gas dan minyak diesel. Gambar 2.3 memperlihatkan skema sistem penggerak mula motor bakar diesel putaran sedang.



Gambar 2-3:Skema sistem penggerak motor bakar diesel putaran rendah

Sistem penggerak mula turbin gas, walaupun memiliki banyak keuntungan pada perbandingan daya terhadap berat mesin, tingkat emisi, pengaturan mesin yang fleksibel, efisiensi dan konsekuensial peningkatan volume kargo, sejauh ini belum diadopsi sebagai sistem propulsi pada kapal LNG. Sistem propulsi turbin gas memiliki beberapa keunikan dan keterbatasan dibandingkan dengan sistem propulsi konvensional kelautan, masalah teknis dan ekonomi harus diselesaikan secara rinci dalam pemanfaatannya pada kapal LNG. Keterbatasan utama mengguankan turbin gas adalah reduksi dari putaran turbin ke putaran baling-balaing. Oleh karena it turbin gas banyak digunakan hanya untuk penggerak generator listrik untuk menyediakan kebutuhan listrik dalam kapal.

Alteratif yang dapat ditempuh adalah menggunakan siklus gabungan turbin uap dan turbin gas. Pada sistem ini turbin uap digunakan untuk memutar baling-baling, sedangkan turbin gas digunakan untuk memutar generator. Pada sistem ini dapat digunakan bahan bakar gas hasil Boil-Off Gas secara optimal. Gambar.2.4. memperlihatkan skematik sistem penggerak mula kapal LNG menggunakan siklus gabungan.



Gambar 2-4:Skema sistem penggerak siklus gabungan (turbin uap-turbin gas)

2.1. Analisa Termodinamika Siklus Gabungan

Ada dua pertimbangan utama dalam pemilihan sistem penggerak di kapal – kapal tipe LNG *carrier*, yaitu *cooling system* untuk menjaga agar gas tetap dalam fase cair, dan penanganan terhadap BOG (*Boil Off Gas*). *Cooling system* yang mampu mendinginkan fluida sampai dengan (-1600C) memerlukan sumber energi dari *auxiliary plant* yang besar. Sedangkan BOG (*Boil Off Gas*) dapat ditangani secara efisien jika kapal memilih *main engine* yang mampu memanfaatkan BOG (*Boil Off Gas*) sebagai bahan baku utama.

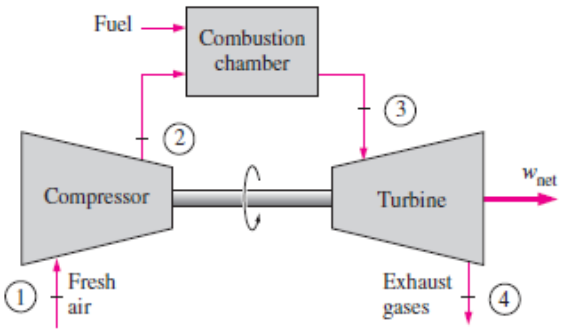
Produksi BOG (*Boil Off Gas*) yang dapat mencapai 0,15% perhari umumnya tidak mampu memenuhi kebutuhan bahan bakar kapal selama pelayarannya, karenanya kapal LNG *carrier* masih membawa tangki minyak sebagai bahan bakar tambahan sistem ini dikenal dengan nama *dual fuel.* Sistem penggerak pada kapal LNG *carrier* merupakan bagian yang sangat vital dalam pengoperasian kapal tersebut. Pemilihan sistem penggerak yang tepat dapat memberikan penghematan yang signifikan dalam operasionalnya.

Umumnya, sistem penggerak kapal LNG konvensional menggunakan *steam turbine*. *Efisiensi* dari sistem penggerak *steam turbine* ini cukup rendah. Dengan demikian, dibutuhkan suatu inovasi teknologi sistem penggerak kapal LNG *carrier* yang mampu memberikan *efisiensi* yang tinggi sekaligus mampu menghemat bahan bakar. Yaitu dengan menggabungkan *steam turbine* dengan *turbine gas* yang disebut dengan *Combined Cycle Propulsion Plant* (CCPP).

Turbin gas adalah salah satu alat yang pembangkit listrik yang mengkonversi energi kalor menjadi energi gerak (mekanik), yang dapat menghasilkan energi yang sangat besar berdasarkan ukuran dan beratnya. Atau sebuah mesin dimana bahan bakar dikompresi terus dibakar dengan udara untuk menghasilkan aliran panas, gas yang bergerak cepat. Aliran gas ini digunakan untuk menyalakan kompresor yang memasok udara ke mesin serta menyediakan kelebihan energi yang dapat digunakan untuk mengerjakan pekerjaan lain. Pada Siklus Brayton, turbin gas dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

2.1.1. Siklus Terbuka (Open Cycle Gas Turbine)

Udara segar pada kondisi ambien (atmosfir) disedot masuk ke dalam kompresor, dimana terjadi peningkatan suhu dan tekanan . Udara bertekanan tinggi diproses di dalam ruang pembakaran, dimana bahan bakar dibakar pada tekanan konstan. Gas temperatur tinggi yang dihasilkan kemudian masuk turbin, di mana gas temperatur tinggi dan bahan bakar dibakar pada tekanan atmosfer sehingga menghasilkan tenaga. Gas buang yang dihasilkan turbin dibuang keluar (tidak disirkulasikan kembali), menyebabkan siklus harus diklasifikasikan sebagai siklus terbuka.



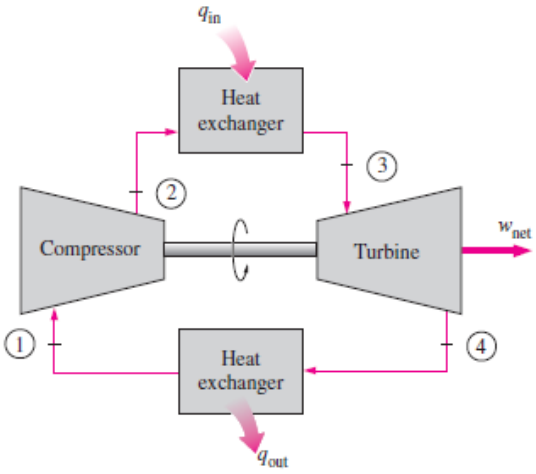
Gambar 2-5:Skema siklus turbin gas terbuka

2.1.2. Siklus Tertutup (Closed Cycle Gas Turbine)

Cara kerja turbin gas siklus tertutup, secara keseluruhan hampir sama dengan siklus terbuka, yaitu di sini proses kompresi dan ekspansi tetap sama, akan tetapi proses pembakaran digantikan oleh masukan kalor tekanan

konstan dari sumber eksternal, dan proses pembuangan digantikan oleh pembuangan kalor tekanan konstan pada suhu ambien.

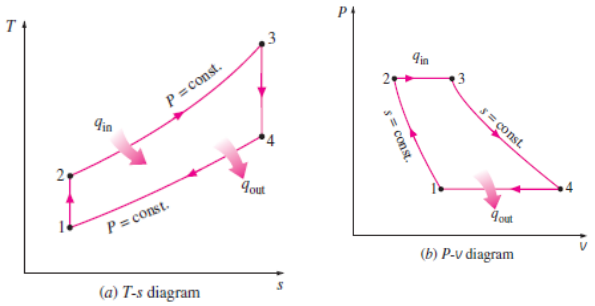
Siklus ini merupakan siklus daya termodinamika ideal untuk turbin gas, sehingga saat ini siklus ini yang sangat populer digunakan oleh manufactur turbin gas dalam menganalisa up-grading performance.



Gambar 2-6:Skema siklus turbin gas tertutup

Siklus Brayton ini terdiri dari proses kompresi isentropik yang diakhiri dengan proses pelepasan panas pada tekanan konstan, seperti ditunjukkan dalam Gambar. 2.7. Pada siklus Bryton terjadi 4 proses reversible internal diantaranya:

1. Proses 1—2, (*Isentropic Compression*); Kerja yang dibutuhkan oleh kompresor
2. Proses 2—3, (*Pressure Constant Inlet*) dalam pemasukan bahan bakar
3. Proses 3—4, (*Expansion Compression*); Daya yang dibutuhkan turbin
4. Proses 4—1, (*Pressure Constant Outlet*); Jumlah kalor yang dilepas



Gambar 2-7:T-s dan P-v diagram siklus turbin gas ideal

Perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, keseimbangan energi untuk proses aliran tunak dapat dinyatakan, pada unit-dasar massa, yaitu

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = h_{exit} - h_{inlet}$$

Oleh karena itu, untuk transfer kalor dari dan ke fluida kerja adalah

$$q_{in} = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$q_{out} = h_4 - h_1 = c_p(T_4 - T_1)$$

Kemudian efisiensi termal ideal siklus Brayton di bawah udara dingin dengan asumsi standar menjadi

$$\eta_{th,Brayton} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

Proses 1-2 dan 3-4 adalah isentropik, dan P2 ≈ P3 dan P4 ≈ P1, menjadi:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4}$$

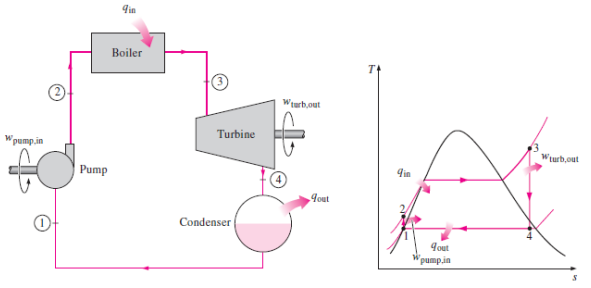
dari hasil rumus-rumus diatas dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$\eta_{th,Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$$

dimana rp adalah rasio tekanan dan k adalah rasio kalor spesifik. Efisiensi thermal ideal siklus Brayton tergantung pada rasio tekanan turbin gas dan rasio panas spesifik fluida kerja.

2.1.3. Pembangkit Tenaga Uap

Steam turbine merupakan alat mekanik yang mengkonversikan thermal energy di uap bertekanan menjadi mechanical work. Energi uap dikonversi ke mechanical work dengan expansion uap melalui turbine. Expansion terjadi melalui serangkaian fixed blades (nozzles) dan masingmasing row dari moving blades each row terhadap fixed blades, moving blades dinamakan stage. Moving blades berputar pada central turbine rotor dan fixed blades secara konsentrik dirancang didalam circular turbine casing yang secara mutlak dirancang untuk menjaga steam pressure. Steam turbine yang digunakan dalam combined cycle harus memiliki karakteristik yaitu efisiensi yang tinggi dan waktu yang sedikit dalam start-up. Uap hasil produksi HRSG digunakan untuk menggerakkan turbin uap, uap dari saluran tekanan tinggi masuk ke turbin tekanan tinggi.



Gambar 2-8. Skema pembangkit tenaga turbin uap

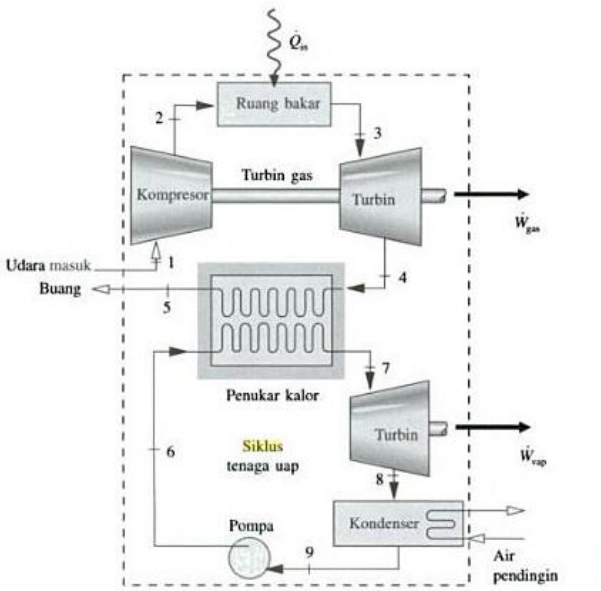
Selanjutnya bersama-sama uap dari saluran tekanan rendah masuk kedalam turbin tekanan rendah dan dikondensasikan ke kondensor. Air kondensor dipanaskan kembali ke HRSG melalui proses seperti di awal sehingga kembali terbentuk uap untuk menggerakkan turbin. Marine steam turbine dioperasikan sesuai dengan pengoperasian di darat. Steam turbine merupakan pilihan utama untuk propulsor dengan power yang sangat tinggi.

Keuntungannya adalah kecilnya getaran, berat yang ringan, space minimum dan rendahnya biaya perawatan. Keuntungan lainnya menggunakan steam turbine adalah gerakan memutar langsung sehingga torsi menjadi lebih besar pada poros propeller, tidak ada internal mechanical friction, dan oleh karena itu, tidak membutuhkan pelumasan internal. Steam yang digunakan memiliki tingkat "*quality of steam*" yang dirumuskan :

$x = (sf4 - s4) / sfg4$

sedangkan thermal efficiency-nya adalah :

$$\eta_{th} = (W_{net} / q_i)$$



Aliran buang turbin pada turbin gas masih mempunyai temperatur yang relatif masih tinggi. Salah satu cara untuk memanfaatkan gas buang turbin dalam meningkatkan pemanfaatan bahan bakar adalah dengancara memasang regenerator dimana panas gas buang turbin dimanfaatkan untuk memanaskan udara antara kompresor dan pembakar.

Dua siklus daya dikopel sehingga kalor input bagi siklus uap didapatkan dari siklus gas turbin yang disebut siklus atas (topping cycle). Siklus gabungan akan mempunyai efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan jika siklus berdiri sendiri. Efisiensi termal siklus gabungan adalah :

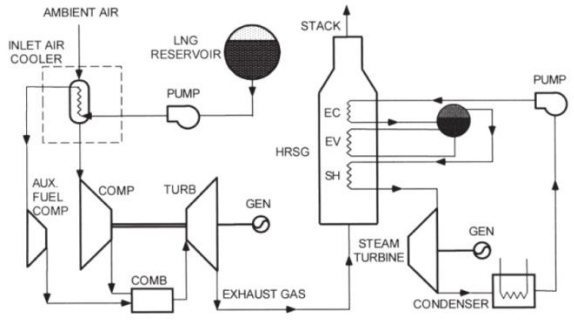
$$\eta = \frac{W_{gas} + W_{vap}}{Q_{in}}$$

dimana :
W_{gas} = daya bersih yang dihasilkan gas turbin
W_{uap} = daya bersih yang dihasilkan oleh siklus uap
Q_{in} = laju perpindahan kalor ke gas turbin.

Penukar yang digunakan untuk memanfaat gas buang turbin gas berfungsi untuk menghasilkan uap yang selanjutnya digunakan sebagai fluida kerja pada turbin gas, dan sering disebut dengan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Unit *Heat Recovery Steam Generator* terdiri dari

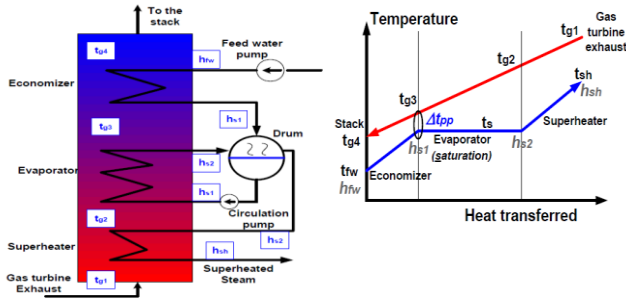
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

ekonomiser yang berfungsi memanaskan air sampai temperatur jenuh, evaporator yang berfungsi merubah fasa air menjadi fasa uap, dan superheater yang berfungsi memanaskan air sampai temperatur superpanas. Gambar 2.10. memperlihatkan secara lengkap siklus gabungan turbin gas dan turbin uap yang dilengkapi dengan HRSG



Gambar 2-9. Skema siklus gabungan turbin uap-turbin gas yang dilengkapi HRSG

Pemanfaatan panas pada HRSG dilakukan dalam tiga tahap, yang dapat digambarkan dalam diagram temperatur dan perpindahan panas, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.11



Gambar 2-10. Skema perubahan temperatur dalam HRSG

Diagram ini bertujuan untuk memfasilitasi analisis pengaruh parameter berbeda terhadap performan HRSG. Garis atas menggambarkan pendinginan gas buang dari inlet ke outlet di dalam HRSG. Garis bawah menggambarkan proses perubahan temperatur air dalam HRSG, di mana penguapan berlangsung pada suhu konstan. Area diantara kurva temperatur gas buang dan kurva perubahan temperatur gas menunjukkan besarnya panas yang hilang dalam HRSG. Parameter desain penting adalah titik perbedaan temperatur (ΔT_{pp}.) yang disebut dengan titik jepit (pinch point). Dalam banyak desain HRSG, air umpan keluar economizer memiliki temperatur sedikit lebih rendah dari temperatur saturasi air dalam drum. Perbedaan temperatur ini disebut temperatur pendekatan ($\Delta T_{apporch}$). Berbagai parameter yang penting untuk menganalisis siklus gabungan yang didasarkan pada keseimbangan panas dalam HRSG.

Perbedaan temperatur pada titik jepit (ΔT_{PP}) adalah perbedaan antara temperatur gas keluar evaporator (Tg3) dan tempetur penguapan air (Ts), atau dapat ditulis :

$$\Delta T_{PP} = Tg_3 - Ts$$

Beda temperatur titik jepit (ΔT_{PP}), biasanya antara 5 ° C sampai 15 ° C. Semakin rendah beda temperatur titik jepit (pinch), semakin tinggi biaya untuk penyediaan HRSG. Sedangkan beda temperatur pendekatan (apporch) ($\Delta T_{apporch}$) didefinisikan sebagai perbedaan temperatur antara temperatur saturasi dan temperatur air keluar ekonomiser. Beda temperatur pendekatan berkisar pada antara 5 ºC sampai 15 ºC, dan dapat dihitung dari hubungan:

$$\Delta T_{appr} = Ts - Teco$$

Besarnya panas yang dapat dimanfaatkan dari gas buang dapat ditentukan dari balan energi sisi gas dan energi sisi uap. Dan dapat ditulis sebagaimana ditunjukan dalam persamaan berikut:

$$Q_{manfaat} = m_{gt} \cdot cp_g \cdot (Tg_1 - Tg_4) = m_{st} \cdot (h_{sh} - h_{fw})$$

Balan energi pada masing-masing peralatan HRSG dapat ditetukan dari :

Panas pada ekonomiser $= m_{gt} \cdot cp_g \cdot (Tg_3 - Tg_4)$
$= m_{st} \cdot (h_{s1} - h_{fw})$

Panas pada evaporator $= mgt \cdot cpg \cdot (Tg_2 - Tg_3)$
$= mst \cdot (h_{s2} - h_{s1})$

Panas pada superheater $= mgt \cdot cpg \cdot (Tg_1 - Tg_2)$
$= mst \cdot (h_{sh} - h_{s2})$

2.2. Analisa Perpindahan Panas pada HRSG

Besarnya panas yang diserap dalam HRSG dapat juga ditentukan dari persamaan

$$Q_{manfaat} = Uo.A.\Delta T_{LMTD}$$

Koefisien perpndahan panas secara menyeluruh pada unit alat penukar kalor yang dipasang pada HRSG dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$U_o = 1/R_{to}$$

Tahanan termal dapat ditentukan dari,

$$Ro = 1/he$$

$$Rwo = (tw/12*kw)(Ao/Aw)$$

$$Rio = ((1/hi)+Rfi)(Ao/Ai)$$

Dimana,
Koefisien panas lapisan dalam pipa (hi)
Koefisien perpindahan panas dalam pipa dapat dihitung berdasarkan standar API RP530, yaitu: Untuk aliran air dengan R_e =>10,000,

$$h_l = 0.023(k/d_i)R_e^{0.8}*P_r^{0.33}(\mu_b/\mu_w)^{0.14}$$

Untuk aliran uap air R_e =>15,000,

$$h_v = 0.021(k/d_i)R_e^{0.8}*P_r^{0.4}(T_b/T_w)^{0.5}$$

dimana bilangan Reynold dapat ditentukn dari,

$$R_e = d_i*G/\mu_b$$

dan bilangan Prandtl ditentukan dari ,

$$P_r = C_p*\mu_b/k$$

Koefisien perpindahan panas bagian luar pipa dapat dihitung dari:

$$h_e = 1/(1/(h_c+h_r)+R_{fo})$$

Koefisien perpindahan panas bagian luar pipa sesuai dengan susunan pipa dapat ditentukan dari :

1. Susunan pipa selang-seling,

$$h_c = 0.33*k_b(12/d_o)((c_p*\mu_b)/k_b)^{1/3}((d_o/12)(G_n/\mu_b)))^{0.6}$$

2. Susunan pipa segaris,

$$h_c = 0.26*k_b(12/d_o)((c_p*\mu_b)/k_b)^{1/3}((d_o/12)(G_n/\mu_b)))^{0.6}$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Tahap pertama pelaksanaan penelitian ini yang ditujukan untuk pengambilan data operasi sistm penggerak mula kapal pengangkut LNG yang ada di PT. Arun, NGL Lhokseumawe. Pengambilan data difokuskan pada kapal yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Volume LNG	: 138.000 m^3
Panjang keseluruhan kapal	: 284,4 m
Lebar kapal	: 42,5 m
Tinggi kapal	: 11,4 m
Kecepatan jelajah	: 19,5 knots
Daya maksimum baling-baling	: 28.000 kW (83 RPM)
Pemakaian bahan bakar spesifik	: 288,3 gr/kW/hr

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 3 bulan bulan yang diisi dengan kgiataan pengambilan data, pengolahan data dan penulisan tesisi

3.2. Metode Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah melakukan analisis pemanfaatan boil-off gas sebagai bahan bakar sistem penggerak mula kapal pengangkut LNG. Boil-off gas terjadi selama pelayaran akan digunakan sebagai bahan bakar pada turbin dan turbin uap dengan menerapkan siklus gabungan. Pada kapal pengangkut LNG, energi yang dihasilkan oleh penggerak mula digunakan untuk menggerakkan baling-baling kapal dan untuk menggerakkan generator listrik. Berdasarkan hasil pengamatan, diperoleh informasi bahwa kapal pengangkut LNG yang beroperasi di PT. Arun, sebagaian besar menggunakan penggerak mula motor bakar dengan bahan bakar gas. Maka untuk memperoleh data turbin gas digunakan data turbin gas yang digunakan untuk industri yaitu turbin gas tipe LM 2050, LM 1600 PE dan LM 1600.

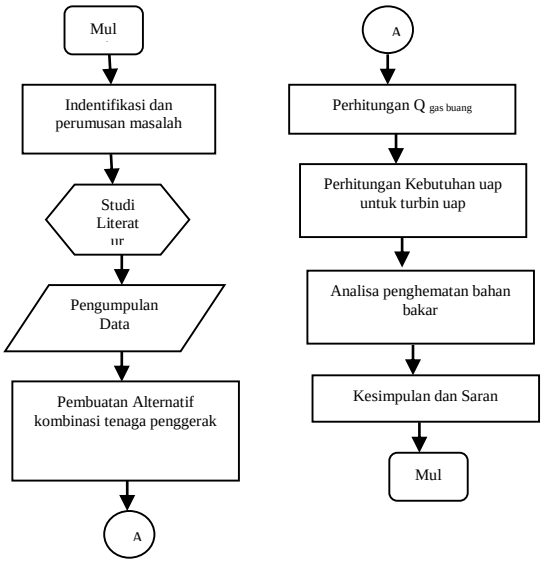
Sedangkan untuk turbin uap digunakan turbin uap yang banyak digunakan dipembangkit listrik geothermal yang mampu beroperasi pada kondisi uap basah tinggi. Daya turbin berkisar dari 5.000 - 10.000 KW, dengan putaran 3000 – 3600 rpm. Turbin uap tersebut bekerja dengan tekanan dan temperatur uap masuk 30 bar, 300 ^oC. Berdasarkan data tersebut maka dilakukan analisis dengan alternatif penggunaan daya sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel. 3.1.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Tabel 3-1 Alternatif penggunaan daya sistem penggerak mula

No.	Alternatif	Daya Turbin Gas (KW)	Daya Turbin Uap (KW)	Total Daya (KW)
1.	Alternatif 1 LM 2500	25.060	5.000	30.060
2.	Alternatif 2 LM 1600 PE	19.105	10.000	29.105
3.	Alternatif 3 LM 1600	14.900	15.000	29,900

Berdasarkan data yang diberikan dalam tabel 3.1, kemudin dilanjutkan dengan analisa untuk memperoleh informasi alternatif perbandingan daya yang optimal, dalam pengunanan bahan bakar yang minimal dan mampu memberikan daya maksimal. Adapun diagram alir proses analisis yang dilakukan ditunjukkan dalam gambar 3.1



Gambar 3-11 Diagram alir pelaksanaan penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

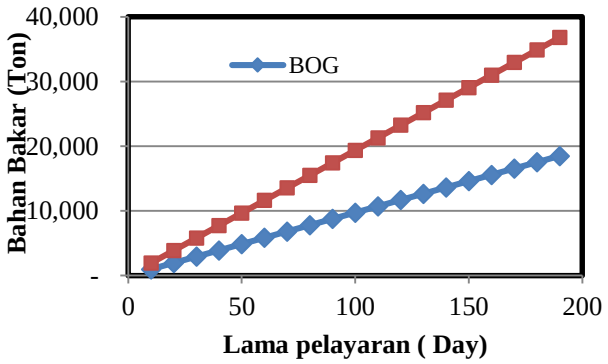
4.1. Data Hasil Pengamatan

Pada tahap pertama pengolahan data dilakukan perhitungan jumlah Boif-off gas yang terjadi selama pengangkutan. Menurut ***Richard Gilmore* (2005),** produksi oil-off gas rata-rata mencapai 0.15%/hari. Jika dengan volume LNG sebesar 138.000 m^3 dan dengan densitas boil off gas sebesar 0,47 ton/m^3, maka diperoleh berat LNG sebesar 64.860 ton. Dan BOG yang terjadi mencapai sebesar 0.15% /hari x 64.869 ton = 97,29 Ton/hari. Tabel 4.1 memberikan data hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar pada kapal pengengkut LNG.

Tabel 4-1 Kebutuhan bahan bakar

LNG Carrier		
Volume kargo	138000	m3
berat spesfik	0.47	Ton/day
Berat LNG	64860	Ton
Boil-off gas	0.15%	/day
Berat Boil off gas	97.29	Ton/day
Pemakaian bahan bakar spesifik kapal	288.3	gr/(kW.hr)
Daya Kapal	28000	kW
Pemakaian bahan bakar	8.072.400	gr/hr
	193.74.	Ton/day

Sedangkan hubungan antara kebutuhan bahan bakar untuk kapal dan ketersediana BOG adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4-12 Grafik hubungan ketersedian BOG dengan kebutuhan bahan bakar kapal

4.2. Hasil Analisis

Analisis yang dilakukan meiputi perhitungan energi panas yang terkandung pada gas buang turbin gas dan energi panas yang dibutuhkan oleh untuk menggerakkan turbin uap, serta energi energi kalor yang dibangkitkan di HRSG. Karena fungsi HRSG adalah sebagai penghasil uap maka dalam kerjanya terdapat tekanan dan suhu yang spesifik agar terjadi penguapan. Pada penelitian ini digunakan data HRSG sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4-2 Alternatif penggunaan daya sistem penggerak mula

No.	Kondisi	Temperatur (°C)	Tekanan (Mpa)	Fasa
1.	Masuk ekonomiser	191	3,3	Cair jenuh
2.	Keluar ekonomiser	236	3,3	Cair
3.	Masuk evaporator	264	3,3	Uap jenuh
4.	Keluar evaporator	264	3,3	Uap jenuh
5.	Masuk superheater	247	3,2	Uap jenuh
6	Keluar superheater	310	3.1	Uap superpanas

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan menggunakan software *cyclepad* diperoleh besarnya kandungan energi panas dalam gas buang turbin gas adalah sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 4.3

Tabel 4-3 Kandungan energi panas pada gas buang

No.	Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1.	Massa gas (m, kg/s)	70,73	47,35	47,26
2.	Cp gas buang (Kj/kg K)	1,0035	1,0035	1,0035
3.	Temperatru gas buang ($T_{gasbuang}$, °C)	566,3	490,7	510,2
4.	$T_{cerobong}$	150	150	150
5.	Panas yang tersedia (Kj/s)	29394,8	16189,6	17064,4

Sedangkan untuk kebutuhan panas pada sistem turbin uap sesuai dengan alternatif daya yang dibutuhkan diberikan dalam tabel 4.4.

Tabel 4-3 Kebutuhan energi pada sistem turbin uap

No.	Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1.	Daya turbin (KW)	5000	10.000	15.000
2.	Panas yang dibutuhkan (Kj/s)	13218,7	26437	39656

Berdasarkan data ketersediaan energi dari gas buang turbin gas dan kebutuhan energi untuk penghasil uap pada turbin uap dapat dihitung besarnya bahan bakar yang dibutuhkan. Hasil perhitungan diberikan dalam Tabel 4.4

Tabel. 4.4 Hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar

Besaran	Alter- 1	Alter- 2	Alter- 3
Q perhitungan (kW)	27697	13956	15118
Q Kebutuhan (Kj/s)	13218	26437	39656
Efisiensi burner (%)	55%	55%	55%
Q nyata (kj/s)	24032	48067	72101
Q burner (kj/s)	-	34111	56984
LHV LNG (Kj/gram)	-	38,1	38,1
$m_{bahan\ bakar}$	290,5	895,3	1495,6

Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi dimensi dari HRSG yang meliputi jumlah pipa yang dibutuhkan untuk masing-masing komponen yang adal dalam HRSG. Perhitungan dimensi HRSG dimulai dengan menghitung koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh kemudian menghitung perubahan temperatur rata-rata pada masing-masing sistem penukar panas. Hasil perhitungan untuk masing-masing alternatif diberikan dalam Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan dimensi HRSG

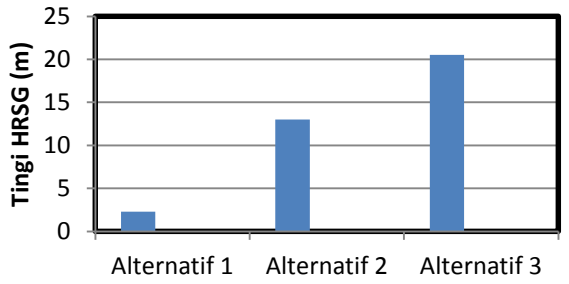
Besaran	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
m_{gb} (kg/s)	27697	13956	15118
m_{air} (kg/s)	13218	26437	39656
U_{sph} (%)	55%	55%	55%
U_{eva} (kj/s)	24032	48067	72101
Panjang pipa superheater (m)	5	17	26
Panjang pipa evaporator (m)	1	5	10
Panjang pipa ekonomiser (m)	8	59	92

4.3. Pembahasan

Berdasarkan data hasil analisa dapat dinyatakan bahwa pemakaian BOG sebagai bahan bakar akan mampu memberikan nilai tambah yang cukup besar bagi kapal pengangkut LNG. Dari tabel 4.4 terlihat bahwa dengan menggunakan alternatif penyediaan daya antara turbin gas dan turbin uap terlihat bahwa bahan bakar yang tersedia

dari BOG akan mampu menangani kebutuhan bahan bakar bagi kapal untuk alternatif 1.

Disisi lain alterantif 1 membutuhkan dimensi HRSG yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan alternatif lainnya. Gambar 4.2 memperlihatkan perbandingan tinggi HRSG berdasarkan hasil perhitungan panjang pipa yang digunakan.



Gambar 4-13 Grafik perbandingan tinggi HRSG untuk tiga alternatif

Dari hasil perhitungan dan analisa dapat dinyatakan bahwa alternatif 1 memiliki keunggulan untuk digunakan sebagai penggerak mula pada kapal pengangkut LNG

5. Kesimpulan

Setelah melalui serangkaian proses analisa dan perhitungan didapatkan beberapa poin kesimpulan dari analisa pemanfaatan BOG sebagai bahan bakar untuk siklus gabungan turbin uap dengan turbin gas penggerak mula kapal pengangkut LNG , yaitu:

1. Dengan mengajukan 3 alternatif konfigurasi gas dan steam turbine, maka diambil kesimpulan bahwa konfigurasi siklus gabungan alternatif 1 merupakan alternatif yang terbaik, dengan power gas dan steam turbine masing-masing adalah 25.060 kW dan 5.000 kW. Power steam turbine ± 20% dari power gas turbine. Komparasi dilakukan dengan memilih konfigurasi yang memiliki konsumsi bahan bakar yang minimal dan mampu memanfaatkan BOG dengan optimal.
2. Penggunaan Alternatif 2 dan alternatif 3 akan membutuhkan tambahan bakar pada gas buang keluar turbin gas karena daya yang dihasilkan oleh turbin uap yang lebih besar dari alternatif 1.
3. Jika kapal pengangkut LNG yang sekarang menggunakan bahan bakar diesel, maka dengan penggunaan BOG sebagai bahan bakar akan mampu dilakukan penghematan penggunaan bahan bakar diesel.

NOMENCLATURE

U_o = Koefisien perpindahan panas menyeluruh, W/m^2-C
A = Luas area perpindahan panas
ΔT_{LMTD} = beda temperatur logaritmik, ^{o}C
R_{to} = tahanan termal totsl, m^2-C/W
R_o = Tahanan termal bagian luar pipa, m^2-C/W
R_{wo} = Tahanan termal dindin pipa, m^2-C/W
R_{io} = Tahanan termal bagian dalam pipa, m^2-C/W
h_e =Koefisien perpindahan panas luar pipa , W/m^2-C
h_i = Koefisien perpindahan panas dalam pipa, W/m^2-C
t_w = Ketebalan pipa, in
k_w = Konduktivitas termal bahan pipa, W/m-C
A_o = Luas permukaan luar pipa, m^2
A_w = = Luas permukaan pipa rata-rata, m^2
A_i = = Luas permukaan dalam pipa, m^2
R_{fi} = tahan teral akibat pengotoran, m^2-C/W
h_l = Koefisiien perpindahan panas, fasa cair, W/m^2-C
k = Konduktivitas termal, W/m-C
d_i = Diameter dalam pipa, m
μ_b = Viskositas fluida pada temperatur rata-rata, kg/m-s
μ_w = Viskositas fluida pada temperatur dinding pipa, kg/m-s
h_v = Koefisiien perpindahan panas, fasa uap, W/m^2-C
T_b = Temperatur uap rata-rata, °C
T_w = Temperatur dinding pipa, °C
G = Massa aliran fluida, kg/s-m^2
C_p = Kapasitas panas fluidapada temperatur rat-rata, W/kg-°C
h_c = Koefisien perpindahan panas bagian luar pipa, W/m^2-C
h_r = Koefisien perpindahan panas radiasi luar pipa, W/m^2-C
R_{fo} = Tahanan termal akibat pengotoran, m^2-C/W
hc = Koefisien perpindahan panas bagian luar pipa, W/m2-C
do = Diameter luar pipa, m
kb = Kondutivitas termal gas, W/m-C
cp = Kapasitas panas gas, Btu/lb-F
□b = Viskositas dinamik gas, kg/s-m
Gn = Massa aliran fluida, kg/s-m2

REFERENCES

"Transportasi LNG Indonesia", Airlangga University Press, Surabaya. Kehlhover Rolf, 1997. " Combined Cycle Gas and Steam Turbine Power Plant", Penwell Publishing Company, Oklahoma.

Boyce M.P, 2006. "Gas Turbine Engineering handbook", Gulf Professional Publishing,Oxford.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

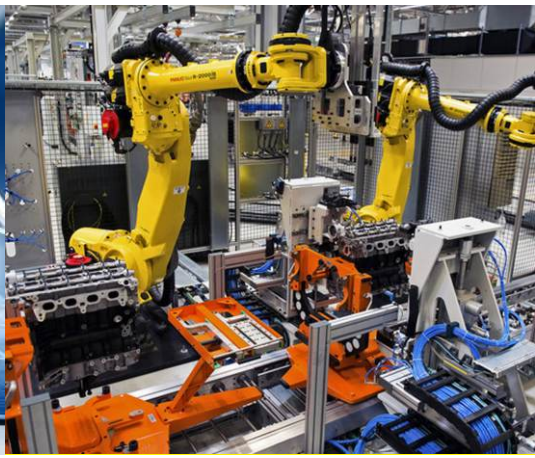
Smith Robin, 2005.“Chemical Process Design and Integration”, John Wiley & Sons Ltd,England. Takashi Aoki, 2006.“Dual Fuel Type : IM270 Gas turbine”, Engineering Department, Power Systems Division, Aero-Engine and Space operations, IHI review. Diesel Electric Propulsion

McBirnie,S,C, “Marine Steam engines and turbin”,Butterworths, London.

GE Energy, 2009. “Heavy Duty Gas Turbine products”, General Electric Company. GE Oil & Gas, 2005. “Industrial Steam turbines”, General Electric Company

□TAR





Akses jurnal online di:
www.teknik.unsam.ac.id