

BIOFUEL PRODUCTION THROUGH CO-PYROLYSIS PROCESS BY UTILIZING WASTE RAW MATERIALS OF PALM OIL AND PLASTIC WASTE

Muhammad Dimas Aditia¹, Amalia Harmin¹, Rita Syntia¹, Nasruddin A. Abdullah^{1*}

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Meurandeh – Langsa, Aceh, 24416

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 22 Juli 2023
Direvisi dari 11 Agustus 2023
Diterima 12 Agustus 2023
Diterbitkan 13 Agustus 2023

Keyword's:

Co-Pyrolysis, biofuel, limbah kelapa sawit, limbah plastik.

DOI: 10.55377/jurutera.v10i01.8269

ABSTRACT

Oil, natural gas, and coal are non-renewable fossil energy sources. The limited availability of non-renewable fossil fuels has prompted countries worldwide to develop technologies that harness energy from renewable sources. One of these renewable energy sources is biofuel, which includes bioethanol and biodiesel. Currently, the Co-Pyrolysis method has been widely developed for waste processing. The Co-Pyrolysis method aims to extract energy content from a mixture of raw materials. The varying percentage of raw material mixtures can significantly influence the resulting products. Obtaining the characteristics of raw materials, the differences in temperature distribution graphs for each percentage of the raw material mixture, and achieving optimum product yield are the objectives of the Co-Pyrolysis process. Based on the data from the heating process, it has been found that an excellent product can be obtained from heating a mixture of TKKS (30%) and PS (70%) at 500°C for 1 hour, resulting in a product yield of 68%.

© 2023 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai ketersediaan limbah pertanian berupa bahan organik (biomassa) (Abdullah et al., 2021), yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Cangkang Kelapa Sawit (Cahyono, 2013). Dimana 1 ton minyak sawit akan menghasilkan hingga 23% atau 230 kg limbah cangkang dalam bentuk tandan kosong kelapa sawit (TKKS), dan limbah cangkang sampai 6,5% atau 65 kg pada bentuk cairan. Air padat (lumpur padat) 4% atau 40 kg, serat 13% atau 130 kg, limbah cair sampai 50% (Susanto et al., 2017). Pada tahun 2008 produksi sampah domestik Indonesia mencapai 167.000 ton/hari (Cahyono, 2013) "Hendrawati (2016)" mengatakan bahwa di tahun 2016 Indonesia menjadi produsen sampah plastik terbesar kedua pada dunia total ada 187,2 juta ton sampah plastik, ke 2 setelah China, menggunakan 262,9% ton sampah plastik (Nurdianto et al., 2016). Limbah kelapa sawit dan limbah plastik masing-masing memiliki struktur yang kompleks dan dapat menunjukkan perbedaan dalam dekomposisi termal. Sehingga adanya impak sinergis antara

kedua bahan standar tadi baik secara kuantitas maupun kualitas (Mardiah, 2014).

Saat ini, *biofuel* dipergunakan pada banyak sekali negara, serta industri *biofuel* meliputi Eropa, Amerika dan Asia. Contohnya, India menyebarkan biodiesel dari *Jatropha*. Kebanyakan *biofuel* digunakan untuk transportasi kendaraan beroda empat. *Biofuel* dapat diproduksi dari sumber karbon, atau bisa diproduksi menggunakan cepat dari biomassa. Menjadi negara agraris, Indonesia mempunyai potensi untuk menyebarkan industri *biofuel* nya sendiri (Biofeul et al., 2019). Untuk mendapatkan *biofuel*, yaitu pembakaran sampah organik misalnya limbah domestik/industri, produk surplus pertanian, kayu serta gambut; fermentasi anaerobik mirip: pada proses pembuatan biogas asal kotoran hewan; dan fermentasi aerobik (ada 2 jenis utama), di mana produksi alkohol (bioetanol) dan ester (biodiesel) (Supraniningsih, 2012). Adanya keterbatasan energi fosil tak terbarukan sehingga perlu dikembangkan teknologi yang dapat menghasilkan energi dari sumber energi terbarukan. Salah satunya energi terbarukan pengembangan *biofuel* berupa bioetanol dan biodiesel dengan metode *Co-pyrolysis*.

Metode pengolahan sampah yang sudah banyak dikembangkan di waktu ini, yaitu metode *Co-Pyrolysis*. Dimana bertujuan untuk memilih dampak campuran limbah kelapa sawit dan limbah plastik ditinjau dari komposisi terhadap produk hasil *Co-Pyrolysis* (Dinyanti, 2021). Penelitian sebelumnya, bahan baku biomassa yang digunakan dalam penelitiannya adalah Cangkang Kelapa Sawit (CKS). Bahan baku plastik ialah limbah industri plastik kemasan jenis *Polyetylen* (PE) serta *Polyethylene Terephthalate* (PET). Sebelum dipergunakan, ke 2 bahan baku digiling terlebih dahulu hingga berukuran 1 mm. Penelitian yang dilakukan oleh Nasruddin dkk, dalam penelitiannya dengan bahan baku kayu merbau menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butiran maka akan semakin banyak cairan yang dihasilkan (Abdullah, Tila, et al., 2020). Butiran terbuat asal beberapa perubahan rasio komposisi berat biomassa terhadap plastik, yaitu: 100% biomassa sa (100/0); 90% biomassa serta 10% plastik (90/10); 70% biomassa dan 30% plastik (70/30), serta 50% biomassa dan 50% plastik (50/50) serta 100% plastik (0/100). Pemanasan reaktor menggunakan pemanas listrik eksternal yang dilengkapi dengan pengontrol serta sensor suhu. Sampel lalu dimasukkan kisaran berat 20g. Reaktor lalu dipanaskan dari temperatur sampai 500 °C serta laju pemanasan ialah 10 °C/menit. Produk cair (bio-minyak dan asam pyrolygnonic) dikumpulkan dalam pendingin kondensor serta perangkat memakai campuran es batu serta etanol dengan suhu 0 °C. Sementara itu, produk solid (char) dari proses *Co-Pyrolysis* dipengaruhi sesuai selisih antara berat reaktor sebelum dan selesainya proses. *Product yield* berasal proses *Pyrolysis* setiap bahan baku biomassa dan plastik serta campurannya dihitung sesuai persentase berat (Simanungkalit & Mansur, 2020).

Perbedaan persentase campuran bahan baku akan mempengaruhi produk yang dihasilkan. Bahan baku yang dipergunakan pada *Co-Pyrolysis* meliputi di material penyusunnya berupa hidrogen serta karbon. campuran bahan baku dalam proses *Co-Pyrolysis* dapat berupa biomassa, polimer, batubara, dan lainnya. Variasi suhu operasi *Co-Pyrolysis* memakai suhu 450 °C, 500 °C dan 550 °C (Virgiawan, 2021). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka metode *Co-Pyrolysis* terhadap limbah kelapa sawit dan limbah plastik dengan temperatur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *product yield* belum pernah dilakukan (Udyani et al., 2018). Tujuan

dari metode *Co-Pyrolysis* ini untuk memperoleh kandungan energi dari campuran bahan baku.

Penelitian serta pengembangan proses *Co-Pyrolysis* cepat untuk memanaskan bahan organik banyak pekerjaan sudah dilakukan. Beberapa peneliti membuat alat yang menghasilkan energi berupa padat, cair dan gas, dengan komposisi 12% - 15% arang, 60% - 70% cairan dan 13% - 25% gas (Zullaikah et al., 2015).

Liquid diartikan menjadi kondensat alami pada biomassa yang sudah tua dan disaring untuk memisahkan senyawa tar serta bahan tertentu. Asap cair artinya kondensat yang didapatkan selama proses *Pyrolysis*, yang mengandung sejumlah besar senyawa yang dibuat oleh *Pyrolysis* komponen biomassa (seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin). Untuk mendapatkan yang akan terjadi asap cair keadaan terbaik sebenarnya tergantung berasal kondisi dan proses kondensasi yang terjadi. Semakin rendah suhu air kondensor maka semakin banyak minyak yang didapatkan. Penelitian yang dilakukan oleh Nasruddin dkk, dengan bahan baku *Shorea Pinanga* melalui proses pirolisis menunjukkan peningkatan hasil liquid 39% pada temperatur 150°C (Abdullah, Rahardian, et al., 2020). Temperatur uap juga memiliki pengaruh terhadap produksi *liquid* yang dihasilkan. Kenaikan temperatur uap hingga 200°C menghasilkan *liquid* sebanyak 17,0 % wt (Abdullah et al., 2018).

Biomassa ialah bahan biologis asal organisme yang tergolong mengandung lignin, selulosa serta selulosa utuh. Biomassa dapat diperoleh dari perkebunan atau palawija, hutan, ternak bahkan sampah. energi biomassa ialah salah satu asal energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena memiliki banyak sekali macam khasiat yang bermanfaat. Proses *Co-Pyrolysis* tandan kosong kelapa sawit mengandung gas yang praktis terbakar berupa gas H₂, CO dan CH₄. Laju pembangkitan gas semakin tinggi menggunakan meningkatnya suhu *Pyrolysis*. Peningkatan produk gas alam yang diharapkan terutama retak dampak *Pyrolysis* uap di suhu yang lebih tinggi.

Tandan Kosong Kelapa Sawit mempunyai potensi besar sebagai sumber biomassa selulosa, dengan kelimpahan dan kemampuan terbarukan yang tinggi. *Co-Pyrolysis* ialah teknologi yang tepat untuk menaikkan nilai limbah kelapa sawit dengan membentuk bio-oil dan bio-char. Minyak bumi dapat dipergunakan sebagai bahan bakar untuk membuat panas pada aneka macam perangkat lunak, serta

TKKS adalah bahan terbaik untuk tujuan ini sebab nilai kalornya yang tinggi.

Penggunaan teknologi Pyrolysis untuk mengolah cangkang kelapa sawit adalah salah satu metode alternatif untuk menghasilkan energi modern guna mengatasi permasalahan konsumsi energi ketika ini. Produk Co-Pyrolysis umumnya terdiri dari 3 jenis yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O dan CH_4), tar dan kokas. Produk Pyrolysis lainnya antara lain: arang (bioChar), arang, karbon aktif, briket arang, bio-oil, syngas. Jika cangkang sawit dipergunakan menjadi bahan bakar, nilai kalorinya sama dengan lignit, sebagai akibatnya berpotensi besar. pada prosidingnya (Bahrin et al., 2011), beliau menyatakan bahwa penggunaan biomassa cangkang sawit pada industri karet bisa menurunkan emisi gas rumah kaca (CO_2) dan abu yang didapatkan masing-masing sebanyak 22,8% serta 62%.

Pada penelitian ini, tandan kosong, serat dan cangkang kelapa sawit digunakan sebagai bahan baku. Langkah awal penelitian ini adalah menguji produksi bahan baku di temperatur 450 °C, 550 °C dan 650 °C. Selain itu, dipilih bahan baku menggunakan kualitas bio-oil terbaik (Purwanto et al., 2012).

Plastik merupakan bahan yang terbentuk dari proses polimerisasi karbon serta hydrogen. Proses penggabungan beberapa molekul sederhana menjadi molekul besar. Plastik dibedakan sebagai 2 jenis, yaitu plastik thermoplastik dan thermosetting. Thermoplastik artinya plastik yang meleleh jika dipanaskan hingga suhu eksklusif serta bisa dibentuk ulang sesuai kebutuhan. Sedangkan plastik thermosetting merupakan plastik dan tidak akan meleleh ketika dipanaskan. Penelitian yang dilakukan oleh Nasruddin dkk, tentang pengaruh suhu terhadap konversi sampah plastik melalui proses pirolisis menunjukkan hasil *product yield* dengan temperatur maksimum 500 °C dan temperatur air pendingin 16,59 °C menghasilkan banyak gas dan menghasilkan banyak lilin jika temperatur kurang dari 500 °C dengan nilai kalor bahan bakar 43,83 MJ/kg (Abdullah, Novianti, et al., 2018).

Polystyrene ialah jenis plastik yang biasa digunakan di wadah makanan styrofoam, karton telur, gelas dan mangkok sekali pakai, dan helm sepeda. di penelitian ini variabel proses yang dipilih ialah suhu di sampah plastik PS. Pemilihan berdasarkan pada tujuan penelitian ini yaitu menerima sebesar mungkin produk minyak berasal sampah plastik, dan mendapatkan produk yang bahan bakunya limbah. Beberapa produk dapat membuat minyak kembali,

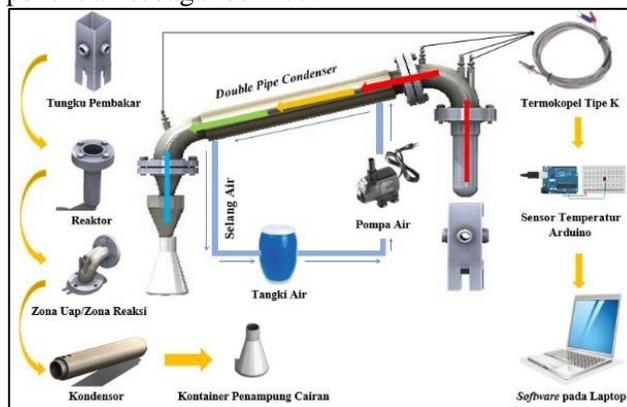
pada mana Jumlah oli maksimum bisa diperoleh pada suhu eksklusif, yaitu pada kisaran suhu 400 °C sampai 500 °C (Dewi, 2014).

HDPE ialah polimer asal senyawa hidrokarbon linier panjang menggunakan kekerasan tinggi serta tidak mudah terdegradasi dampak perubahan surya serta cuaca (panas atau dingin). bisa disimpulkan bahwa syarat temperatur yang dipergunakan pada reaktor *fluidized-Bed* terfluidisasi berkisar antara 300-400 °C. Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Kurniawati dkk, menghasilkan minyak dengan bahan baku HDPE menggunakan metode pirolisis termal sebanyak 61,1 wt% cairan sedangkan menggunakan pirolisis katalik menghasilkan cairan sebanyak 85% wt cairan dengan indeks cetane minyak dari hasil pirolisis katalik lebih tinggi dari pirolisis termal sehingga bisa dikombinasikan dengan diesel konvensional untuk meningkatkan kinerja pembakaran (Kurniawati et al., 2021).

Tujuan Penelitian ini berupa memperoleh nilai karakteristik limbah kelapa sawit TKKS dan CKS serta limbah plastik HDPE dan PS dengan uji *Ultimate Analysis* dan *Proximate Analysis*, mengetahui pengaruh perbedaan *Distribution Temperature* terhadap campuran limbah kelapa sawit TKKS dan CKS serta limbah plastik HDPE dan PS, dan mengetahui hasil *product yield* yang optimum melalui proses *Co-Pyrolysis* dari campuran limbah kelapa sawit TKKS dan CKS serta limbah plastik HDPE dan PS dengan suhu 500 °C selama 1 jam.

METODE PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian yang baik dan mengikuti prosedur, diperlukan konsep dasar penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. Experimental Set Up

Proses pembuatan alat terbagi beberapa tahapan yang perlu dilakukan, yaitu desain alat penelitian, peletakan titik sensor *Thermocouple* pada alat uji, software yang digunakan, serta perangkat keras yang dipergunakan, sesudah desain alat terselesaikan (dihitung sesuai ukuran masing-masing komponen struktur), maka dilakukan proses pembuatan alat. Mesin konversi akan memakai panas yang didapatkan oleh kompor gas yang dimodifikasi. Dilihat berasal cara kerjanya sendiri, yaitu dengan memakai tabung pemanasan (reaktor), lalu memakai tungku gas yang ditingkatkan untuk memanaskan tabung pemanasan (reaktor), terjadi proses perengkahan di bahan baku di dalam reaktor, namun untuk mencapai fungsi primer tadi dibutuhkan komponen pendukung lainnya, diantaranya: tungku, reaktor, kondensor, serta tangki destilasi.

Sampel yang dipergunakan menjadi bahan baku primer pada penelitian ini adalah limbah kelapa sawit (tandan kosong dan cangkang kelapa sawit) serta limbah plastik (HDPE dan PS) dan tak menggunakan katalis. Sebagai persiapan, limbah kelapa sawit dan limbah plastik yang terkumpul dari kawasan pembuangan sampah dibersihkan untuk menghilangkan aneka macam kotoran yang melekat pada sampel, kemudian dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari. Selain itu, bahan baku dipotong dengan ukuran tiga-lima centimeter.

Prinsip kerja produksi *biofuel* dengan proses *Co-Pyrolysis* memakai bahan standar dari limbah kelapa sawit serta limbah plastik. Wadah yaitu reaktor yang berisi limbah kelapa sawit serta limbah plastik akan dipanaskan sampai suhu 500 °C menggunakan tungku pemanas yang sudah pada modifikasi. Metode untuk mendapatkan data suhu yang sinkron artinya dengan memasang *Thermocouple* di posisi yang telah ditentukan pada desain mesin konversi sampah plastik. Jenis *Thermocouple* yang dipergunakan ialah *Thermocouple* tipe K.

Limbah kelapa sawit dan limbah plastik akan mengalami perubahan fasa material padat menjadi fasa uap panas. Uap panas yang mengandung berbagai bahan bakar akan dikondensasikan di ruang kondensor berpendingin air menjadi cair. Konsep kondensor mengadopsi struktur kondensor tabung ganda, yang akan memakai pompa air untuk mengalirkan air sebagai akibatnya suhu pendingin dijaga konstan dibawah 30 °C. Lalu, kondensat akan diteruskan serta dialirkan ke pada wadah penampung cairan.

Perangkat lunak yang digunakan untuk membantu ketika produksi *biofuel* di alat *Co-Pyrolysis* ini artinya sebagai berikut : software Arduino, C++, PLX-DAQ, Ms. Excel. Komponen-komponen yang perlu dipersiapkan pada pembuatan sistem produksi *biofuel* dengan proses *Co-Pyrolysis* : Arduino Mega, kabel jumper female & male, Kabel USB, BreadBoard, Sensor *Thermocouple* tipe-K, Modul MAX6675, Laptop.

Tabel 1. Pengamatan analisis uji sampel bahan baku

No.	Nama Sampel	Analisis Ultimate						
		Karbon (C) wt(%)	Hidrogen (H) wt(%)	Oksigen (O) wt(%)	Nitrogen (N) wt(%)	Rasio Molar H/C wt(%)	Rasio Molar O/C wt(%)	Nilai Kalor, Ij/g
1.	Tangkos							
2.	Cangkang							
3.	HDPE							
4.	PS							

No.	Nama Sampel	Analisis Proximate			
		Kadar Air wt(%)	Bahan Mudah Menguap wt(%)	Abu wt(%)	Karbon Tetap wt(%)
1.	Tangkos				
2.	Cangkang				
3.	HDPE				
4.	PS				

Metode Pengambilan Data Bahan Baku Limbah Kelapa Sawit dan Limbah Plastik dan Hasil Produk

Ada 3 metode pengambilan data di penelitian ini yaitu *proximate analysis*, *ultimate analysis*, *Temperature analysis* :

- Proximate analysis* ialah suatu analisis yang dilakukan terhadap sampel untuk menentukan kandungan air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), abu dan karbon tetap (*fixed carbon*).
- Ultimate analysis* ialah analisis laboratorium memakai metode tertentu untuk menentukan kadar abu, karbon, hidrogen, oksigen, serta sulfur pada bahan baku. Kandungan dinyatakan pada persentase. Sampel dikeringkan di suhu 105 °C tanpa uap air serta abu, dan analisis akhir dilakukan untuk menentukan kandungan Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen, (N) dan Belerang (S).
- Temperature Analysis* berupa proses pengubahan bahan baku menjadi *biofuel* dipanaskan pada suhu 500 °C untuk mendapatkan temperatur yang dapat menghasilkan produk terbaik. Metode untuk mendapatkan data suhu yang sesuai adalah dengan

memasang *Thermocouple* pada posisi yang telah ditentukan.

Tabel 2. Pengamatan uji temperatur campuran bahan baku

No.	Jenis Campuran Bahan Baku	Persentase (%) (gr) Bahan Baku	Waktu (menit)	Temperatur (°C) 500 °C			
				Liquid (gr)	Charcoal (gr)	NCG	Product Yield (%)
1.	Tandan Kosong dan Plastik HDPE	30% - 70%	60 menit				
		50% - 50%					
		70% - 30%					
2.	Tandan Kosong dan Plastik PS	30% - 70%					
		50% - 50%					
		70% - 30%					
3.	Cangkang dan Plastik HDPE	30% - 70%					
		50% - 50%					
		70% - 30%					
4.	Cangkang dan Plastik PS	30% - 70%					
		50% - 50%					
		70% - 30%					

Hasil Analisa dapat dilihat dari tabel Analisa ultimate nilai Karbon (C) dan Hidrogen (H) menentukan jumlah Oksigen (O) yang diperlukan dalam proses pemanasan dan untuk menghitung efisiensi proses pemanasan. dari data tersebut bisa ditinjau bahwa bahan baku biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mempunyai persentase karbon yang paling rendah, sedangkan yang tertinggi ialah bahan baku plastik jenis *polystyrene* (PS).

Pada **Tabel 3** Analisa proximate berupa komposisi bahan baku dengan mengukur parameter yang dinyatakan dalam *persentase* berat. Jadi Pada uji proximate bahan baku plastik PS mempunyai bahan mudah menguap yang tinggi artinya plastik tersebut apabila dipanaskan molekul-molekul zat yang terkandung di dalamnya lebih mudah terpisah. Berbeda dengan bahan baku cangkang kelapa sawit, bahan mudah menguap yang rendah menyebabkan apabila di panaskan dengan suhu tinggi, kandungan zat yang terkandung sangat sulit atau lama untuk terpisah. Dan dalam segi karbon tetap yang terkandung, plastik PS memiliki karbon tetap yang sangat rendah. Sedangkan pada bahan baku cangkang kelapa sawit mempunyai karbon tetap yang tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Data Karakteristik Tiap Bahan Baku

Karakteristik tiap bahan baku memiliki beberapa kandungan zat yang disini penulis telah mendapatkannya setelah melakukan penelitian *Proximate analysis* dan *Ultimate analysis*. Berikut tabel pengujiannya.

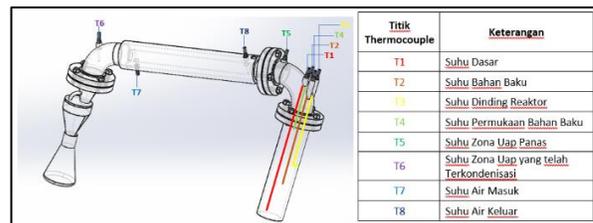
Tabel 3. Pengamatan hasil analisis uji sampel bahan baku

No.	Nama Sampel	Analisa Ultimate						
		Karbon (C) wt(%)	Hidrogen (H) wt(%)	Oksigen (O) wt(%)	Nitrogen (N) wt(%)	Rasio Molar H/C wt(%)	Rasio Molar O/C wt(%)	Nilai Kalor, kal/g
1.	Tangkos	54,37	14,08	24,36	0,89	7,83	31,73	48,78
2.	Cangkang	56,77	6,70	34,13	0,65	7,27	32,27	44,74
3.	HDPE	78,18	12,84	3,61	0,11	1,99	0,001	9,192
4.	PS	90,40	8,56	0,18	0,19	1,51	0,63	10,847

No.	Nama Sampel	Analisa Proximate			
		Kadar Air wt(%)	Bahan Mudah Menguap wt(%)	Abu wt(%)	Karbon Tetap wt(%)
1.	Tangkos	9,96	9,03	8,82	62,87
2.	Cangkang	3,16	6,73	55,88	83,51
3.	HDPE	0,56	82,22	0,96	0,011
4.	PS	0,71	96,99	1,96	0,001

Hasil perbedaan *Distribution Temperature* terhadap campuran limbah kelapa sawit TKKS dan CKS serta limbah plastik HDPE dan PS

Setelah semua alat telah terpasang dan aplikasi telah selesai di instal pada PC maka akan dilakukan pengujian atau uji coba untuk mengetahui apakah alat dan aplikasi yang sudah terpasang dapat berjalan dengan baik atau tidak, pada tahap ini pengujian pertama akan dilakukan pada sistem Arduino yang telah dibuat untuk mengetahui berapa persen keberhasilan alat ukur dan aplikasi dijalankan dan berapa lama delay waktu pada saat pertama kali dijalankan.



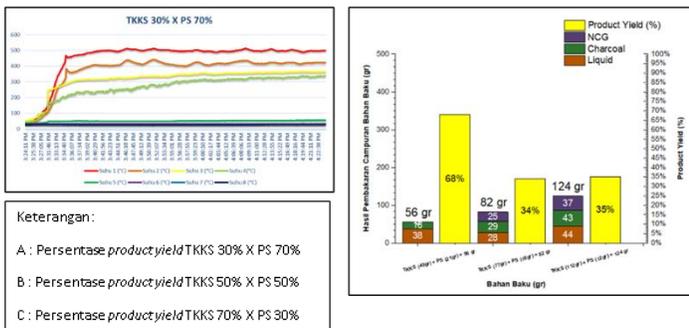
Gambar 2. Titik letak sensor *thermocouple* pada alat *co-pyrolysis*

Proses pengubahan bahan baku menjadi *biofuel* dipanaskan pada suhu 500 °C untuk menerima temperatur yang dapat membuat produk terbaik. Metode untuk menerima data suhu yang sinkron

artinya menggunakan memasang *Thermocouple* pada posisi yang sudah ditentukan (Gambar 2) pada desain mesin *Co-Pyrolysis*.

Tabel 4. Hasil pemanasan dari bahan baku TKKS (30%) X PS (70%)

No.	Jenis Campuran Bahan Baku	Persentase (%) (gr) Bahan Baku	Waktu (menit)	Temperatur (°C) 500 °C			
				Liquid (gr)	Charcoal (gr)	NGC	Product Yield (%)
1.	Tandan Kosong dan Plastik PS	30% - 70% (56 gr)	60 menit	38 gr	18 gr	0	68%



Gambar 3. Perbedaan distribution temperatur tiap persentase campuran tkks x ps. yang menghasilkan *product yield* berbeda.

TKKS X PS (500 °C)

Dari gambar 3 dan tabel 4 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai NCG, charcoal dan liquid seiring dengan bertambahnya bahan baku. Namun berbanding terbalik dengan produk yield yang mengalami penurunan, dan semua percobaan, campuran bahan baku TKKS (30%) X PS (70%) menghasilkan *product yield* terbanyak dengan persentase 68%.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian produksi *biofuel* dengan proses *Co-Pyrolysis* memakai bahan baku dari limbah kelapa sawit dan limbah plastik yang sudah dilakukan, bisa diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Hasil penelitian uji *proximate analysis* dan uji *ultimate analysis* telah menerima nilai karakteristik limbah kelapa sawit TKKS dan CKS dan limbah plastik HDPE dan PS. di uji *proximate analysis* dari data tersebut bisa ditinjau bahwa bahan baku biomassa cangkang kelapa sawit (CKS) mempunyai persentase nilai bahan mudah menguap yang paling rendah (6,73%) dan mempunyai persentase nilai karbon tetap yang tinggi (83,51%), sedangkan yang bahan mudah menguap persentase nilai tertinggi (96,99 %) ialah

bahan baku plastik jenis *polystyrene* (PS) dan mempunyai persentase nilai karbon tetap yang rendah (0,001%). di uji ultimate, persentase nilai karbon tertinggi (90,40%) yaitu plastik PS. yang dimana persentase nilai tinggi/rendah karbon mempengaruhi cepat atau lambatnya proses pemanasan. dari data tersebut bisa ditinjau bahwa bahan baku biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mempunyai persentase nilai karbon yang paling rendah (54,37%), sedangkan yang tertinggi 90,40%) ialah bahan baku plastik jenis *polystyrene* (PS).

2. *Distribution Temperature* pada campuran limbah kelapa sawit TKKS dan CKS serta limbah plastik HDPE dan PS melalui grafik *Temperature*. sesudah mencapai 400 °C massa bahan baku berkurang perlahan serta cenderung tetap sesudah mencapai 500 °C selama 1 jam. Perbedaan kecepatan *Temperature* mencapai 500 °C pada tiap grafik di sebabkan karena perbedaan massa dan kapasitas bahan baku serta membuka keran regulator gas yang secara manual tanpa adanya indikator kecepatan aliran gas yang keluar.
3. Data campuran bahan baku dari hasil pemanasan, produk yang sangat baik didapatkan dari pemanasan campuran TKKS (30%) X PS (70%) dengan suhu 500 °C selama 1 jam. Dan menghasilkan *Product yield* sebanyak 68%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. A., Arif, Z., Suheri, Nazaruddin, & Umar, H. (2021). The Influence of Triple Tube Heat Exchanger as a Liquid Collecting System on Bio-oil Production by Pyrolysis Process. In Akhyar (Ed.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering: ICECME 2020, Banda Aceh, October 13–14* (pp. 381–388). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0736-3_36
- Abdullah, N. A., Novianti, A., Hakim, I. I., Putra, N., & Koestoer, R. A. (2018). Influence of temperature on conversion of plastics waste (polystyrene) to liquid oil using pyrolysis process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012033>

- Abdullah, N. A., Rahardian, R., Hakim, I. I., Putra, N., & Koestoer, R. A. (2020). Non-sweep gas pyrolysis with vapor heater using “Shorea Pinanga” as a feedstock. *Evergreen*, 7(4), 555–563. <https://doi.org/10.5109/4150506>
- Abdullah, N. A., Tila, J., Hakim, I. I., Koestoer, R. A., & Putra, N. (2020). Influence of feedstock particle size from merbau wood (Intsia bijuga) on bio-oil production using a heat pipe fin l-shaped condenser in a pyrolysis process. *Engineering Journal*, 24(4), 261–271. <https://doi.org/10.4186/ej.2020.24.4.261>
- Abdullah, N. A., Tila, J., Hakim, I. I., Putra, N., & Koestoer, R. A. (2018). An experimental study of the vapor temperature in the reaction zone for producing liquid from camphor wood in a non-sweeping gas fixed-bed pyrolysis reactor. *International Journal of Technology*, 9(6), 1236–1245. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i6.2356>
- Biofeul, S., Dari, P., & Biomassa, L. (2019). *Sintesis biofeul (pona) dari limbah biomassa dengan proses pirolisis lambat*. 23–24.
- Cahyono, M. S. (2013). Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 5(2), 67–76. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss2.art1>
- Dewi, I. N. D. K. (2014). *Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis Batch Sampah Plastik Polyethylene dan Polystyrene pada Berbagai Suhu*. 7(1), 52–55.
- Dinyanti, S. (2021). Digital Repository Repository Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Jember Jember. *Digital Repository Universitas Jember, September 2019*, 2019–2022.
- Kurniawati, D., Putra, N., Abdullah, N., Ibnu Hakim, I., & Nurrokhmat, A. (2021). An experimental analysis of diesel fuel produced from HDPE (high-density polyethylene) waste using thermal and catalytic pyrolysis with passive heat pipe cooling system. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23, 100917. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100917>
- Mardiah, M. (2014). *Studi Peningkatan Yield Tar Co-Pirolisis Batubara Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Study for Increasing Yield of Coal Tar and Co-Pyrolysis Oil Palm Empty Bunch*. 90–95.
- Nurdianto, P., Nugraheni, I. K., & Ivana, R. T. (2016). Pengujian Bahan Bakar Biofull Hasil Pirolisis Botol Plastik Pada Sepeda Motor. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 3(1), 01. <https://doi.org/10.34128/je.v3i1.8>
- Purwanto, W. W., Supramono, D., Muthia, R., & Annisa, G. (2012). Konversi Limbah Kelapa Sawit Menjadi Bio-Oil melalui Proses Catalytic Fast Pyrolysis dan Konversi Limbah Kelapa Sawit Menjadi Bio-Oil melalui Proses. *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia Dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012, September*, 1–10.
- Simanungkalit, S. P., & Mansur, D. (2020). Co-Pyrolysis Cangkang Kelapa Sawit Dan Limbah Plastik Kemasan. *Widyariset*, 6(2), 62. <https://doi.org/10.14203/widyariset.6.2.2020.62-74>
- Supraniningsih, J. (2012). Pengembangan Kelapa Sawit Sebagai Biofuel dan Produksi Minyak Sawit serta Hambatannya. *Widya: Majalah Ilmiah*, 29(23), 10–15.
- Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbarukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2046>
- Udyani, K., Ningsih, E., & Arif, M. (2018). Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair dari Bahan Limbah Kantong Plastik. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VI, 2013*, 389–394.
- Virgiawan, N. A. (2021). *Produksi Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik Polistirena dan Oli Bekas dengan Teknologi Pirolisis*.
- Zullaikah, S., Zigmawaiko, T., & Wafa, S. (2015). Co-Pyrolysis Characteristics Of Indonesia Low Rank Coal And Oil Palm Empty Fruit Bunch. *Teknik Kimia Kejuangan, Maret*, 1--8.