

ANALISIS KAPASITAS SALURAN DRAINASE PADA SALURAN PRIMER MEDOKAN-SEMAMPIR SURABAYA

Wiyono¹⁾, Evy Harmani²⁾

¹⁾ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo
Jl. Semolowaru 84 Surabaya, 60118
Email: wiyono@gmail.com

²⁾ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo
Jl. Semolowaru 84 Surabaya, 60118
Email: evy_harmani@unitomo.ac.id

Abstract

The high population growth of Surabaya City resulted in a lot of land being used as residence or residential location for the community resulting in land use change. Rice fields have been transformed into settlements that resulted in the land for water absorption decreases and the coefficient of drainage becomes larger. Medokan area Semampir is an area affected by the change. Based on these problems, a drainage capacity analysis study was conducted at Medokan-Semampir Surabaya. In this analysis study is intended to determine whether the drainage channel Medokan-Semampir Surabaya can still accommodate the flow of rain water that occurs after the change of land use resulting drain coefficient increasingly enlarged. Using rainfall periods 1.2, 2, 5 and 10 yearly and by reviewing each flow segment to determine the coefficient of flow, the results obtained in rain with a 1.2 year repeat period in segment 3, segment 8, segment 9 and segment 10 have overflow. And with 2, 5 and 10 year rains returning to segment 3, segment 4, segment 8, segment 9 and segment 10 are overflowing. The overflow channel can be widened or deepen the channel to increase channel capacity and the channel can function as it should

Keywords: flow, drainage, coefficient, segment

Abstrak

Pertumbuhan penduduk Kota Surabaya yang tinggi mengakibatkan banyak lahan dijadikan tempat tinggal atau lokasi pemukiman bagi masyarakat sehingga terjadi perubahan tata guna lahan. Lahan persawahan telah berubah menjadi pemukiman sehingga mengakibatkan lahan untuk resapan air semakin mengecil dan koefisien pengaliran semakin membesar. Daerah Medokan Semampir adalah satu kawasan yang terkena dampak dari perubahan tersebut. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dilakukanlah studi analisis kapasitas saluran drainase di Medokan-Semampir Surabaya. Pada studi analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah saluran drainase Medokan-Semampir Surabaya masih bisa menampung debit air hujan yang terjadi setelah terjadi perubahan tata guna lahan yang berakibat koefisien pengaliran semakin membesar. Dengan menggunakan periode ulang hujan 1.2, 2, 5 dan 10 tahunan dan dengan cara meninjau disetiap segmen aliran untuk mengetahui koefisien pengalirannya maka didapatkan hasil pada hujan dengan periode ulang 1,2 tahun pada segmen 3, segmen 8, segmen 9 dan segmen 10 mengalami luapan. Dan dengan hujan periode ulang 2, 5 dan 10 tahun pada segmen 3, segmen 4, segmen 8, segmen 9 dan segmen 10 mengalami luapan. Saluran yang mengalami luapan tersebut bisa dilakukan pelebaran saluran atau memperdalam saluran agar kapasitas saluran bertambah dan saluran bisa berfungsi sebagai mana mestinya

Kata Kunci: debit, drainase, koefisien aliran, segmen

PENDAHULUAN

Kota Surabaya sebagai ibu kota Provinsi Jawa Timur merupakan kota terbesar kedua di Indonesia. dengan perkembangan penduduk yang semakin meningkat setiap tahunnya, pasti memerlukan banyak lahan untuk dijadikan tempat tinggal atau lokasi pemukiman bagi masyarakat, yang mana hal ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan tata guna lahan yang harusnya persawahan berubah menjadi lahan pemukiman, sehingga mengakibatkan lahan untuk resapan air akan semakin mengecil, dan sebaliknya koefisien pengaliran semakin membesar. Apabila limpasan air tersebut tertahan dan tidak dapat mengalir dengan lancar, maka dapat menimbulkan genangan di daerah tersebut.

Kota Surabaya sudah memiliki sistem drainase yang cukup baik, sistem drainase di Surabaya terbagi dalam 5 (lima) Rayon yaitu, Rayon Genteng, Rayon Gubeng, Rayon Jambangan, Rayon Wiyung dan Rayon Tandes, Masing-masing Rayon memiliki Sub-Sub Pematuan sebagai berikut:

1. Rayon Genteng meliputi: Sub PA Darmokali, Ciliwung, PA Dinoyo, PA Keputeran, Gubeng Kayon Grahadi, PA Kenari Embong Malang, PA Flores, Peneleh, Kali Mas, Pelabuhan Barat, Pelabuhan Timur dan Greges
2. Rayon Gubeng meliputi: Pegirian, Tambakwedi, Jeblok Hulu, Jeblok Hilir, Kali Kedinding, Lebak Indah, Kenjeran, Pantai Kenjeran, Kali Kepiting, Kalidami, Kali Bokor Hulu, Kali Bokor Hilir, Daratan Pantai Timur, Oloran Utara Kalidami dan Oloran Selatan Kalidami.
3. Rayon Jambangan meliputi: Kali Mir Hulu, Kali Mir Hilir, PDAM Ngagel, Kali Sumo, Medokan-Semampir, Tambak Keputih, Kali Wonorejo, Kali Rungkut, Kali Kebonagung, Kali Perbatasan dan Dataran Pantai Selatan.
4. Rayon Wiyung meliputi: Kali Kedurus dan Karang Pilang.
5. Rayon Tandes meliputi: Gunung Sari dan Dataran Rendah Barat.

Seiring dengan berubahnya tata guna lahan Kota Surabaya dari persawahan menjadi pemukiman, maka perlu dilakukan studi analisis terkait saluran drainase apakah saluran drainase di Kota Surabaya masih mampu untuk menampung debit air yang ada pada saat ini. Penelitian ini dibatasi pada kawasan Medokan Semampir Surabaya yang saat ini merupakan kawasan yang berubah dari lahan persawahan menjadi kawasan pemukiman. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kapasitas saluran drainase di Medokan-Semampir sebagai Sub Pematuan Rayon Jambangan Kota Surabaya masih bisa menampung debit yang ada pada saat ini atau tidak. Penelitian ini diharapkan bisa menentukan langkah selanjutnya supaya saluran dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

TINJAUAN PUSTAKA
Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah diperlukan untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah pengaliran di saluran drainase Medokan-Semampir, analisis hidrologi digunakan untuk menentukan debit rencana atau debit hidrologi pada daerah pengaliran di saluran drainase Medokan-Semampir.

Pengolahan Data Hujan

Ada beberapa metode pengolahan data hujan, antara lain:

- a. Metode Arithmetic Mean
- b. Metode Poligon Thiessen
- c. Metode Isohyet

Namun pada studi literature kali ini hanya menggunakan satu metode saja, yaitu “Metode Arithmetic Mean”. Karena metode ini sangat cocok untuk digunakan pada kawasan dengan topografi rata atau datar, dengan stasiun penakar hujan tersebar merata/hampir merata, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya, dengan luasan wilayah kurang dari 500 km². Cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n R_i \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- R = Tinggi hujan rata-rata (mm)
- R_t = Hujan Harian maksimum (mm)
- N = Jumlah data

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi hujan adalah kemungkinan terjadi atau dilampauinya suatu tinggi hujan tertentu dalam masa tertentu pula, yang juga disebut sebagai masa ulang atau periode ulang (return periode). Hujan dengan tinggi tertentu disamai atau dilampaui 5 kali dalam pengamatan data dalam 50 tahun, ini berarti tinggi hujan tersebut rata-rata mempunyai frekwensi atau periode ulang sekali

dalam 10 tahun. Bukan berarti setiap 10 tahun sekali (interval 10 tahun) akan terjadi tinggi hujan yang sama atau dilampaui, tetapi dalam 50 tahun terjadi 5 kali peristiwa disamai atau dilampaui, frekuensi hujan ini dapat berupa harga-harga tinggi hujan maksimum atau tinggi hujan minimum.

Tinggi hujan maksimum dan minimum ini dapat didekati dengan analisa statistik dari data pengamatan yang terkumpul, untuk memperoleh probabilitas yang dipakai maka harus melakukan analisa frekuensi dan probabilitas, yang mana analisa frekuensi distribusi harus memenuhi persyaratan yang sudah ditetapkan, dalam bidang ilmu hidrologi ada empat jenis analisa frekuensi distribusi yang digunakan yaitu:

- 1. Distribusi Normal,
- 2. Distribusi Log Normal,
- 3. Distribusi Log Person III, dan
- 4. Distribusi Gumbel.

Untuk persyaratan penentuan analisa disribusi adalah sebagai berikut:

- 1. Distribusi Normal dengan Syarat, Cs = 0, Ck = 3 atau Cs = 0, Ck = 3
- 2. Distribusi Log Normal dengan syarat, Cs = 3, Cv = 0,6 atau Cs > 0, Ck > 3
- 3. Distribusi Log Person III dengan Syarat Cs < 0, Cv = 0,3 atau Cs antara 0 s/d 0,9
- 4. Distribusi Gumbel denga syarat Cs < 1,1396, Ck < 5,4002 atau Cs= 1,139, Ck = 5,402

Uji Kecocokan

Diperlukan penguji parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fittest*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian para meter yang sering dipakai adalah Chi-Kuadrat & Smirnov Kolmogorov.

1. Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X², yang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- Xh² = Parameter Chi-Kuadrat terhitung
- G = Jumlah sub kelompok
- O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i
- E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Parameter Xh² merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai Xh² sama atau lebih besar dari nilai Chi-Kuadrat sebenarnya (X²) dapat dilihat dari tabel 1.

Tabel 1. Nilai kritis untuk uji Chi-Kuadrat

dk	α Derajat Kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000393	0,00157	0,00982	0,00393	3,841	5,023	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,1030	5,9910	7,3780	9,2100	10,5970
3	0,0717	0,1150	0,2160	0,3520	7,8150	9,3480	11,3450	12,8380
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,420	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,013	17,535	20,09	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	15,902	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,257	3,940	16,919	20,483	22,790	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	17,909	21,920	24,154	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	18,907	23,337	25,521	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	19,912	24,736	27,004	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	20,902	26,119	28,541	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	21,901	27,488	30,079	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	22,901	28,845	31,526	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,390	23,901	30,191	33,000	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	24,901	31,526	34,405	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	25,901	32,852	35,839	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	26,901	34,170	37,292	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	27,901	35,479	38,766	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	28,901	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	29,901	38,076	41,782	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	30,901	39,364	43,264	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	31,901	40,646	44,746	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	32,901	41,926	46,228	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	33,901	43,194	47,710	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	34,901	44,461	49,192	50,993
29	13,121	14,253	16,047	17,708	35,901	45,722	50,674	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	36,901	46,979	52,156	53,672

Sumber : Aplikasi statistik untuk analisa data, 2003

Prosedur uji Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

- Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya)
- Kelompokkan data menjadi G sub-grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan.
- Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup,
- Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
- Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial)

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut:

- Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan maka tidak dapat diterima.
- Apabila peluang berada diantara 1 – 5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan.

2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametik. Karena pengujiannya

tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut
 $X_1 = P(X_1)$
 $X_2 = P(X_2)$
 $X_3 = P(X_3)$, dan seterusnya
- Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya)
 $X_1 = P'(X_1)$
 $X_2 = P'(X_2)$
 $X_3 = P'(X_3)$, dan seterusnya
- Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
 $D = \text{maksimum}(P(X_n) - P'(X_n))$

Kesimpulan Analisa Frekuensi

Kesimpulan analisa frekuensi yang diperoleh dari uji kecocokan Distribusi digunakan untuk menentukan distribusi yang dipakai.

Run-off Coefficient (koefisien pengaliran /C)

Koefisien pengaliran adalah perbandingan besarnya aliran permukaan (bagian hujan yang membentuk limpasan) dengan hujan total. Hujan yang jatuh diatas permukaan tanah, sebelum melimpas atau mengalir diatas permukaan tanah akan mengalami hal-hal sebagai berikut.

- Intersepsi
Air hujan membasahi segala sesuatu yang ada diatas permukaan tanah, seperti tanaman-tanaman, bangunan-bangunan.
- Infiltrasi
Merembesnya air dari permukaan tanah kedalam tanah yang lamanya sangat tergantung dari jenis dan kondisi tanah.
- Retensi
Air hujan mengisi celah-celah dan retakan-retakan serta cekungan yang ada diatas tanah.

Peristiwa intersepsi, infiltrasi dan retensi merupakan suatu peristiwa “kehilangan air” ditambah dengan evapotranspirasi atau penguapan-penguapan. Limpasan permukaan sama dengan hujan total – kehilangan air → $Q = Q_1 - Q_2$

Koefisien pengaliran tidak bervariasi dengan lamanya hujan, tetapi dipengaruhi oleh jenis tanah, kemiringan permukaan tanah, tata guna tanah dan intensitas hujan.

Beberapa contoh koefisien pengaliran:

- Daerah perdagangan $C = 0.90$
- Pemukiman sedang $C = 0.65$
- Pemukiman padat $C = 0.75$
- Pemukiman sangat padat $C = 0.85$
- Pertamanan $C = 0.30$

Time Of Concentration (tc)

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air yang melimpah diatas permukaan tanah dari titik terjauh pada suatu daerah pengaliran sampai ketitik kontrol yang ditentukan dibagian hilir

$$tc = to + tf \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

to = overland flow time (inlete time), adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir diatas permukaan tanah, dari titik terjauh pada suatu daerah pengaliran (catchment area) sampai ke sistem saluran yang ditinjau

tf = channel floe time, adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir disepanjang saluran sampai ketitik kontrol di bagian hilir yang ditinjau.

Overland Flow Time (to)

Intlet time atau overland flow time dipengaruhi oleh intensitas hujan, jarak aliran, kemiringan tanah dan kapasitas infiltrasi.

Kirpich Formula $\rightarrow t_o = 0,0195 \left(\frac{L_o}{\sqrt{I_o}}\right)^{0,77}$ menit.... (4)

Kerby Formula $\rightarrow t_o = 1,44 \left(\frac{L_o}{\sqrt{I_o}}\right)^{0,467}$ menit . (5)

Dimana:

Lo = Jarak titik terjauh lahan terhadap sistem saluran yang ditinjau.

Io = Kemiringan rata-rata permukaan tanah kearah saluran yang ditinjau.

n = Koefisien kekasaran permukaan tanah menurut Kerby (misal: tanah licin, n = 0,02. Tanah berumput, n = 0,040, dst)

Channel Flow Time (tf)

Channel flow time dipengaruhi oleh kecepatan aliran dalam saluran, kemiringan dasar saluran dan panjang saluran.

$$t_f = \frac{L}{v} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

L = Panjang saluran (m).

V = Kecepatan aliran pada saluran (m/det)

Kecepatan aliran rata-rata dalam saluran buatan yang mempunyai dimensi tertentu, dihitung berdasarkan kekasaran bahan saluran, dan kemiringan dasar salurannya (rumus manning). Sedangkan untuk saluran alam (sungai), dimana kondisi, bentuk penampang dan dimensinya yang tidak beraturan, perhitungan kecepatan aliran rata-rata ditentukan secara empiris berdasarkan kemiringan ratarata dasar saluran alam atau sungai tersebut.

Intensitas Hujan

Hujan dengan intensitas besar umumnya terjadi dalam waktu yang pendek.Hubungan intensitas dan waktu hujan

banyak dirumuskan yang pada umumnya tergantung dari parameter kondisi setempat.

Besarnya intensitas curah hujan itu berbeda-bada dan disebabkan oleh waktu curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Beberapa rumus intensitas hujan yang berhubungan dengan hal ini disusun sebagai rumus-rumus empiris.

Debit Maksimum Rencana

Tujuan perhitungan dalam perencanaan suatu bangunan air seperti saluran pematuan, gorong-gorong bangunan siphon, normalisasi sungai, bendung-bendung di sungai, saluran pengelak dalam pembuatan waduk, dan lain sebagainya diperlukan suatu rencana debit untuk dapat mendimensi bangunan tersebut. Debit ini biasanya merupakan debit maksimum dari suatu banjir rencana didalam daerah aliran. Dengan tidak memperhatikan besarnya rambatan banjir dalam suatu titik pengamatan, maka tulisan ini hanya di tekankan pada cara menghitung debit maksimum yang bisa terjadi akibat suatu hujan pada daerah aliran. Dan pada penelitian kali ini menggunakan metode rational.

Tabel 2. Koefisien Limpasan untuk Metode Rasiona l

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Business	
Perkotaan	0,70 - 0,95
Pinggiran	0,50 - 0,70
Perumahan	
Rumah tunggal	0,30 - 0,50
Multiunit, terpisah	0,40 - 0,60
Multiunit, tergabung	0,60 - 0,75
Perkampungan	0,25 - 0,40
Apartemen	0,50 - 0,70
Industri	
Ringan	0,50 - 0,80
Berat	0,60 - 0,90
Perkerasan	
Aspal dan beton	0,70 - 0,95
Batu bata, paving	0,50 - 0,70
Atap	0,75 - 0,95
Halaman, tanah berpasir	
Datar 2%	0,05 - 0,10
Rata-rata, 2-7%	0,10 - 0,15
Curam, 7%	0,15 - 0,20
Halaman, tanah berat	
Datar 2%	0,13 - 0,17
Rata-rata, 2-7%	0,18 - 0,22
Curam, 7%	0,25 - 0,35
Halaman kereta api	0,10 - 0,35
Taman tempat bermain	0,20 - 0,35
Taman, perkebunan	0,10 - 0,25
Hutan	
Datar, 0-5%	0,10 - 0,40
Bergelombang, 5 - 10%	0,25 - 0,50
Berbukit, 10 - 30%	0,30 - 0,60

Sumber: McGuen, 1989

Analisis Hidrolika

Aliran dalam saluran terbuka yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (free surface flow) atau aliran saluran terbuka (open channel flow).

Aliran tetap (steady flow)

Aliran yang parameter-parameter alirannya tidak berubah terhadap waktu. Parameter aliran berupa kecepatan aliran, tekanan, temperatur, dan lain-lain

$$\frac{dv}{dt} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

Dengan anggapan kecepatan terhadap waktu sama dengan nol, yaitu tidak memiliki percepatan, maka di semua aliran pada saluran dianggap memiliki aliran yang tetap atau sama. Untuk perhitungan kecepatan aliran menggunakan rumus Strickler.

$$v = k_{s,x} R^{2/3} x I^{1/2} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- R = jari-jari hidrolis (m)
- v = kecepatan aliran (m/dt)
- k = koefisien kekasaran
- I = kemiringan dasar saluran (rencana)

Perhitungan Kapasitas Saluran Drainase

Untuk saluran dengan bentuk penampang trapesium maka rumus yang dipergunakan adalah:

- Luas (penampang basah saluran) **A = (b + m.y).y**
- Keliling **P = b + 2y √m² + 1**
- Jari-jari **R = A/P**
- Lebar atas muka air **a = b + 2 m.y**

Dimana:

- b = lebar dasar saluran (m)
- y = tinggi muka air (m)
- m = miring tinggi saluran

Dalam perhitungan debit aliran rumus umum yang dipakai:

$$Q = AxV \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

- Q = Debit aliran (m3/det)
- A = Luas basah penampang saluran (m2)
- V = kecepatan aliran m/det

Untuk kecepatan aliran rata-rata secara teoritis kecepatan aliran pada saluran dapat ditetapkan sebagai berikut:

1. Rumus Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots(10)$$

2. Rumus Strickler

$$V = K_s \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots(11)$$

3. Rumus Chezy

$$V = C \sqrt{RI} \dots\dots\dots(12)$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana:

- N = koefisien kekasaran dinding & dan dasar saluran menurut Manning
- k, c = koefisien kekasaran dinding & dasar saluran Strickler, Chezy
- R = jari-jari hidrolis = A/P (m)
- A = Luas basah penampang saluran (m2)
- P = keliling basah penampang saluran (m)
- I = kemiringan dasar saluran

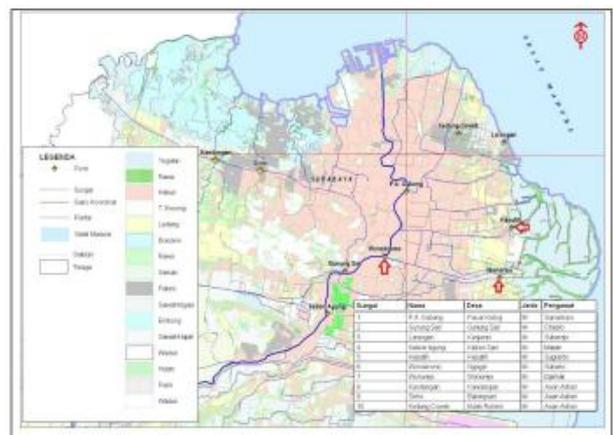
Kecepatan aliran rata-rata (V) untuk perencanaan saluran drainase, harus memenuhi batas-batas nilai tertentu, yakni diantara batas kecepatan aliran maksimum dan minimum, disesuaikan dengan bahan saluran (nilai c, n, atau k) dan angkutan sedimennya bila kecepatan aliran dibawah batas kecepatan minimum, maka pada saluran akan terjadi pengendapan dan pendangkalan oleh sedimen, tumbuhnya tanaman-tanaman pengganggu (rumput liar) di dasar saluran, sehingga mengganggu fungsi saluran. Sebaliknya bila kecepatan aliran diatas batas maksimum, akan terjadi erosi (penggerusan) pada dinding dan dasar saluran, terutama bila saluran direncanakan tidak tahan erosi (tanpa perkuatan dinding saluran).

HASIL DAN PEMBAHASAN

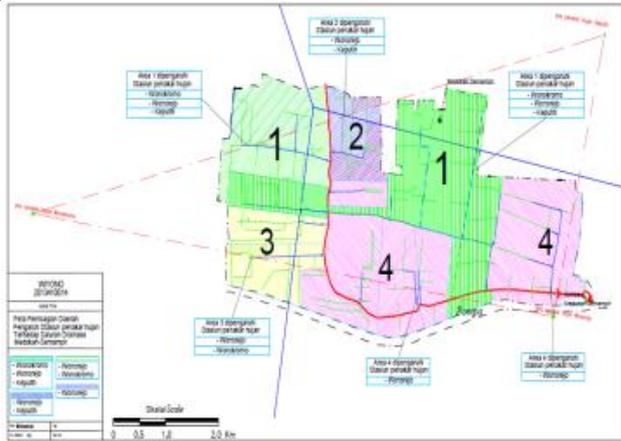
Analisis Hidrologi

Pengolahan Data Hujan

Ada 3 Stasiun hujan yang berpengaruh dalam perhitungan hidrologi pada saluran drainase Medokan-Semampir Surabaya, yaitu stasiun hujan Wonokromo, stasiun hujan Wonorejo, dan stasiun hujan Keputih seperti pada gambar 1. Dari stasiun hujan tersebut diperoleh data hujan dari tahun 1990-2016, sedangkan untuk stasiun hujan Wonokromo hanya diperoleh data hujan dari tahun 2000-2016, karena dibangun pada tahun 1999 dan baru beroperasi pada tahun 2000. Selanjutnya untuk perhitungan data hujan dilakukan dengan cara mengetahui daerah pengaruh terhadap stasiun penakar hujan terlebih dahulu dengan menggunakan cara sebagaimana pada metode Thiessen polygon.



Gambar 1. Peta Stasiun Penakar Hujan Kota Surabaya
Sumber: PU Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya, 2017



Gambar 2. Peta pembagian daerah pengaruh terhadap stasiun penakar hujan

Sumber: PU Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya, 2017

Penjelasan untuk gambar 2 diatas adalah sebagai berikut:

- Untuk daerah dengan arsiran warna hijau dipengaruhi oleh tiga stasiun penakar hujan yaitu, stasiun penakar hujan Wonokromo, stasiun penakar hujan Wonorejo dan stasiun penakar hujan Keputih yang selanjutnya daerah tersebut disebut sebagai Area 1. Untuk area 1 terdapat saluran nomor 2 dan nomor 9.
- Untuk daerah dengan arsiran warna biru dipengaruhi oleh dua stasiun penakar hujan yaitu, stasiun penakar hujan Wonorejo dan stasiun penakar hujan Keputih yang selanjutnya daerah tersebut disebut sebagai Area 2. Untuk area 2 terdapat saluran nomor 2.
- Untuk daerah dengan arsiran warna kuning dipengaruhi oleh dua stasiun penakar hujan yaitu, stasiun penakar hujan Wonokromo dan stasiun penakar hujan Wonorejo yang selanjutnya daerah tersebut disebut sebagai Area 3. Untuk area 3 terdapat saluran nomor 4 dan nomor 5.
- Untuk daerah dengan arsiran warna merah muda dipengaruhi oleh satu stasiun penakar hujan yaitu stasiun penakar hujan Wonorejo, yang selanjutnya daerah tersebut disebut sebagai Area 4. Untuk area 4 terdapat saluran nomor 3, nomor 6, nomor 7, nomor 8 dan nomor 9).

Perhitungan Data Hujan

Pada area 1 dipengaruhi oleh tiga stasiun penakar hujan yaitu, stasiun penakar hujan Wonokromo, stasiun penakar hujan Wonorejo dan stasiun penakar hujan Keputih yang didalamnya terdapat saluran nomor 2 dan nomor 9.

Dari data hujan yang sudah di dapatkan selanjutnya mencari curah hujan maksimum, untuk area 1 karena dipengaruhi oleh tiga stasiun, maka curah hujan maksimum didapatkan dari penjumlahan curah hujan yang terjadi diketiga staisun pada waktu yang bersamaan (tanggal, bulan dan tahun yang sama), pada tabel 3. adalah contoh perhitungan curah hujan maksimum pada area 1 dengan menggunakan data pada tahun 2000

Tabel 3 Data Curah Hujan Maksimum Tahun 2000 Area 1

TAHUN	Hujan Max/Hari (mm)	Tgl-Bln
2000	208	07-Jan
	192	25-Feb
	210	23-Mar
	127	26-Apr
	162	01-Mei
	40	03-Jun
	11	17-Jul
	0	agust
	0	sep
	122	30-Okt
	144	06-Nov
	220	18-Des

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017

Pada area 1 ditahun 2000 hujan maksimum yang terjadi adalah 220 mm jatuh pada tanggal 18-Desember-2000. Untuk perhitungan curah hujan maksimum pada tahun-tahun selanjutnya menggunakan cara yang sama. Untuk curah hujan maksimum selengkapnya pada area 1 akan ditampilkan pada tabel 4

Tabel 4. Curah Hujan Maksimum Area 1 yang Dipengaruhi Stasiun Hujan Wonokromo, Wonorejo, dan Keputih

NO	TGL/BLN/THN	MAX CH/HR (mm)
1	18 Desember 2000	220
2	02 Maret 2001	324
3	30 Januari 2002	351
4	30 Januari 2003	192,2
5	07 Januari 2004	210
6	15 Desember 2005	268
7	04 Januari 2006	393
8	26 Desember 2007	193
9	28 November 2008	189
10	09 Januari 2009	322
11	03 Desember 2010	298
12	09 November 2011	255
13	01 Januari 2012	253
14	23 April 2013	252
15	19 Desember 2014	311
16	12 Februari 2015	239
17	30 Mei 2016	392

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017

Hujan Rata-rata Daerah Aliran Area 1

Data hujan yang tercatat di setiap stasiun penakar hujan adalah tinggi hujan disekitar stasiun tersebut atau disebut sebagai Point Rainfall. Karena stasiun penakar hujan tersebar didaerah aliran maka akan banyak data tinggi hujan yang diperoleh yang besarnya tidak sama.

Daerah Saluran drainase Medokan-Semampir (Sistem Peutusan Rayon Jambangan) dapat dikategorikan daerah datar dengan luas <500km², menurut Dr. Ir. Suripin, M. Eng. untuk daerah yang datar dan dengan anggapan bahwa sifat curah hujannya uniform maka untuk menghitung hujan rata-rata daerah aliran dapat dipakai metode *Arithmetic Mean*.

Contoh perhitungan hujan rata-rata dengan menggunakan metode *arithmetic mean* adalah sebagai berikut:

Curah hujan harian maksimum pada tahun 2000:

- Stasiun Wonokromo R1 = 70 mm
- Stasiun Wonorejo R2 = 70 mm
- Stasiun Keputih R3 = 80 mm

Maka selanjutnya dihitung hujan rata-rata pada tahun yang ditinjau dengan rumus Rata-rata Aritmatik:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n R_i = \frac{70 + 70 + 80}{3} = 73,333 \text{ mm}$$

Jadi hujan rata-rata yang terjadi adalah 73,333 mm. Untuk perhitungan selengkapnya akan di sajikan pada tabel 5.

Tabel 5 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata Area 1

No	Tgl/Bln/Thn	Stasiun Hujan Curah Hujan (mm)			R Rata-rata (mm)
		Wonokromo	Wonorejo	Keputih	
1	18 Desember 2000	70	70	80	73,333
2	02 Maret 2001	42	200	82	108
3	30 Januari 2002	113	115	123	117
4	30 Januari 2003	71,2	19	102	64,067
5	07 Januari 2004	78	71	52	67
6	15 Desember 2005	68	90	110	89,333
7	04 Januari 2006	100	153	140	131
8	26 Desember 2007	59	71	63	64,333
9	28 November 2008	5	0	60	21,667
10	09 Januari 2009	104	98	120	107,333
11	03 Desember 2010	110	98	90	99,333
12	09 November 2011	98	79	78	85
13	01 Januari 2012	106	75	72	84,333
14	23 April 2013	87	85	80	84
15	19 Desember 2014	83	94	134	103,667
16	12 Februari 2015	46	109	84	79,667
17	30 Mei 2016	108	120	164	130,667

Sumber: UPT PSAWS. Buntung Paketngan Surabaya, 2015

Pemilihan Hujan Rencana Area 1

Curah hujan rencana adalah curah hujan terbesar tahunan yang terjadi pada periode ulang tertentu dalam suatu daerah. Pemilihan metode perhitungan hujan rencana ditetapkan berdasarkan parameter dasar statistiknya. Metode yang dipakai adalah metode yang parameter dasar statistiknya memenuhi syarat distribusi, syarat seperti yang di tampilkan pada tabel 6.

Tabel 6. Kriteria Pemilihan Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat
1. Distribusi Normal	Cs = 0, Ck = 3 atau Cs = 0, Ck = 3
2. Distribusi Log Normal	Cs = 3, Cv = 0,6 atau Cs > 0, Ck > 3
3. Distribusi Gumbel	Cs < 1,1396, Ck < 5,4002 atau Cs = 1,139, Ck = 5,402
4. Distribusi Log Pearson III	Cs < 0, Cv = 0,3 atau Cs antara 0 s/d 0,9

Sumber www.eprints.undip.ac.id/34176/7/1666_chapter_III.pdf

Perhitungan Parameter Dasar Statistik

Untuk menyelidiki susunan data kuantitatif dari sebuah variabel hidrologi, maka akan sangat membantu apabila data tersebut didefinisikan dalam ukuran numerik yang menjadi ciri data tersebut. Sembarang nilai yang menjelaskan ciri susunan data tersebut disebut dengan parameter. Parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari sebuah variabel disebut dengan parameter statistik. Berikut ini adalah perhitungan statistik data hujan yang akan di sajikan dalam tabel 6

Tabel .7 Perhitungan Statistik Data Hujan Area 1 yang Dipengaruhi Stasiun Hujan Wonokromo, Wonorejo dan Keputih

No	R (mm)	Rr	(R-Rr)	(R-Rr) ²	(R-Rr) ³	(R-Rr) ⁴
1	21,667	88,81	-67,141	4507,938	-302668,232	20321501,206
2	64,067	88,81	-24,741	612,126	-15144,713	374698,011
3	64,333	88,81	-24,475	599,002	-14660,271	358802,953
4	67,000	88,81	-21,808	475,582	-10371,418	226178,260
5	73,333	88,81	-15,475	239,460	-3705,533	57341,309
6	79,667	88,81	-9,141	83,561	-763,847	6982,459
7	84,000	88,81	-4,808	23,115	-111,135	534,320
8	84,333	88,81	-4,475	20,021	-89,585	400,850
9	85,000	88,81	-3,808	14,500	-55,212	210,240
10	89,333	88,81	0,525	0,276	0,145	0,076
11	99,333	88,81	10,525	110,786	1166,076	12273,525
12	103,667	88,81	14,859	220,785	3280,600	48745,856
13	107,333	88,81	18,525	343,194	6357,833	117781,975
14	108	88,81	19,192	368,339	7069,218	135673,534
15	117	88,81	28,192	794,798	22407,062	631703,398
16	130,667	88,81	41,859	1752,161	73343,403	3070068,546
17	131	88,81	42,192	1780,178	75109,554	3169034,070
Jumlah	1509,73	1509,73	0,00	11945,82	-158836,06	28531930,59
Jumlah Data, n =						17
R rata-rata, Rr =						88,81
Standar deviasi, Sd =						27,32
Koefisien Skewnes, Cs =						-0,6
Koefisien Variasi, Cv =						0,3
Koefisien Kurtosis = Ck						7,1

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017

Dari tabel.7 perhitungan statistik data hujan dan telah memenuhi syarat pada tabel .6, maka perhitungan analisis distribusi hujan area 1 menggunakan Analisis Distribusi Log-Person type II.

Uji Kecocokan

Distribusi frekuensi yang telah dipilih diatas harus diuji terlebih dahulu untuk menentukan kecocokan (the goodness of fit test) distribusi frekuensi, dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/mewakili distribusi frekuensi tersebut. Jenis pengujian distribusi frekuensi tersebut adalah uji parameter. Pengujian parameter yang dipakai adalah:

- (1) Chi – kuadrat (Chi – Square) dan
- (2) Smirnov-Kolmogorov (Soewarno, 1995).

Jika pada pengujian fungsi distribusi probabilitas yang dipilih memenuhi ketentuan persyaratan kedua uji tersebut, maka distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima. Sebagaimana hasil pada tabel 8 dan 9.

Dari tabel 8 diperoleh nilai Chi – Kuadrat hitung adalah Xh² = 0,647. Derajat kepercayaan (α) = 5 %

Tabel 8 Perhitungan Uji-Chi Kuadrat

No	Nilai Batas Sub grup	Jumlah		Oi - Ei	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
		O _i	E _i		
1	R < 70,506	4	4,25	-0,25	0,015
2	70,506 - 88,81	5	4,25	0,75	0,132
3	88,81 - 107,114	3	4,25	-1,25	0,368
4	>107,114	5	4,25	0,75	0,132
Jumlah		17			0,647

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017

Diambil 5 %, artinya bahwa kemungkinan dari data distribusi yang digunakan dapat diterima. Derajat Kebebasan (dk)

$$= G - R - 1$$

$$= 4 - 2 - 1 = 1$$

Keterangan:

G = Jumlah group

R = diambil 2 untuk distribusi normal dan binomial

Dari perhitungan diatas yaitu $dk = 1$ dan $\alpha = 5 \%$, berdasarkan Tabel 8 didapatkan harga nilai kritis untuk distribusi Chi-Kuadrat $X_{kr 2} = 3,841$.

Uji Smirnov Kolmogorov

Uji distribusi yang kedua adalah uji Smirnov-Kolmogorov. Perhitungan Uji Smirnov - Kolmogorov distribusi Log Pearson Type III dapat dilihat pada tabel 9. Keterangan tabel .9. Data kolom 4 = nilai 1 - nilai kolom 3

Tabel 9 Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov

R	m	$P(R) = \frac{m}{n+1}$	$P(R <) = \frac{m-1}{n}$	$f(t) = \frac{R - R_r}{S_d}$	P(R)	$P(R <) = \frac{m-1}{n}$	D	
131,00	1	0,0556	0,9444	1,54	0,0618	0,9382	-0,0062	
130,67	2	0,1111	0,8889	1,53	0,063	0,937	0,0481	
117,00	3	0,1667	0,8333	1,03	0,1565	0,8435	0,0102	
108,00	4	0,2222	0,7778	0,70	0,242	0,758	-0,0198	
107,33	5	0,2778	0,7222	0,68	0,2483	0,7517	0,0295	
103,67	6	0,3333	0,6667	0,54	0,2946	0,7054	0,0387	
99,33	7	0,3889	0,6111	0,39	0,3483	0,6517	0,0406	
89,33	8	0,4444	0,5556	0,02	0,492	0,508	-0,0476	
85,00	9	0,5000	0,5000	-0,14	0,557	0,443	-0,0570	
84,33	10	0,5556	0,4444	-0,16	0,5636	0,4364	-0,0080	
84,00	11	0,6111	0,3889	-0,18	0,5714	0,4286	0,0397	
79,67	12	0,6667	0,3333	-0,33	0,6293	0,3707	0,0374	
73,33	13	0,7222	0,2778	-0,57	0,7157	0,2843	0,0065	
67,00	14	0,7778	0,2222	-0,80	0,7881	0,2119	-0,0103	
64,33	15	0,8333	0,1667	-0,90	0,8159	0,1841	0,0174	
64,07	16	0,8889	0,1111	-0,91	0,8186	0,1814	0,0703	
21,67	17	0,9444	0,0556	-2,46	0,9931	0,0069	-0,0487	
							D max =	0,0703

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017

Perhitungan uji Smirnov-Kolmogorov mendapatkan $D_{max} = 0,0703$ $D_{max} = 0,0703 < D_o = 0,356$; artinya persamaan distribusi Log-Pearson Type III dinyatakan cocok untuk digunakan sebagai metode distribusi frekuensi hujan.

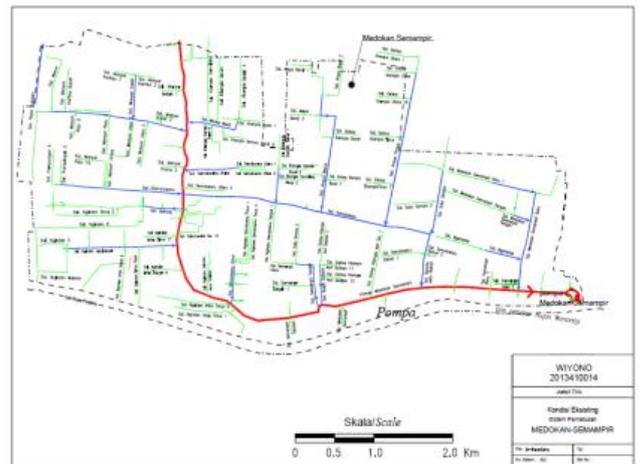
Kesimpulan Uji Kecocokan

Dari hasil uji kecocokan analisis frekuensi distribusi dengan menggunakan metode uji chi-kuadrat dan uji smirnov-kolmogorov, maka dapat di Tarik kesimpulan sebagai berikut:

Pada area 1 yang meliputi saluran 2 dan 9 dengan dipengaruhi oleh stasiun penakar hujan Wonokromo, stasiun penakar hujan Wonorejo dan stasiun penakar hujan Keputih, maka perhitungan curah hujan rencana menggunakan analisis distribusi *Log-person type III*

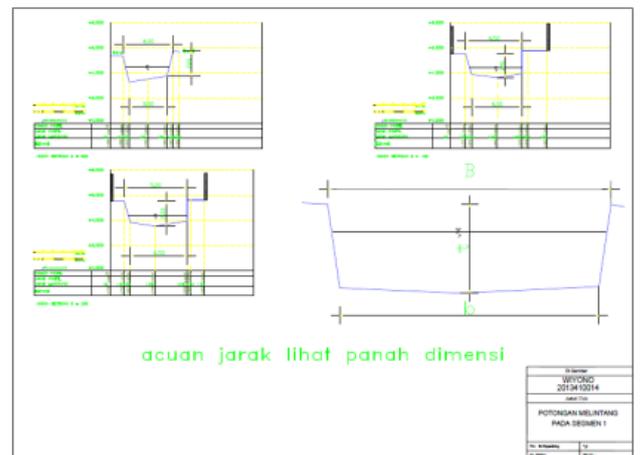
Analisis Hidrolika

Pengolahan Data Hidrolika Pengolahan data hidrolika dilakukan untuk mengetahui besarnya debit yang mengalir pada saluran drainase pada saluran primer Medokan-Semampir Surabaya, dimana pada perhitungan hidrolika dihitung berdasarkan pembagian segmen yang telah dibuat menurut peta dan denah saluran primer Medokan Semampir Surabaya. Untuk perhitungan ukuran penampang saluran maka ukuran saluran di rata-rata pada tiap segmen.



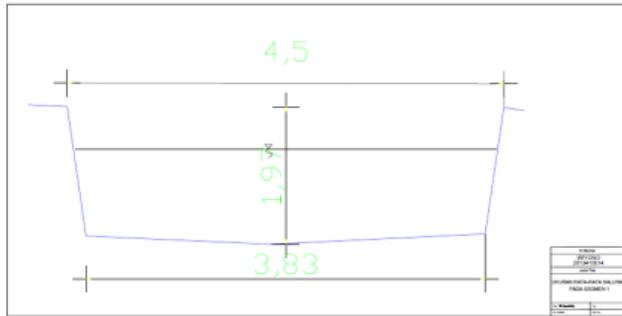
Gambar 3. Peta Saluran Drainase Medokan-Semampir Surabaya

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017



Gambar 4. Ukuran selintang saluran drainase

Sumber: Hasil pengolahan data, 2017



Gambar 5. Ukuran rata-rata saluran drainase
Sumber: Hasil pengolahan data, 2017

Untuk perhitungan kecepatan aliran digunakan rumus Strickler, dengan bentuk saluran trapesium dan untuk perhitungan debit saluran menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \times V$$

Untuk perhitungan akan disajikan dalam tabel 10 dengan keterangan tabel berikut.

Tabel 10. Perhitungan Hidrolika

Saluran	L (m)	K	m	b (m)	y (m)	I saluran	A basah (m ²)	P (m)	R (m)	Vsaluran (m/dt)	Qsaluran (m ³ /dt)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Segmen 1	270	42,5	0,18	3,83	1,97	0,0003	8,25	7,837	1,053	0,807	6,655
Segmen 2	241	45	0,215	4,52	2,21	0,00042	11,028	9,036	1,221	1,053	11,615
Segmen 3	129	45	0,228	4,52	2,32	0,00023	11,714	9,279	1,262	0,252	2,953
Segmen 4	700	45	0,204	5,39	2,50	0,00011	14,75	10,493	1,406	0,592	8,736
Segmen 5	210	45	0,215	8,00	2,54	0,0003	21,699	13,193	1,645	1,086	23,565
Segmen 6	500	45	0,221	7,90	2,53	0,0004	21,402	13,082	1,636	1,250	26,743
Segmen 7	1150	45	0,206	9,73	2,74	0,0005	28,196	15,321	1,840	1,511	42,607
Segmen 8	20	45	0,21	10,16	2,87	0,00005	30,889	16,025	1,928	0,156	4,814
Segmen 9	780	45	0,158	10,54	1,94	0,0002	21,042	14,468	1,454	0,817	17,190
Segmen 10	900	45	0,15	11,68	1,72	0,0003	20,533	15,159	1,355	0,954	19,593

Sumber: hasil pengolahan data, 2017

Dari tabel 10 dapat diketahui, bahwa :

- Kolom 1 = pembagian segmen.
- Kolom 2 = Panjang saluran per segmen
- Kolom 3 = Harga kekasaran koefisien strickler (K) didapatkan dari tabel 3.1 pada buku kriteria perencanaan bagian saluran (KP-03) hal 103
- Kolom 4 = Harga rata-rata talud pada saluran.
- Kolom 5 = b, lebar rata-rata dasar saluran persegmen
- Kolom 6 = y, tinggi rata-rata muka air pada saluran
- Kolom 7 = I, kemiringan saluran, contoh Perhitungan Pada segmen 10:

$$I = \frac{elvAwalsaluran - elvAkhirsaluran}{L} = \frac{2,437 - 2,174}{900} = 0,0003$$

- Kolom 8 = A, luas penampang basah contoh perhitungan pada segmen 10: $A = (b + m \cdot y) \cdot y = (11,68 + (0,15 \times 1,72)) \times 1,72 = 20,533 \text{ m}^2$
- Kolom 9 = P, keliling basah contoh perhitungan pada segmen 10: $P = b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{0,15^2 + 1} = 11,68 + 2 \times 1,72 \times \sqrt{0,15^2 + 1} = 15,159 \text{ m}$
- Kolom 10 = R, jari-jari hidrolis contoh perhitungan pada segmen 10: $R = A/P = 20,533/15,159 = 1,355$

- Kolom 11 = Vsaluran. Yaitu kecepatan aliran di dalam saluran dengan persamaan Strickler, contoh perhitungan pada segmen 10:

$$v = k \cdot xR^{2/3} \cdot xI^{1/2} = 45 \times 1,355^{2/3} \times 0,0003^{1/2} = 0,954 \text{ m/det}$$

- Kolom 12 = Q, debit pada saluran contoh perhitungan pada segmen 10: $Q = A \times V = 20,533 \times 0,954 = 19,593 \text{ m}^3/\text{det}$

PENUTUP

Berdasarkan hasil perhitungan hidrologi dan perhitungan hidrolika maka diperoleh kesimpulan untuk studi analisa kapasitas saluran drainase Medokan Semampir Surabaya adalah sebagai berikut:

1. Dengan hujan dengan periode ulang 1.25 tahun pada segmen 3, segmen 8, segmen 9 dan segmen 10 sudah tidak mampu untuk menampung debit air hujan, tapi untuk segmen 1, segmen 2, segmen 4, segmen 5, segmen 6 dan segmen 7 masih dapat menampung debit air hujan.
2. Dengan hujan dengan periode ulang 2, 5 dan 10 tahunan pada segmen 3, segmen 4, segmen 8, segmen 9 dan segmen 10 sudah tidak mampu untuk menampung debit air hujan, tapi untuk segmen 1, segmen 2, segmen 5, segmen 6 dan segmen 7 masih dapat menampung debit air hujan.

Dari hasil studi yang telah dilakukan maka sebagai bahan pertimbangan, diajukan saran sebagai berikut:

1. Pada saluran drainase Medokan-Semampir Surabaya dapat dilakukan pelebaran saluran atau memperdalam saluran pada segmen yang mengalami luapan air akibat hujan

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V.T. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga.
- Dake, J.M.K. 1983. *Hidrolika Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Dijk, E. V. 2014. *Anticipating Urban Flooding due to extreme Rainfall*. Amsterdam University of Applied Sciences. Amsterdam, Netherlands.
- Ganiron, T. U. 2015. *Flood Control and Drainage System of Espana Boulevard in Metro Manila*. International Journal of Disaster Recovery and Business Continuity. 6 : 17 28.
- Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama.
- Limantara, L. M. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung. Lubuk Agung.
- Linsley, R.K. 1982. *Hidrologi untuk Insinyur*. Jakarta. Erlangga.
- Muns on, B. R. 2005. *Mekanika Fluida*. Jakarta. Erlangga.
- Plate, Erich. J. 2002. *Flood Risk and Flood Management*. Journal of Hydrology. 267 : 2-11.
- Sani, G. D. 2014. *Flood in Malaysia: Historical Reviews, Causes, Effects and Mitigations Approach*. International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations. 2 : 59-65.

- Schmitt, T. G. 2004. *Analysis and Modeling of Flooding in Urban Drainage Systems. Journal of Hydrology.* 299 : 300-311.
- SNI 2415 - 2016, *Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana.*
- SNI 1724 -2015, *Analisis Hidrologi, Hidraulik dan Kriteria Desain Bangunan di Sungai*
- Soemarto, C.D. 1993. *Hidrologi Teknik.* Jakarta. Erlangga.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan.* Yogyakarta. Andi.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Hidraulika.* Yogyakarta. Beta Offset