

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) SEBAGAI EVALUASI JARINGAN DRAINASE DI GAMPONG SUNGAI PAUH KOTA LANGSA

Faiz Isma¹, Irwansyah¹, Yulina Ismida¹

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 19 November 2018
Direvisi dari 03 Desember 2018
Diterima 30 Desember 2018

Kata Kunci:

*Drainase,
Debit Rencana Kala Ulang,
Pasang Surut Laut,
Sistem Informasi Geografis (SIG)*

ABSTRAK

Gampong Sungai Pauh berada di hilir DAS Langsa membuat instruksi pasang laut berpengaruh di gampong Sungai Pauh menyebabkan ada drainase yang tidak mampu menampung kelebihan air yang berasal dari pasang laut dan limbah domestik, maka perlu dilakukan suatu upaya untuk mengevaluasi jaringan drainase di Gampong Sungai Pauh dengan memberikan indeks dan pembobotan terhadap parameter informasi yang dituangkan kedalam SIG. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang kelayakan jaringan drainase di Gampong Sungai Pauh yang perlu dilakukan evaluasi terhadap fisik drainase. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi dan pengukuran lapangan dalam hal ini mengamati tinggi air di drainase akibat pasang dan mengukur debit rencana akibat hujan dan limbah domestik. Hasil penelitian ini berupa peta evaluasi jaringan drainase menggambarkan informasi kelayakan jaringan drainase dimana saluran drainase yang memerlukan kajian desain berkisar 1,385 km dikarenakan daerah ini terletak di bagian hilir gampong sungai pauh yang paling berdampak terhadap pasang dari estuari langsa, saluran yang perlu tindakan rehabilitasi sepanjang 4,173 km, dan saluran yang perlu tindakan pemeliharaan rutin sepanjang 2,405 km umumnya berada pada bagian hulu dari gampong sungai pauh.

© 2018 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Berdasarkan data BPS kota langsa, 2016 menyatakan Gampong Sungai Pauh memiliki luasan sebesar 631 Ha atau 12,52 % dari luas total kecamatan langsa barat yaitu 5.038 Ha dengan jumlah penduduk sungai pauh sebesar 4.409 orang dari 571 penduduk/km² dimana gampong sungai pauh memiliki Panjang jaringan drainase sebesar 7,963 km yang sering mengalami kelemahan dalam menampung kelebihan debit air terutama saat terjadi debit puncak diakibatkan dari peningkatan jumlah penduduk, curah hujan, pasang dari laut, sedimentasi, dan kondisi fisik saluran di beberapa lorong terjadi genangan air sampai menutupi badan jalan. (asmadi. S, 2012) menyatakan perlu ada tindakan yang tepat sasaran terhadap pengaruh pasang yang ada di sungai pauh. Untuk mengatasi dampak yang berkelanjutan pada jaringan drainase di Sungai Pauh maka perlu dilakukan suatu upaya untuk mengevaluasi sistem saluran yang ada di Gampong Sungai Pauh dan informasi yang telah terkumpul dituangkan kedalam teknologi SIG. Tujuan dari penelitian adalah untuk memberikan informasi

dalam mengevaluasi kapasitas saluran drainase berdasarkan ruas lorong dengan periode ulang banjir Q50 tahun dalam suatu peta jaringan drainase menggunakan system informasi geografis (SIG) dalam memperoleh gambaran mengenai pentingnya pengaturan sistem drainase secara teknis mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, limbah domestik dan pasang air laut. Manfaat yang diperoleh adalah memberikan informasi tentang kondisi jaringan drainase di gampong Sungai Pauh sehingga dapat menjadi acuan dalam penanggulangan banjir kota Langsa khususnya daerah gampong Sungai Pauh serta memberi gambaran informasi akademis melalui pengideraan jauh dengan menggunakan SIG.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Drainase Perkotaan

Drainase Perkotaan merupakan ilmu drainase yang diterapkan menghususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sosial budaya yang ada di kawasan kota (Hasmar, 2011). Drainase perkotaan yaitu sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi

permukiman, kawasan industri dan perdagangan, kampus dan sekolah, rumah sakit dan fasilitas umum, lapangan olah raga, lapangan parkir, Instalasi militer, listrik, telekomunikasi, pelabuhan udara. Kriteria desain drainase perkotaan memiliki kekhususan, sebab untuk perkotaan ada tambahan variabel desain seperti keterkaitan dengan tata guna lahan, keterkaitan dengan masterplan drainase kota, keterkaitan dengan masalah sosial budaya.

2.1.1 Skema Jaringan Drainase

Jaringan drainase adalah saluran-saluran drainase yang saling berhubungan membentuk suatu jaringan drainase ini memiliki pola dan fungsi tertentu untuk mengalirkan air ke saluran utama. bentuk pola tersebut adalah pola Jaringan Siku, pola jaringan paralel, pola jaringan grid iron, pola jaringan alamiah, pola jaringan radial, pola jaringan jaring-jaring

2.1.2 Penilaian Jaringan Drainase

Pemerintah belum menerbitkan peraturan tentang pedoman penilaian kondisi jaringan drainase. Oleh sebab itu penilaian kondisi jaringan drainase sebagai bentuk evaluasi dilakukan dengan pendekatan pedoman penilaian kinerja reklamasi rawa yang sudah ada. Aspek penilaian akan ditinjau dari tingkat tinggi genangan, sedimentasi dan sarana prasarananya.

a. Penilaian Aspek Sedimentasi

Penilaian aspek sedimentasi dalam saluran drainase dilakukan melalui pendekatan menurut Pedoman Penilaian Kinerja Jaringan Reklamasi Rawa. Pedoman ini menyebutkan untuk menilai kondisi penampang basah ditunjukkan oleh nilai indeks yang berkisar antara 1-5. Semakin kecil nilai indeks menunjukkan bahwa kondisi penampang basah semakin baik, yang berarti bahwa fungsi penampang basah semakin baik pula (Agrianto, 2016). Nilai kondisi penampang basah merupakan nilai indeks maksimum atau nilai fungsi yang terburuk dari saluran yang dipantau. Air akan mengalir dengan lancar jika kondisi penampang basah baik dibagian hulu, tengah maupun hilir dalam kondisi baik. Jika salah satu bagian dari penampang basah kondisinya buruk, misalnya dikarenakan akibat sedimentasi yang tinggi dan ditutupi tanaman air, maka aliran air akan terganggu. Berdasarkan pendekatan diatas, maka nilai fungsi tingkat sedimentasi yang dinilai dengan membandingkan tinggi sedimentasi yang ada terhadap kapasitas saluran diasumsikan berbanding lurus terhadap luas penampang saluran maksimum yaitu tinggi saluran (H) adalah tinggi air (h) ditambah tinggi jagaan (w). untuk mengetahui luas penampang maksimum saluran dan penampang deposisi sedimen pada saluran trapesium adalah:

$$A = bH + mH \quad (1)$$

$$H = h + w \quad (2)$$

$$A_{sed} = bH_{sed} + mH_{sed} \quad (3)$$

Sedangkan untuk menghitung luas penampang maksimum saluran berbentuk segiempat adalah:

$$A = bH \quad (4)$$

$$A_{sed} = bH_{sed} \quad (5)$$

Keterangan:

A = Luas penampang maksimum (m²)

A_{sed} = Luas penampang akibat sedimentasi (m²)

b = Lebar dasar saluran (m), 1/m = Kemiringan talud

H = Tinggi saluran total (m)

Dengan demikian maka tingkat sedimentasi dapat diukur dengan:

$$Sed = \left(100 - \frac{A_{sed}}{A} \times 100 \right) \% \quad (6)$$

Kemudian hasil perhitungan sedimentasi menjadi nilai input kondisi berdasarkan persentasi indeks penilaian terhadap saluran yang diperlihatkan dalam Tabel 1 (Agrianto. F, 2016).

Tabel 1 Penilaian Kondisi dari Tingkat Sedimentasi

Indeks	Kondisi	Fungsi (%)	Tingkat Kondisi
1	Tingkat sedimentasi berada diantara 76-100 %	76 – 100	Baik
2	Tingkat sedimentasi berada diantara 51 – 75 %	51 – 75	Cukup
3	Tingkat sedimentasi berada diantara 26 – 50 %	26 – 50	Rusak Ringan
4	Tingkat sedimentasi berada diantara 1 – 25 %	1 -25	Rusak Berat
5	Tingkat sedimentasi sampai menutupi seluruh penampang (0 %)	0	Disfungsi

b. Penilaian Aspek Kelengkapan Sarana dan Prasarana Jaringan Drainase

Penilaian aspek sarana dan prasarana ditinjau dari bangunan air seperti lantai, dinding dan talud saluran. Sebagaimana aspek sedimentasi, kelengkapan sarana dan prasarana jaringan drainase dinilai menjadi 5 indeks yang akan diberikan terhadap kondisi saluran seperti sungai, drainase, dan rawa sebagai rekomendasi tindakan yang harus dilakukan terhadap saluran yang ditinjau diperlihatkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Penilaian Aspek Kelengkapan Sarana Prasarana

Indeks	Kondisi	Fungsi (%)	Tingkat Kondisi
1	Bangunan baik, tidak ditemui kerusakan yang berarti.	76 – 100	Baik
2	Bangunan dalam sedang dan berfungsi, ditemui ada kerusakan namun bisa diatasi dan difungsikan.	51 – 75	Cukup
3	Bangunan dalam kondisi rusak, ditemui kerusakan, tidak berfungsi dengan baik.	26 - 50	Rusak Ringan
4	Bangunan dalam kondisi rusak berat, kerusakan tidak dapat diperbaiki hilang, runtuh dan lain-lain.	1 -25	Rusak Berat
5	Bangunan atau komponen bangunan tidak ada.	0	Disfungsi

Sumber : (Dirjen SDA Kementerian Pekerjaan Umum, 2011)

c. Penilaian Aspek Banjir dan Pasang Surut Air Laut

Penilaian aspek banjir ditinjau dari tinggi genangan. Untuk mengetahui tinggi genangan, diperlukan analisis tinggi genangan yang didasarkan pada hasil pengamatan langsung dilapangan. Untuk melakukan analisis tersebut, maka dilakukan berdasarkan pada tabel 2.3.

Tabel 3 Penilaian Aspek Tinggi Genangan

Indeks	Kondisi	Fungsi %	Tingkat Kondisi
1	Tinggi genangan < 0,3 m	76 - 100	Tidak Rawan
2	Tinggi genangan 0,3 – 0,5 m	51 – 75	Kurang Rawan
3	Tinggi genangan 0,5 – 1,0 m	26 - 50	Cukup Rawan
4	Tinggi genangan 1,0 – 3,0 m	1 -25	Rawan
5	Tinggi genangan > 3,0 m	0	Sangat Rawan

Sumber : (Dirjen SDA Kementerian Pekerjaan Umum, 2011)

Tinggi genangan yang konsumsi saluran drainase dipengaruhi pada tingkat curah hujan, limbah domestik

yang bersumber dari limbah rumah tangga seperti mandi, cuci baju, dan kebutuhan untuk memasak. Tinggi genangan ini dilakukan dengan mengamati langsung pada saluran, selanjutnya diberikan penilaian indeks pada alur – alur saluran serta memberikan penilaian persentase berdasarkan nilai indeks.

d. Penilaian total indeks jaringan drainase

Menurut (Surat Edaran Menteri PU No. 02/SE/M/2011) tentang Pedoman Penilaian Kinerja Jaringan Reklamasi Rawa, penilaian kondisi total jaringan drainase ditinjau merupakan gabungan dari indeks kondisi aspek sedimentasi, kelengkapan sarana prasarana dan banjir pasang surut air laut. Indeks kondisi bangunan air yang ditinjau dihitung dengan cara pembobotan, berdasarkan rumus:

$$IK_{\text{drainase}} = \frac{\{(IK_{\text{sed}} \times W_{\text{sed}}) + (IK_{\text{PS}} \times W_{\text{PS}}) + (IK_{\text{bpsal}} \times W_{\text{bpsal}})\}}{(W_{\text{sed}} + W_{\text{PS}} + W_{\text{bpsal}})} \quad (7)$$

Persamaan mengandung pengertian bahwa dalam rangka menghitung indeks kondisi drainase (IKdrainase) diperlukan nilai indeks sedimentasi (IKsed), sarana prasarana (IKPS) dan banjir pasang surut air laut (IKbpsal). Indeks kondisi drainase tersebut berasal dari hasil pengamatan dikalikan dengan bobot masing-masing sub komponen. Kemudian jumlah dari ketiga indeks tersebut dibagi dengan agregat bobot sehingga akan didapatkan indeks kondisi bangunan. Pembobotan sedimentasi (Wsed), kelengkapan sarana prasarana (WPS) dan banjir pasang surut air laut (Wbpsal) menunjukkan nilai relatif dari peran sedimentasi, kelengkapan sarana prasarana dan resiko banjir dalam kapasitas drainase. Secara empiris, banjir pasang surut air laut mempunyai pengaruh besar dibanding dengan aspek sedimentasi dan kelengkapan sarana dan prasarana. Dengan demikian, maka bobot banjir pasang surut air laut (Wbpsal) akan lebih besar dibanding bobot sedimentasi (Wsed) dan sarana prasarana (WPS). Dalam penelitian ini digunakan bobot Wbpsal = 3, Wsed = 2, dan WPS = 1.

Dengan interpolasi diketahui fungsi saluran berdasarkan nilai indeks, misalnya indeks kondisi suatu saluran = 2,46, maka indeks ini ekuivalen dengan kondisi saluran yang berfungsi sebesar = 50 % - (2,46 – 2,0)/1 x 25 = 50 % - 11,5 = 38,5 %. Dengan demikian saluran berfungsi 38,5 % (Agrianto, 2016). nilai indeks jaringan drainase telah diperoleh selanjutnya mengambil keputusan rekomendasi tindakan yang bisa disimpulkan berdasarkan penilaian dari kondisi saluran. Dimana rekomendasi tindakan pada kondisi saluran diperlihatkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4 Nilai Indeks sebagai rekomendasi tindakan

Indeks	Kondisi	Rekomendasi Tindakan
1	Berfungsi 76 % sampai 100 %	Pemeliharaan Rutin
2	Berfungsi 51 % sampai 75 %	Pemeliharaan Berkala
3	Berfungsi 26 % sampai 50 %	Rehabilitasi
4	Berfungsi 1 % sampai 25 %	Rehabilitasi
5	Tidak ada saluran dan/atau bangunan yang harusnya ada atau 0%	Kajian Desain

Sumber : (Dirjen SDA Kementerian Pekerjaan Umum, 2011)

2.2 Hidrologi

Menurut (Soemarto, 1986) Hidrologi adalah ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam. Ini meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer di atas dan dibawah permukaan tanah. Hujan salah satu komponen yang sangat penting dalam analisis hidrologi. Hubungan antara besarnya kejadian ekstrem dan frekuensinya atau peluang kejadiannya adalah berbanding terbalik. Dengan kata lain dapat dirumuskan.

$$X = 1/P \quad (8)$$

Keterangan:

X = Besarnya suatu kejadian.

P = Frekuensi atau peluang suatu kejadian.

2.3 Distribusi Probabilitas

Menurut (Kamiana, 2011) Analisis frekuensi bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya suatu kejadian ekstrem (maksimum atau minimum) dan frekuensinya berdasarkan distribusi probabilitas. Dalam analisis Frekuensi data hujan atau data debit gunamemperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana, dikenal beberapa distribusi probabilitas kontinu yang sering digunakan, yaitu:

- Persamaan Distribusi Probabilitas Normal.

$$X_T = X + K_T \cdot S \quad (9)$$

- Persamaan Distribusi Probabilitas Log Normal.

$$\text{Log} X_T = \text{Log} X + K_T \cdot \text{Slog} X \quad (10)$$

- Persamaan Distribusi Probabilitas Log Person Type III.

$$\text{Log} X_T = \text{Log} X + K_T \cdot \text{Slog} X \quad (11)$$

- Persamaan Distribusi Probabilitas Gumbel.

$$X_T = X + S \cdot K \quad (12)$$

Keterangan:

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun

X = Nilai rata-rata dari data hujan (X) mm

S = Standar deviasi dari data hujan (X) mm

K_T = Faktor Frekuensi, Merupakan Fungsi dari peluang atau periode ulang dan bergantung pada nilai T

n = Jumlah Sampel

$\text{Log} X_T$ = Nilai logaritmis hujan rencana dengan periode ulang T.

S log X = Deviasi standar dari

$$\text{Log} X = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log} X_i - \text{Log} X)^2}{n-1} \right)^{0.5}$$

K_T = Faktor Frekuensi, nilainya bergantung dari T

S log X = Deviasi standar dari Log X.

$$S \text{ Log} X = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log} X_i - \text{Log} X)^2}{n-1}$$

K = Faktor Frekuensi Gumbel : $K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$

Y_t = Reduced variate : $-\text{Ln} - \text{Ln} (T-1)/T$ nilai Y_t bisa ditentukan

S_n = Reduced standard deviasi

Y_n = Reduced mean

Uji kecocokan distribusi probabilitas dimaksudkan untuk menentukan kecocokan distribusi probabilitas yang dipilih dan diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis dengan Metode Smirnov-Kolmogorof (secara analitis) dengan langkah - langkah sebagai berikut:

1. Urutkan data (X_i) dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Tentukan peluang empiris masing-masing data yang sudah diurut tersebut (X_i) dengan rumus tertentu, misalnya rumus weibull.

$$P(X_i) = \frac{n+1}{i} \quad (13)$$

Keterangan:

n = Jumlah data

i = Nomor urut data setelah diurut dari besar ke kecil atau sebaliknya.

3. Tentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut tersebut $P'(X_i)$ berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih (Gumbel, Normal dan sebagainya).

Apabila yang tersedia hanya data curah hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus *manonobe*.

$$I = \frac{X_{24}}{24} x \frac{24}{t}^{\frac{2}{3}} \quad (14)$$

Keterangan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Durasi hujan atau waktu konsentrasi (jam)

X_{24} = Tinggi hujan harian maksimum atau hujan rencana (mm).

2.4 Debit Rencana Drainase Perkotaan

Menurut (Kamiana, 2011) debit rencana (Q_t) adalah debit dengan periode ulang tertentu (T) yang diperkirakan akan melalui suatu sungai atau bangunan air. Periode ulang adalah waktu hipotetik di mana suatu kejadian dengan nilai tertentu, debit rencana misalnya, akan disamai atau dilampaui 1 (satu) kali dalam jangka waktu hipotetik tersebut. Hal ini tidak berarti bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap periode ulang tidak boleh kita tetapkan terlalu kecil agar jangan terlalu sering terjadi ancaman pengrusakan bangunan atau daerah sekitarnya, tetapi juga tidak boleh terlalu besar sehingga ukuran bangunan tidak ekonomis. Untuk drainase perkotaan dan jalan raya sebagai debit rencana ditetapkan debit banjir maksimum periode ulang 5 sampai 10 tahunan, yang mempunyai makna kemungkinan banjir maksimum tersebut disamai atau dilampaui 1 kali dalam 5 tahun atau 2 kali dalam 10 tahun.

2.4.1 Limbah Domestik Atau Debit Air Kotor

Limbah domestik adalah debit yang berasal dari air kotor buangan rumahtangga, bangunan gedung, instalasi, dan sebagainya. Untuk memperkirakan jumlah air kotor yang akan dialirkan ke saluran drainase harus diketahui terlebih dahulu jumlah kebutuhan air rata-rata dan jumlah penduduk daerah perencanaan. Kebutuhan air bersih untuk daerah perencanaan adalah sebesar 150 liter/hari/orang. Air buangan rumah tangga diperhitungkan berdasarkan penyediaan air minumannya. Menurut (Suhardjono, 1984) yang dikutip dari (Wicaksono, 2015) diperkirakan besarnya air buangan yang masuk ke saluran pengumpul air buangan sebesar 90% dari kebutuhan standar air minum. Sehingga besarnya air kotor adalah :

$$\begin{aligned} q &= 90\% \cdot 150 \text{ liter/orang/hari} \\ &= 135 \text{ liter/orang/hari} \\ &= 1,5625 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det/orang} \end{aligned}$$

$$Q = (P_n \cdot q)/A \quad (15)$$

Keterangan :

- Q = Debit Air Kotor/ha ($\text{m}^3/\text{det}/\text{ha}$)
- P_n = Jumlah Penduduk (orang)
- q = Jumlah Kebutuhan Air Kotor ($\text{m}^3/\text{det}/\text{orang}$)
- A = Luas permukiman (ha)

2.5 Metode Rasional

Menurut (Hasmar, 2011) Metode rasional merupakan rumus yang tertua dan yang terkenal di antara rumus-rumus empiris. Metode rasional dapat digunakan untuk menghitung debit puncak sungai atau saluran. Rumus umum Metode Rasional adalah :

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A \quad (16)$$

Keterangan:

- Q = Debit puncak limpasan permukaan (m^3/det)
- C = Angka pengaliran (tanpa dimensi)
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan hujan (Ha)

Jika dipergunakan untuk rencana dengan berbagai periode ulang maka notasinya ditulis sebagai berikut:

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A \quad (17)$$

Keterangan rumus:

- Q = Debit puncak limpasan permukaan (m^3/det)
- C = Angka pengaliran (tanpa dimensi).
- A = Luas daerah pengaliran (Ha).
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam).
- C_s = Koefisien tampungan

Koefisien penampungan (C_s) tidak mudah ditetapkan, tetapi perkiraan nilai tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_s = \frac{2 t_c}{2 t_c + 2 t_d} \quad (18)$$

Keterangan:

- C_s = Koefisien tampungan
- t_c = Waktu konsentrasi
- t_d = Waktu aliran air mengalir didalam saluran dari hulu hingga ke tempat pengukuran (jam)

Untuk Waktu pengaliran (*time of flow*) tergantung pada perbandingan panjang saluran dan kecepatan aliran. Menurut rumus empiris dari Kirpich adalah

$$t_d = 0,0195 \cdot \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (19)$$

Untuk curah hujan yang berasal dari atap, perkerasan halaman ataupun jalan yang langsung masuk ke saluran, waktu pemasukannya tidak lebih dari 5 menit. Pada daerah komersial yang relatif datar, waktu pemasukan (t_o) yang dibutuhkan sekitar 10 sampai 15 menit dan pada daerah pemukiman penduduk yang relatif datar waktu yang dibutuhkan sekitar 20 sampai 30 menit.

Maka untuk menghitung waktu konsentrasi adalah waktu konsentrasi = waktu pemasukan + waktu pengaliran

$$t_c = t_o + t_d \quad (20)$$

Keterangan:

- L = Panjang saluran yang ditinjau dari inlet (pemasukan) sampai ke tampang yang ditinjau (m),
- S = Slope (kemiringan daerah pengaliran).
- t_c = Waktu konsentrasi
- t_o = Waktu pemasukan
- t_d = Waktu pengaliran

Tabel 5. Koefisien Pengaliran (*runoff*)

Tipe Area Aliran	Koefisien <i>runoff</i>
Perkerasan aspal, beton	0.80 - 0.90
Tanah padat sulit diresapi	0.40 - 0.55
Tanah agak mudah diresapi	0.05 - 0.35
Taman/Lapangan Terbuka	0.05 - 0.25
Kebun	0.20
Perumahan tidak begitu rapat (20 rumah/ha)	0.25 - 0.40
Perumahan kerapatan sedang (21-60 rumah/ha)	0.40 - 0.70
Perumahan Rapat (61-160 rumah/ha)	0.70 - 0.80
Daerah rekreasi	0.20 - 0.30
Daerah Industri	0.80 - 0.90
Daerah perniagaan	0.90 - 0.95

Sumber : (Hasmar, 2011)

2.6 Pasang Surut

Menurut (Pariwono, 1989) yang dikutip dari (Jayanti, 2016) fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Menurut Wyrcki, 1961 yang dikutip dari (Jayanti, 2016) faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya pasang surut berdasarkan teori kesetimbangan adalah rotasi bumi pada sumbunya, revolusi bulan terhadap matahari, revolusi bumi terhadap matahari. Sedangkan berdasarkan teori dinamis adalah kedalaman dan luas perairan, pengaruh rotasi bumi dangesekan dasar.

Perairan laut memberikan respon yang berbeda terhadap gaya pembangkitpasang surut, sehingga terjadi tipe pasang surut yang berlainan di sepanjangpesisir. Menurut (Wyrcki, 1961) yang dikutip dari (Jayanti, 2016) pasang surut di Indonesia dibagi menjadi: (1) Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), (2) Pasang surut harian ganda (semidiurnal tide), (3) Pasang surut campuran condong harian tunggal (mixed tide prevailing diurnal), (4) Pasang surut campuran condong harian ganda (mixed tide, prevailing semidiurnal).

2.7 Sistem Informasi Geografis (SIG)

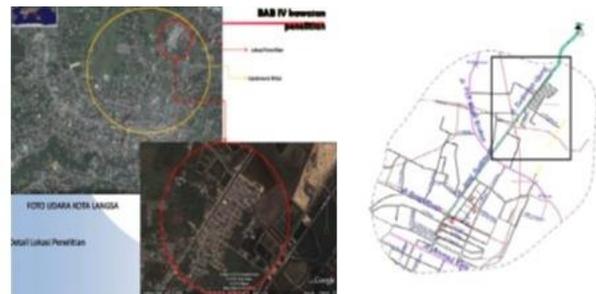
Menurut (Irwansyah. E, 2013) Sistem Informasi Geografis (SIG) atau Geographic Information System (GIS) adalah sebuah sistem yang didesain untuk menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisa, mengatur dan menampilkan seluruh jenis data geografis. Komponen-komponen yang membangun SIG adalah perangkat lunak, perangkat keras, data, pengguna, dan aplikasi. SIG dalam pengelolaan sumber daya alam di lingkungan pemerintah lokal, sebagai contoh, memerlukan sistem yang mendukung tersedianya kelima komponen tersebut. Data geografis pada dasarnya tersusun oleh dua komponen penting yaitu data

spasial dan data atribut. Data spasial merepresentasikan posisi atau lokasi geografis dari suatu objek di permukaan bumi, sedangkan data atribut memberikan deskripsi atau penjelasan suatu objek. Data atribut dapat berupa informasi numerik, foto, narasi, dan lain sebagainya, yang diperoleh dari data statistik, pengukuran lapangan dan sensus, dan lain-lain (Bumi Pertiwi, 2011). Data spasial dapat diperoleh dari berbagai sumber dalam berbagai format. Sumber data spasial antara lain mencakup: (1) Data grafis peta analog, (2) Foto udara, (3) Citra satelit, (4) Survei lapangan dengan bantuan theodolite dan global positioning systems (GPS) dan lain-lain. F. Isma 2014 menyatakan sistem informasi geografis merupakan suatu wadah dalam memberikan informasi secara spasial yang mampu menyimpulkan pengambilan suatu keputusan melalui proses skoring yang bisa diterapkan pada bidang keilmuan teknik pengairan, teknik pantai, oceanografi, dan keilmuan manajemen yang berkaitan dengan geografis.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Lokasi Wilayah Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di Gampong Sungai Pauh Kecamatan Langsa Barat Kabupaten Kota Langsa. Gampong Sungai Pauh merupakan daerah yang terletak dekat dengan kota, jalan lintas Medan – Banda Aceh dan bibir pantai. Pada lokasi ini memiliki daerah perumahan yang cukup padat dan dengan ditambahkan daerah pertambakan ikan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Data adalah suatu yang dianggap dapat memberikan gambaran tentang keadaan maupun persoalan. Data yang diperlukan untuk menunjang penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang langsung didapat dari hasil pengamatan di lokasi penelitian. Adapun data primer yang dibutuhkan di lokasi penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Kondisi saluran per ruas drainase berdasarkan ruas lorong
- b. Bobot kondisi saluran drainase per ruas jalan lorong
- c. Data tinggi genangan akibat pasang laut.

3.2.2 Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang didapat dari instansi atau dari hasil perhitungan/perencanaan sebelumnya. Adapun data Sekunder yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- a. Data curah hujan
- b. Layer peta kota Langsa dengan format shp file
- c. Jaringan ruas jalan di gampong Sungai Pauh kota Langsa
- d. Jumlah penduduk di gampong Sungai Pauh kota Langsa

3.3 Pengolahan Data

Analisis pengolahan data merupakan langkah yang dilakukan untuk mencari serta menganalisis hasil kejadian dengan parameter sebagai berikut :

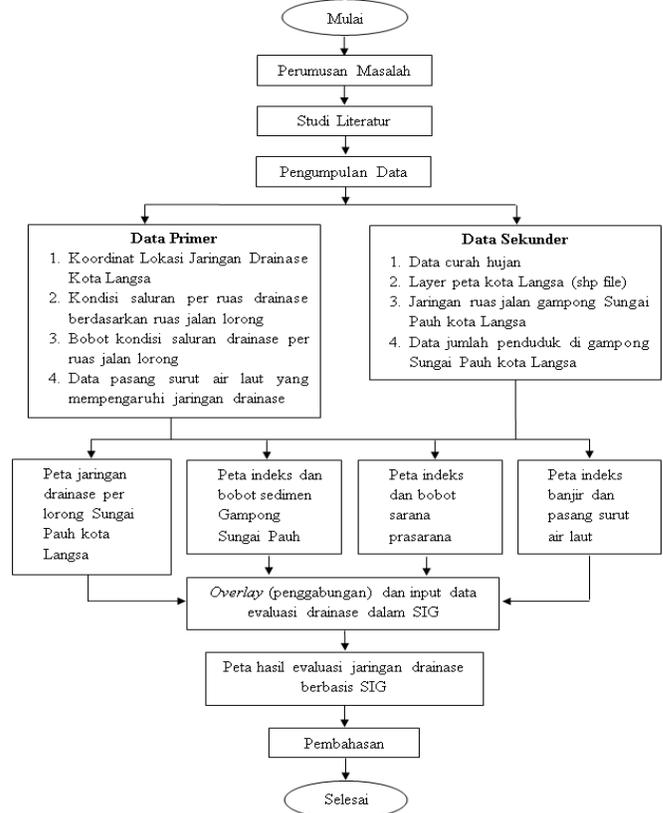
1. Analisa hidrologi dan hidrolika, yaitu dimana analisa hidrologi :
 - a. Menganalisis curah hujan rencana dengan probabilitas log Person III dan intensitas hujan dengan metode mononobe..
 - b. Menganalisis debit aliran dengan metode rasional.
2. Perhitungan debit limbah domestik dihitung dengan mengalikan kebutuhan air bersih dengan jumlah penduduk yang berada di Gampong Sungai Pauh
3. Perhitungan debit banjir rencana dengan menjumlahkan debit air hujan dan debit limbah domestik.
4. Memberikan penilaian terhadap jaringan drainase dilakukan pada masing-masing saluran yang berada pada ruas jalan di gampong Sungai Pauh tersebut.
5. Proses analisis geografis menggunakan perangkat lunak ArcGis 10.3 yang dimulai dengan memetakan jaringan drainase di seluruh wilayah Gampong Sungai Pauh berdasar data spasial sehingga dihasilkan peta tematik jaringan drainase. Kemudian peta tematik ini diintegrasikan dengan hasil penilaian fisik jaringan drainase yang mana data ini sebagai data atribut atau keterangan tambahan dalam peta tematik tersebut. Pada tahap ini dilakukan penggabungan antara hasil penilaian jaringan drainase tentang Tingkat Jaringan Drainase dan

Rekomendasi Tindakan Jaringan Drainase dengan layer Jaringan Drainase.

6. Penilaian fisik jaringan akan muncul sesuai nilai kondisi pada tiap ruas jaringan yang digambarkan dengan simbol atau legenda yang berbeda dalam peta tematik tersebut. Peta tematik ini dapat bermanfaat dalam kegiatan monitoring dan pemeliharaan.

3.4. Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir dalam penelitian ini adalah



Gambar 2. Bagan alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode Distribusi Log Person Type III berdasarkan Curah Hujan dari BPS Kota Langsa diperoleh curah hujan rencana 50 tahunan ($X_{50} = 432,32$ mm/tahun) dengan intensitas hujan (I) adalah 148,05 mm/jam.

4.1 Perhitungan Kapasitas Saluran

Perhitungan kapasitas saluran bertujuan untuk mengetahui berapa besar debit yang mampu ditampung dan dialirkan oleh saluran yang ada.

Koefisien Manning untuk beton : $n = 0,015$

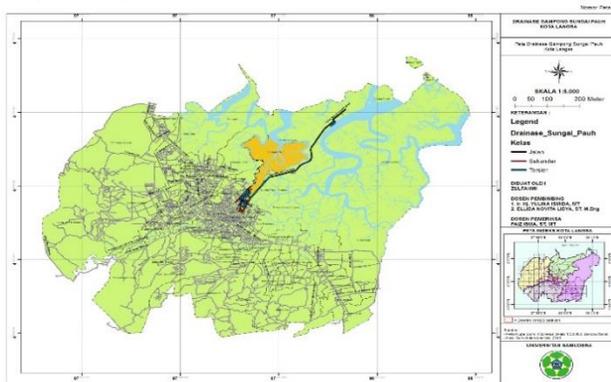
Kemiringan diasumsikan $S = 0,001$

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} = 1/0,015 \times 0,14^{2/3} \cdot 0,001^{1/2} = 0,5761 \text{ m/det}$$

Maka:

$$Q = A \cdot V = 0,2 \times 0,5761 = 0,1152 \text{ m}^3/\text{det}$$

Terdapat 36 saluran berdasarkan nama jalan/lorong di gampong sei Pauh kecamatan langsa barat meliputi jalan Prof. A Majid Ibrahim, jalan Jend. Sudirman Ujung, jalan Kuala Langsa, jalan Malikul Adil, jalan Balda, jalan Putro Bungsu, jalan Kemuning, jalan Suplir, jalan Cendana, jalan Nusa Indah, jalan Asparagas, jalan Sakura, jalan Bogenvil, jalan Plamboyan, jalan Baur, jalan Bonsai, jalan Cempaka, jalan Dahlia, jalan Kenanga, jalan Teratai, jalan Melati, jalan Seroja, jalan Ginseng, jalan Aster, jalan Tulip dan jalan Tower. Dimana jalan Jend. Sudirman Ujung merupakan saluran sekunder sedangkan untuk saluran lainnya merupakan saluran tersier.



Gambar 3. Jaringan Drainase Sungai Pauh

Besar genangan yang terjadi pada saluran dilakukan pengamatan langsung dilapangan (Survei) saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah dimana hasil yang diperoleh dilapangan sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Survei Genangan Drainase Saat Pasut Laut

Nama Jalan	Sisi Saluran	Indeks	Tinggi Genangan (m)	Keterangan Saluran
Melur	Kiri	3	0,5 – 1,0	Tersier
	Kanan	3	0,5 – 1,0	Tersier
Tulip	Kiri	3	0,5 – 1,0	Tersier
	Kanan	3	0,5 – 1,0	Tersier
Aster	Kiri	3	0,5 – 1,0	Tersier
	Kanan	3	0,5 – 1,0	Tersier
Ginseng	Kiri	3	0,5 – 1,0	Tersier
	Kanan	3	0,5 – 1,0	Tersier
Jend Sudir Ujung	-	-	-	Tidak Ada
Seroja	Kiri	3	0,5 – 1,0	Tersier
	Kanan	3	0,5 – 1,0	Tersier

Dari tabel di atas menjelaskan bahwa saat kondisi pasang air laut tinggi genangan mencapai 3 m pada saluran

skunder (Jalan Sudirman Ujung) dan saluran tersier dibagian hilir mengalami dampak genangan sebesar 1,0 m maka kondisi ini diberi nilai indeks 3 yang ditinjau dari sisi genangan dan bagian tengah dari Lorong nusa indah hingga lorong iskandar sani hanya mengalami genangan sekitar 0,5 m yang diberi nilai indeks 2 dari sisi genangannya. Dimana nilai indeks ini akan digunakan dalam mengevaluai jaringan drainase di Sei Pauh.

4.2 Analisa Debit Rencana

Debit rencana ditinjau dari debit limbah domestik dan debit rencana (Q) berdasarkan Intensitas Hujan Rencana (I_{50}) yang bertujuan untuk mengetahui besarnya debit yang mampu dialirkan oleh drainase dengan melihat kebutuhan air bersih berkisar 150 liter/orang/hari dengan limbah domestik (q) berkisar 90 % x 150 liter/orang/hari = 135 liter/orang/hari atau $1,5625 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik/orang}$ dengan jumlah penduduk (P_n) = 8.562 orang dan luas permukiman (A) = 40 Ha, sehingga diperoleh debit limbah domestik (Q) = $(P_n \cdot q)/A = (8.562 \times 1,5625 \times 10^{-6})/40 \text{ ha} = 3,343 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det/ha}$

1. Saluran Jalan Aster

Luas daerah aliran: $A = 0,5 \text{ Ha}$

Jarak terjauh dari aliran curah hujan: $L = 145 \text{ meter}$

Kemiringan daerah aliran: $S = 0,001$ Waktu pemasukan kriteria untuk kota kecil: $t_0 = 20 \text{ menit} = 0,33 \text{ jam}$ Waktu pengaliran: 0,22 jam, Waktu Konsentrasi = 0,55 jam, Intensitas Curah Hujan = 148,05 mm/jam, Koefisien tampungan (C_s) = 0,60, Koefisien run off $C = 0,60$, Sehingga diperoleh debit rencana untuk saluran Jalan Aster :

$$Q = 0,00278 \times C \times C_s \times I \times A$$

$$Q = 0,00278 \times 0,60 \times 0,60 \times 148,05 \times 0,5 = 0,0737 \text{ (m}^3/\text{det)}$$

4.3 Evaluasi Saluran Drainase

Dengan debit banjir rencana (Q_{renc}) ditambahkan dengan debit limbah domestik (Q_{limb}) dan membandingkannya dengan kapasitas saluran (Q_{kap}). Jika debit banjir rencana ditambah limbah domestik lebih besar dari kapasitas saluran maka kondisi drainase tidak memenuhi.

Debit kapasitas rencana = Debit kapasitas – (Debit rencana + Debit limbah domestik)

$$Q_{kr} = Q_{kap} - (Q_{renc} + Q_{limb})$$

Saluran Jalan Aster (kiri dan kanan)

$$Q_{kr} = 0,1152 - (0,0737 + 0,00000033) = 0,0415 \text{ (m}^3/\text{det)}$$

4.4 Hasil Penilaian Evaluasi Jaringan Drainase

Penilaian kondisi total jaringan drainase yang ditinjau merupakan gabungan dari nilai indeks dan nilai bobot dari

aspek sedimentasi, kelengkapan sarana prasarana dan banjir pasang surut air laut yang menghasilkan Tingkat Kerawanan, Kondisi dan Rekomendasi Tindakan. Hasil penilaian diperlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Pemberian Nilai Indeks Jaringan Drainase

Nama Jalan	Titik	Bobot Banjir	Bobot Sedimen	Bobot Sarana & Prasarana	Nilai Indeks Kondisi	Nilai Indeks Kondisi Sedimentasi	Nilai Indeks Kondisi Sarana &	Nilai Indeks Total
Melur	Kiri	3	2	1	3	2	2	2,56
	Kanan	3	2	1	3	3	4	3,11
Tulip	Kiri	3	2	1	3	1	1	2,00
	Kanan	3	2	1	3	2	1	2,28
Aster	Kiri	3	2	1	3	1	1	2,06
	Kanan	3	2	1	3	1	2	2,11
Ginseng	Kiri	3	2	1	3	1	1	2,00
	Kanan	3	2	1	3	1	2	2,17
Jend. Sudir ujung	Kiri	3	2	1	3	5	5	4,00
	Kanan	3	2	1	4	1	4	2,56
Seroja	Kiri	3	2	1	3	2	3	2,67
	Kanan	3	2	1	3	1	1	2,00

Dari Tabel 7 menjelaskan bahwa kondisi drainase sekunder pada jalan Jendral Sudirman Ujung masuk dalam kategori mengkhawatirkan memperlihatkan bahwa nilai indeks dari kriteria sarana dan prasarana dan banjir memiliki nilai indeks terbesar yaitu 4 dengan total indeks gabungan yang paling tinggi. Sedangkan untuk saluran tersier bagian hilir berada pada saluran Lorong melur dengan nilai indeks total 3,11 maka dalam mengambil suatu kesimpulan dari evaluasi tiap saluran dapat diketahui berdasarkan tingkatan kerawanan dan tindakan yang harus dilakukan pada jaringan drainase Sei Pauh dijelaskan pada tabel berikut ini.

Tabel 8. Tingkat Kerawanan dan Tindakan pada Drainase

Nama Jalan	Nilai Indeks Total	Kondisi (%)	Tingkat Kerawanan	Kondisi	Rekomendasi Tindakan
Melur	2,56	36,11	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
	3,11	22,22	Rawan	Rusak Berat	Rehabilitasi
Tulip	2,00	50,00	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
	2,28	43,06	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
Aster	2,06	48,61	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
	2,11	47,22	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
Ginseng	2,00	50,00	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
	2,17	45,83	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
Jend Sudir Ujung	-	-	-	-	-
	2,56	36,11	Sangat Rawan	Disfungsi	Kajian Desain
Seroja	2,67	33,33	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi
	2,00	50,00	Cukup Rawan	Rusak Ringan	Rehabilitasi

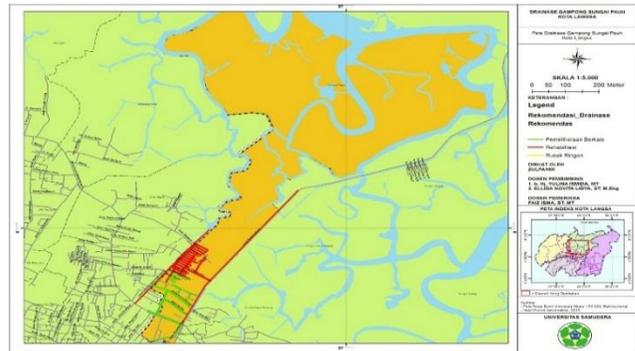
Dari Tabel 8 menjelaskan bahwa untuk tingkat kerawanan pada saluran sekunder (jalan Sudirman Ujung) pada sisi kiri mengalami kondisi sangat rawan (Disfungsi) serta rekomendasi tindakan yang harus dilakukan pada saluran adalah kajian desain. Sedangkan untuk saluran asparagus dari total 36 saluran yang berada pada jaringan drainase Sei Pauh perlu mendapatkan rekomendasi tindakan yaitu Rehabilitasi. Karena kondisi saluran ini setiap datang pasang air laut selalu mengalami genangan hingga sampai ke jalan bahkan masuk sampai ke rumah warga. Nilai bobot dan indeks berdasarkan hasil survei lapangan dan perhitungan.

Nilai Indeks Total :

Jalan Aster (Kiri)

$$\begin{aligned}
 IK_{\text{drainase}} &= ((W_{\text{bpsal}} \times IK_{\text{bpsal}}) + (W_{\text{sed}} \times IK_{\text{sed}}) + (W_{\text{PS}} \times IK_{\text{PS}})) / \sum (W_{\text{bpsal}} + W_{\text{sed}} + IK_{\text{PS}}) \\
 &= ((3 \times 3) + (2 \times 1) + (1 \times 1)) / 6 \\
 &= 12,33 / 6 \\
 &= 2,06
 \end{aligned}$$

Gambaran saluran yang perlu mendapatkan tindakan khusus diperlihatkan pada gambar peta jaringan drainase Sei Pauh berikut ini.



Gambar 4. Peta rekomendasi tindakan jaringan drainase sungai Pauh

Dari Gambar 3 menjelaskan bahwa gambaran jaringan drainase Sei Pauh yang perlu mendapatkan rekomendasi tindakan rehabilitasi berada dibagian hilir yang ditandai dengan warna merah sedangkan pada bagian tengah hingga ke hulu rekomendasi tindakan yang dihasilkan adalah perawatan rutin yang ditandai dengan warna hijau. Rincian rekomendasi jaringan drainase di Gampong Sungai Pauh diperlihatkan pada Tabel 9 berdasarkan nama saluran pada hasil evaluasi saluran, didapatkan saluran Jalan Tulip, Aster, Melati, Kenanga, Baur, Plamboyan, Sakura, Jend. Sudirman Ujung, Nusa Indah, Jalan 28, Jalan 29, Jalan 30, Damai, Badila dan Prof. A. Majid Ibrahim masih aman

untuk debit banjir rencana kala ulang 50 tahun dan debit limbah domestik, sedangkan saluran lainnya masih diperlukan perencanaan ulang karena kapasitasnya tidak memenuhi debit banjir rencana.

Tabel 9. Rekomendasi tindakan Jaringan Drainase

Nama Saluran	L (km)	Rekomendasi Tindakan	Panjang drainase (Km)
Jalan Jend. S.U	0,735	KajianDesain	1,385
Jalan Kuala Lgs	0,65	KajianDesain	
Jalan Nusa. I	0,151	Pemeliharaan Berkala	2,405
Jalan Cendana	0,074	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Suplir	0,104	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Kemuning	0,063	Pemeliharaan Berkala	
Jalan 1001	0,107	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Putroe. B	0,56	Pemeliharaan Berkala	
Jalan 27	0,1	Pemeliharaan Berkala	
Jalan 28	0,125	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Damai	0,35	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Badila	0,336	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Prof.A.M.I	0,335	Pemeliharaan Berkala	
Jalan 32	0,1	Pemeliharaan Berkala	
Jalan Melur	0,148	Rehabilitasi	
Jalan Tulip	0,147	Rehabilitasi	
Jalan Aster	0,145	Rehabilitasi	
Jalan Ginseng	0,146	Rehabilitasi	
Jalan Utama	0,66	Rehabilitasi	
Jalan Seroja	0,141	Rehabilitasi	
Jalan Melati	0,133	Rehabilitasi	
Jalan Teratai	0,143	Rehabilitasi	
Jalan Kenanga	0,149	Rehabilitasi	
Jalan Dahlia	0,146	Rehabilitasi	
Jalan Cempaka	0,15	Rehabilitasi	
Jalan Bonsai	0,156	Rehabilitasi	
Jalan Baur	0,235	Rehabilitasi	
JalanPlamboyan	0,465	Rehabilitasi	
Jalan Bougenvil	0,177	Rehabilitasi	
Jalan Sakura	0,155	Rehabilitasi	
Jalan Asparagas	0,151	Rehabilitasi	
Jalan 29	0,095	Rehabilitasi	
Jalan 30	0,255	Rehabilitasi	
Jalan Iskandar S SA	0,376	Rehabilitasi	

Dari tabel 9 diperoleh bahwa saluran drainase yang memerlukan kajian desain berkisar 1,385 km berada pada jalan jendral sudir ujung dan jalan kuala langsa dikarenakan daerah ini terletak di bagian hilir gampong sungai pauh yang paling berdampak terhadap pasang dari estuary kuala langsa, saluran yang perlu tindakan rehabilitas sepanjang 4,173 km, dan saluran yang perlu tindakan pemeliharaan rutin sepanjang 2,405 km umumnya berada pada bagian hulu dari gampong Sungai Pauh.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Drainase yang masih layak berada pada saluran Jalan Tulip, Aster, Melati, Kenanga, Baur, Plamboyan, Sakura, Jend. Sudirman Ujung, Nusa Indah, Jalan 28, Jalan 29, Jalan 30, Damai, Badila dan Prof. A. Majid Ibrahim masih aman untuk debit banjir rencana kala ulang 50 tahun dan debit limbah domestik, sedangkan saluran lainnya masih diperlukan perencanaan ulang karena kapasitasnya tidak mampu menampung debit banjir rencana.
2. saluran drainase yang memerlukan kajian desain berkisar 1,385 km berada pada jalan jendral sudir ujung dan jalan kuala langsa dikarenakan daerah ini terletak di bagian hilir gampong sungai pauh yang paling berdampak terhadap pasang dari estuary kuala langsa, saluran yang perlu tindakan rehabilitas sepanjang 4,173 km, dan saluran yang perlu tindakan pemeliharaan rutin sepanjang 2,405 km umumnya berada pada bagian hulu dari gampong sungai pauh.
3. menghasilkan peta jaringan drainase yang dapat menggambarkan kondisi dilapangan yang ditinjau dari nilai bobot dan indeks tinggi genangan pasang air laut, sedimentasi dan sarana prasarana yang menghasilkan peta administrasi gampong, saluran sekunder dan tersier serta rekomendasi tindakan pada saluran drainase.

Daftar Pustaka

- Asmadi Suria, 2012. Kajian Sistem Drainase Terhadap Banjir Akibat Curah Hujan Studi kasus: Jalan Sudirman Ujung Kota Langsa, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan
- Bambang Sujatmoko. dkk, 2015. Pembuatan Peta Indeks Resiko Banjir Pada Kawasan Drainase Kecamatan Sukajadi Kota Pekanbaru, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.
- BPS Langsa, 2016. Kecamatan Langsa Barat dalam angka. Badan Pusat Statistik. Kota Langsa
- Bumi Pertiwi, 2011. Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Bentang Lahan Berbasis Sumber Daya Alam, Yogyakarta
- Dirjen SDA Kementrian Pekerjaan Umum, 2011. Surat Edaran Menteri PU No. 02/SE/M/2011 Tentang Pedoman Penilaian Kinerja Jaringan Reklamasi Rawa, Jakarta

-
- Edy Irwansyah, 2013. Sistem Informasi Geografis: Prinsip Dasar Dan Pengembangan Aplikasi, Penerbit *Digi Books*, Yogyakarta
- Isma.F, 2014. Analisa Potensi Erosi Pada DAS Deli Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Ferry Agrianto, 2016. Evaluasi Jaringan Drainase Perkotaan Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Di Kota Sumenep, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Halim Hasmar, 2011. Drainase Terapan, UII Press, Yogyakarta
- I Made Kamiana, 2011. Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air, Edisi Pertama, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Jayanti. H, 2016. Analisis Komponen Pasang Surut Untuk Menentukan Elevasi Dermaga Pelabuhan Kuala Tanjung, Tugas Akhir, Bidang Studi Teknik Sumber Daya Air, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Pariwono, J. I. 1989. Gaya Penggerak Pasang Surut. Dalam Pasang Surut. Ed. Ongkosongo, O.S.R dan Suyarso. P3O-LIPI. Jakarta.
- Wicaksono, 2015. Evaluasi Dan Perencanaan Ulang Saluran Drainase Pada Kawasan Perumahan Sawojajar Kecamatan Kedungkandang Kota Malang, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
- Wyrcki, K. 1961. Physical Oceanography of the South East Asian Waters. NagaReport Vol. 2 Scripps, Institute Oceanography, California.