

BAB VIII

PERANCANGAN DRAINASI

8.1 Umum

Perancangan drainasi merupakan salah satu bagian penting dari perancangan jalan raya. Drainasi berfungsi menampung air hujan atau air limpahan dari permukaan jalan maupun daerah sekitarnya kemudian mengalirkannya ke sungai atau tempat pembuangan lainnya sehingga di permukaan atau badan jalan tidak akan terjadi genangan-genangan air yang dapat merusak jalan.

Dimensi dari saluran-saluran drainasi harus mampu menampung atau mengalirkan sejumlah volume air tertentu dalam waktu yang tertentu pula atau yang biasa disebut debit. Masalahnya adalah berapakah debit air yang harus dialirkan melalui saluran-saluran tersebut. Hal ini bisa timbul karena debit air selalu berubah-ubah tergantung pada curah hujan yang terjadi. Oleh karena itu dalam perhitungan dimensi saluran perlu diperkirakan debit rencana (Q_d). Debit rencana dihitung berdasarkan curah hujan maksimum harian yang mungkin terjadi sesuai dengan periode ulang tertentu, berdasarkan pengamatan selama beberapa tahun (minimal 10 tahun) secara berurutan.

Perencanaan sistem drainasi dapat dibagi dalam 2 kelompok, yaitu sistem drainasi permukaan dan sistem drainasi bawah tanah. Sistem drainasi permukaan terdiri dari drainasi permukaan jalan yang menampung air dari permukaan jalan dan drainasi pokok yang menampung air dari saluran permukaan jalan untuk

dialirkan ke saluran kolektor. Drainasi bawah tanah diperlukan bila muka air tanah cukup tinggi sehingga dapat mengganggu kestabilan konstruksi jalan. Perencanaan sistem drainasi permukaan jalan dilakukan untuk periode ulang 2 – 5 tahun, sedang perencanaan sistem drainasi pokok dilakukan dengan periode ulang lebih dari 20 tahun. Hal tersebut banyak dipengaruhi oleh pertimbangan ekonomis.

8.2. Maksud dan Tujuan

Drainasi bertujuan untuk menjaga kestabilan konstruksi jalan diwaktu musim penghujan. Kekuatan tanah dasar yang terlalu basah akan mengurangi daya dukung tanah, yang mengakibatkan badan jalan dan perkerasan tidak mampu untuk memikul beban lalu-lintas yang ada. Jika daya dukung tanah berkurang akan mengakibatkan jalan ambles, bergelombang dan mungkin terjadi kelongsoran badan jalan. Karenanya jalan raya hanya dapat berfungsi dengan baik dan berdaya tahan, bila sistim drainasi direncanakan dengan baik.

8.3 Dasar Perancangan

8.3.1 Analisis Hidrologi

Analisa hidrologi dilakukan berdasarkan kriteria :

1. Mencari debit rencana (Q_d) berdasarkan curah hujan maksimum selama pengamatan minimal 10 tahun berturut-turut dan dalam periode ulang tertentu. Data-data curah hujan yang dibutuhkan diusahakan didapat dari stasiun curah hujan di daerah aliran proyek.
2. Periode ulang yang dipilih didasarkan kepada luas daerah aliran, jenis dan lapisan tanah.

8.3.2 Melengkapi Data yang Hilang

Data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pengamatan biasanya tidak lengkap. Pada tahun-tahun tertentu ada data curah hujan yang tidak teramati. Oleh karena itu data-data tersebut perlu dilengkapi.

Ada 2 perkiraan untuk melengkapi data yang hilang tersebut, yaitu :

1. Apabila selisih curah hujan maksimum pada stasiun yang hilang datanya tersebut kurang dari 10%, maka data yang hilang boleh diambil dari hasil rata-rata aritmetik dari tempat yang mengelilinginya.
2. Apabila selisih curah hujan maksimum pada stasiun yang hilang datanya tersebut lebih dari 10%, maka data yang hilang tersebut dilengkapi dengan metoda rasio normal, dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_x = \frac{1}{i} \left(\frac{N_x}{N_A} \cdot P_A + \frac{N_x}{N_B} \cdot P_B + \dots + \frac{N_x}{N_i} \cdot P_i \right) \dots \dots \dots (8.1)$$

Dengan :

P_x = curah hujan yang dicari pada tahun tersebut

N_x = curah hujan rata-rata setahun dari stasiun yang hilang datanya

$P_A \dots P_i$ = curah hujan harian maksimum dari stasiun yang mengelilinginya pada tahun tersebut.

$N_A \dots N_i$ = curah hujan rata-rata setahun dari stasiun yang mengelilinginya

i = banyaknya stasiun yang mengelilingi stasiun yang hilang datanya

8.3.3 Analisa Curah Hujan

Analisa curah hujan dilakukan untuk memperoleh curah hujan harian maksimum rencana pada periode ulang tertentu. Metode yang digunakan untuk menganalisa curah hujan ini adalah Metode Gumbel, dengan suatu persamaan regresi sebagai berikut :

$$T_r = (n + 1) / n \dots\dots\dots(8.2)$$

$$Y_t = -\ln(-\ln(1 - 1/T_r)) \dots\dots\dots(8.3)$$

$$X = \Sigma X_i / n \dots\dots\dots(8.4)$$

$$S_x = \sqrt{\Sigma (X_i - X) / (n-1)} \dots\dots\dots(8.5)$$

$$1 / \alpha = S_x / S_n \dots\dots\dots(8.6)$$

$$\begin{aligned} X_T &= \mu + 1/\alpha \cdot Y_T \\ &= X - 1/\alpha \cdot Y_n \dots\dots\dots(8.7) \end{aligned}$$

dengan :

n = jumlah data

m = urutan data

X = curah hujan rata-rata setahun

S_x = standar deviasi

S_n = reduce standard deviasi

Y_n = reduce mean

Tabel 8.1 Reduced mean (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5496	0,5463	0,5469	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5488	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5424	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5588	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5598
100	0,5600	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : Irrigation Manual On Drainage Directorate General Of Water Resources Development, Ministry of Public Works

Tabel 8.2 Reduced Standard Deviation (S_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9697	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1044	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1368
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1571	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1607	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1903	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : Irrigation Manual On Drainage, Directorate General of Water Resources Development, Ministry of Public Works

8.3.4 Test Homogenitas

Test homogenitas dimaksudkan untuk mengetahui keseragaman dari masing-masing stasiun pengamat di sekitar proyek. Bila dari test ini menunjukkan hasil yang homogen, maka stasiun-stasiun tersebut dapat digunakan untuk merancang fasilitas drainasi pada proyek ini.

8.3.5 Analisa Intensitas Hujan

Debit rencana dari fasilitas drainasi, yang akan dibuat, ditentukan berdasarkan distribusi curah hujan dalam jangka waktu yang pendek (perjam) dan dinyatakan dalam mm/jam serta biasa disebut Intensitas Curah Hujan.

Dari analisa intensitas hujan akan diperoleh lengkung intensitas curah hujan (IDC) yang menggambarkan hubungan antara intensitas hujan dengan waktu.

Untuk menggambarkan intensitas curah hujan rencana pada masing-masing periode ulang diperlukan data IDC dari suatu stasiun. Data ini bisa digunakan bila hasil dari tes homogenitas menunjukkan keseragaman di semua stasiun pengamat yang ada. IDC yang diperoleh dari analisa curah hujan harus dikorelasikan dengan IDC untuk masing-masing periode ulang.

Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan intensitas curah hujan adalah :

- Prof Talbot : $I = a / (t + b)$ (8.8)

- Prof Sherman : $I = a / t^b$ (8.9)

- Prof Ishiquro : $I = a / (t^{0,5} + b)$ (8.10)

Dengan : I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

$a, b = \text{konstanta}$

Dari ketiga rumus diatas, kemudian dicari harga yang paling cocok, artinya harga yang memberikan simpangan terkecil.

8.3.6 Analisa Debit Rencana

Ada beberapa metoda yang bisa digunakan untuk menghitung debit rencana (Q_d), yaitu :

1. Metoda Unit Hydrograph
2. Metoda Empiris
3. Metoda Rasional

Metoda unit hydrograph biasanya digunakan untuk merancang tinggi jembatan, karena penggunaan metoda ini hanya untuk menghitung debit sungai dalam periode yang panjang.

Metoda empiris biasanya dipakai pada daerah aliran yang luasnya lebih besar dari 500 km^2 dan data-data hidrologi yang ada kurang memadai sehingga debit rencana dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Metoda rasional digunakan pada daerah pengaliran yang relatif kecil seperti pada proyek ini. Debit rencananya dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$Q_d = 0,278.C.I.A \dots\dots\dots(8.11)$$

Dengan : $Q_d = \text{debit rencana maksimum (m}^3 / \text{det)}$

$C = \text{koefisien limpasan}$

$I = \text{intensitas hujan untuk suatu hujan yang durasinya sama dengan time of concentration (mm/jam)}$

$A = \text{luas daerah pengaliran (km}^2 \text{)}$

Tabel 8.3 Koefisien Limpasan (C)

Tipe Permukaan	Nilai C
Lapis permukaan dengan aspal	0,70 – 0,95
Lapis permukaan dengan beton	0,70 – 0,80
Tanah kedap air (“heavy”) *	0,40 – 0,65
Tanah kedap air dengan penutup rumput *)	0,30 – 0,55
Dengan tanah sedikit tembus air *)	0,15 – 0,40
Tanah ditutup rumput sedikit tembus air *)	0,10 – 0,30
Tanah lunak tembus air *)	0,05 – 0,20
Tanah lunak tembus air tertutup rumput *)	0,00 – 0,01

*) : untuk kemiringan dari 1% s/d 2%

Sumber : Kenneth. B. Woods, Highway Engineering Hand Book, Mc. Graw Hill Book Company, USA 1960

8.3.7 Waktu konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan oleh air hujan untuk menempuh jarak dari titik terjauh ke tempat yang kita tinjau.

Waktu konsentrasi (t_c) terdiri dari :

$$t_c = t_{of} + t_{df} \dots\dots\dots (8.12)$$

Dengan :

t_{of} = waktu yang dibutuhkan untuk mengalir di atas permukaan sampai ke fasilitas drainasi yang ditinjau (menit)

$$t_{of} = (2/3 \cdot 3.28 \cdot L_{of} \cdot n / S^{0.5})^{1/6} \dots\dots\dots (8.13)$$

t_{df} = waktu yang dibutuhkan untuk mengalir dari atas fasilitas drainasi sampai tempat yang ditinjau.

$$t_{df} = L_{df} / (60 \cdot v) \dots \dots \dots (8.14)$$

L_{of} = panjang pengaliran di permukaan yang ditinjau dalam meter

n = koefisien Manning

S_o = kemiringan di tempat air mengalir

L_{df} = panjang fasilitas drainasi yang ditinjau (m)

v = kecepatan aliran pada saluran (m/det)

Waktu konsentrasi diatas adalah untuk fasilitas drainasi permukaan, sedangkan untuk drainasi pokok adalah :

$$t_c = 0,0195 (L/S)^{0,5} \dots \dots \dots (8.15)$$

dengan :

L = panjang jarak dari tempat terjauh di daerah aliran sampai ke tempat pengamatan (km)

S = kemiringan rata-rata daerah pengaliran

Berikut ini akan diuraikan ketentuan-ketentuan yang diperlukan untuk perancangan drainasi pada Sim pang Grogol :

1. Periode ulang :

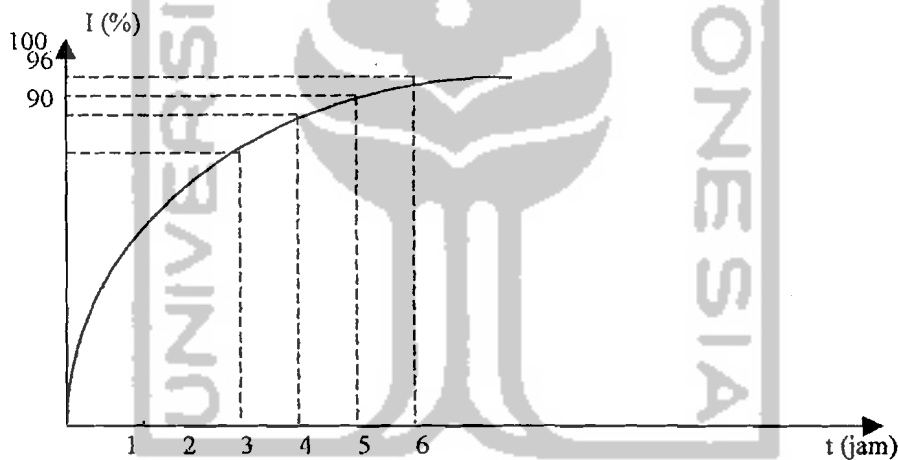
1. untuk drainasi permukaan = 3 tahun
2. untuk drainasi pokok = 25 tahun
3. Hujan yang memberikan intensitas maksimum adalah hujan dengan durasi 4 jam dan efektifitasnya 90%

$$I_r = \frac{R_{24}}{4} \cdot 0.90 = 0.225 \cdot R_{24} \dots\dots\dots(8.16)$$

Keterangan : I_r = Intensitas curah hujan rencana

R_{24} = curah hujan harian minimum

Hal ini didasarkan pada penyelidikan Ir. Van Breen (di Jakarta), bahwa hujan harian terkonsentrasi selama 4 jam dengan jumlah hujan sebesar 90% dari hujan selama 24 jam.



Gambar 8.1 Kurva Curah Hujan Van Breen

Table 8.4 Harga Koefisien Manning (n)

Tipe Permukaan	Harga n
Beton dengan permukaan lembut	0,013
Beton dengan permukaan kasar	0,022

Lanjutan tabel 8.4

Riprap	0,03 – 0,04
Aspal, permukaan halus	0,013
Tanah baik, sedikit berumput – kedalaman lebih dari 6 in	0,09 – 0,30
Tanah baik, sedikit berumput – kedalaman kurang dari 6 in	0,07 – 0,20
Tanah, butiran seragam, bersih	0,016
Tanah, butiran tidak seragam, tidak ada tumbuhan	0,022
Saluran tidak terpelihara, tidak terpelihara	0,08

Sumber : Paul. H. Wright, Highway Engineering, Sixth Edition, John Wiley and Sons, USA 1996

8.3.8 Analisis Hidraulis

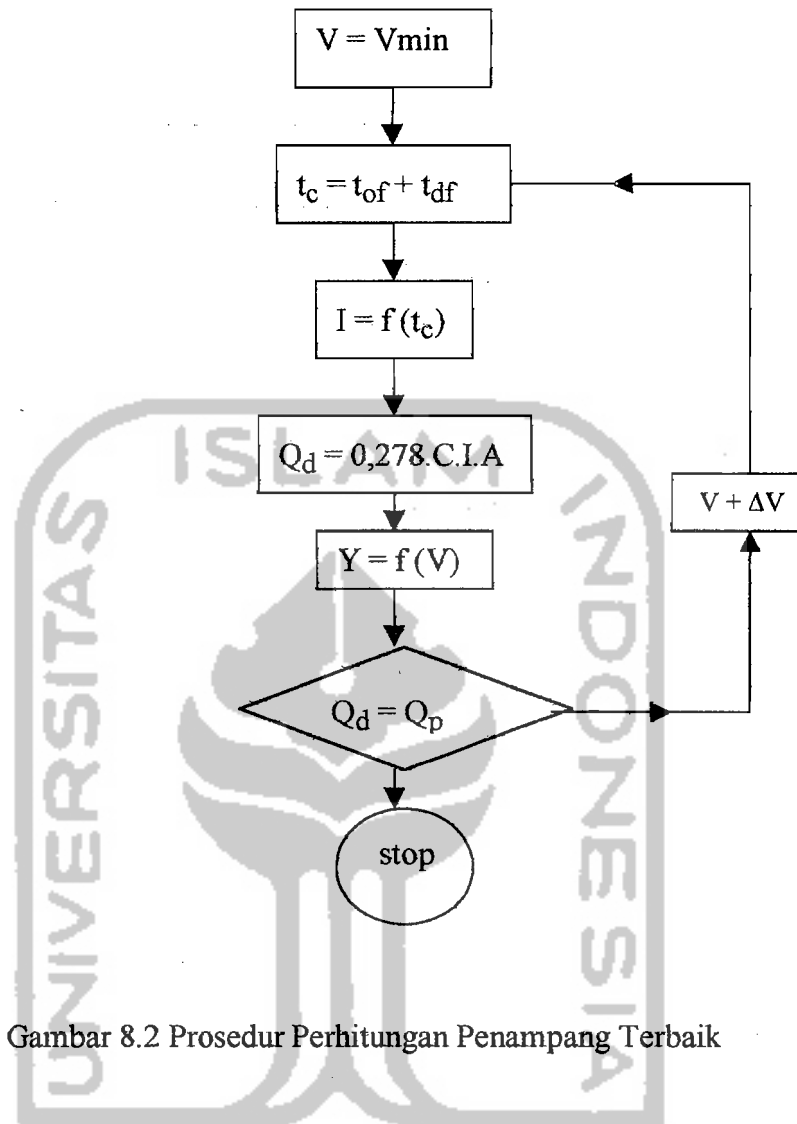
Kriteria yang digunakan dalam analisis hidraulis ini adalah :

1. a. Saluran harus mampu menampung debit rencana (Q_d)
 - b. Penampang hidraulis terbaik adalah yang mampu mengalirkan debit rencana (Q_d)
2. Aliran yang terjadi dianggap “uniform flow” sehingga rumus-rumus “uniform flow” dapat digunakan.

Analisis hidraulis ini dilakukan dengan metoda kecepatan minimum (V_{min}) dengan prosedur yang ditunjukkan oleh gambar 8.2

Dalam perencanaan drainasi Simpang Grogol ini digunakan beberapa jenis saluran drainasi yaitu :

1. pipa PVC untuk drainasi jalan layang
2. saluran tepi untuk drainasi persimpangan sebidang
3. saluran box culvert untuk drainasi pokok



Gambar 8.2 Prosedur Perhitungan Penampang Terbaik

Keterangan :

V_{\min} = kecepatan minimum, diasumsikan 0,6 m/det

Y = tinggi muka air, didapat dari perhitungan dan tergantung bentuk penampang

Q_p = debit yang dapat dialirkan penampang

Untuk drainasi jalan layang penentuan debit pada pipa vertikal dilakukan dengan persamaan Morning Glory sebagai berikut :

$$Q_p = C.L.H^{3/2} \dots\dots\dots(8.17)$$

Dengan : C = koefisien pengaliran, diperoleh dari gambar 8.3

$$L = \text{keliling pipa} = 2.\pi.R$$

$$H = \text{tinggi muka air sebelum masuk pipa (ft)} = y$$

$$R = \text{jari-jari pipa (ft)}$$

Untuk pipa PVC horizontal paada jalan layang, saluran tepi dan drainasi pokok, debit pada penampang diperhitungkan dengan persamaan Manning :

$$Q_p = 1 / n . A . R^{2/3} . S^{1/2} \dots\dots\dots(8.18)$$

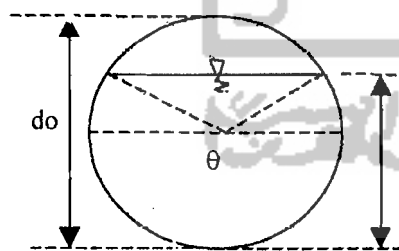
Dengan : n = koefisien kekasaran dasar saluran

$$A = \text{luas penampang (m)}$$

$$R = \text{jari-jari hidraulis penampang (m)} = A / p$$

$$S = \text{kemiringan dasar saluran (\%)}$$

Selain itu ditentukan pula berdasarkan penampang lingkaran terbuka sebagai berikut :



$$\phi = \theta / 2 - \pi / 2$$

$$y = \frac{1}{2} do + \frac{1}{2} do \sin \frac{1}{2} (\theta - \pi)$$

$$y = \frac{1}{2} do (1 - \cos \frac{1}{2} \theta)$$

Dari rumus Manning, maka :

$$AR^{2/3} = \frac{Q . n}{S^{1/2}} \dots\dots\dots(8.19)$$

Dari perbandingan : $\frac{AR^{2/3}}{do^{8/3}} \longrightarrow$ diperoleh y / do

Gambar 8.3 Grafik C vs H/R

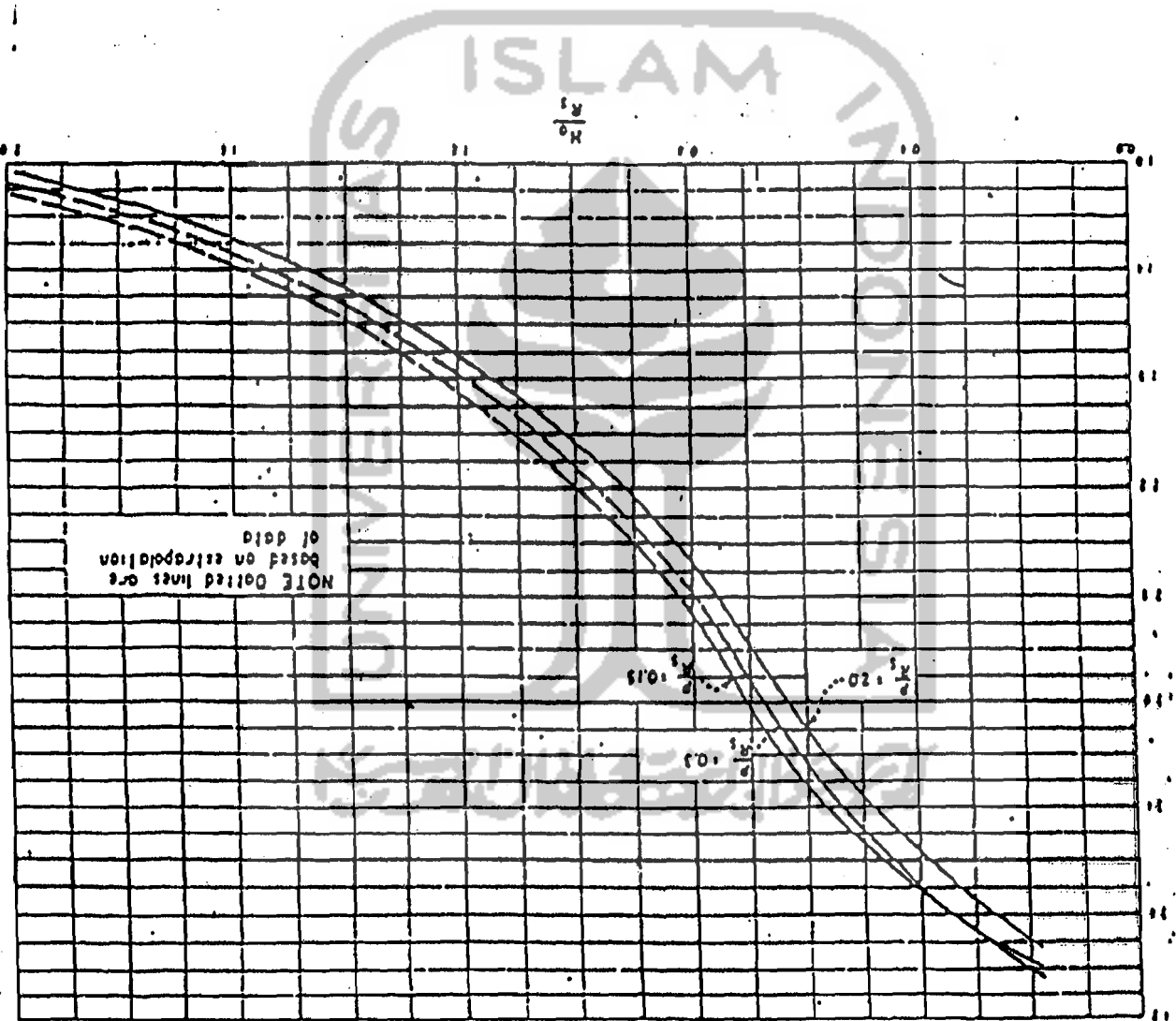


Table 8.5 Geometric Element for Circular Channel Section

$\frac{y}{d_0}$	$\frac{A}{d_0^2}$	$\frac{P}{d_0}$	$\frac{R}{d_0}$	$\frac{T}{d_0}$	$\frac{D}{d_0}$	$\frac{Z}{d_0}$	$\frac{AR^{11}}{d_0^{11}}$
0.01	0.0013	0.29013	0.0066	0.1901	0.0001	0.0001	0.0001
0.02	0.0037	0.28318	0.0132	0.2801	0.0011	0.0007	0.0007
0.03	0.0069	0.3182	0.0197	0.3412	0.0015	0.0018	0.0015
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3910	0.0023	0.0017	0.0023
0.05	0.0147	0.4510	0.0328	0.4359	0.0030	0.0027	0.0030
0.06	0.0192	0.4919	0.0389	0.4750	0.0039	0.0039	0.0039
0.07	0.0242	0.5355	0.0451	0.5103	0.0053	0.0053	0.0053
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0069	0.0069	0.0069
0.09	0.0350	0.6094	0.0574	0.5724	0.0087	0.0087	0.0087
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0107	0.0107	0.0107
0.11	0.0470	0.6761	0.0695	0.6258	0.0129	0.0129	0.0129
0.12	0.0534	0.7075	0.0754	0.6499	0.0153	0.0153	0.0153
0.13	0.0600	0.7377	0.0813	0.6726	0.0179	0.0179	0.0179
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0212	0.0212	0.0212
0.15	0.0739	0.7954	0.0929	0.7141	0.0246	0.0246	0.0246
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.0279	0.0279	0.0279
0.17	0.0885	0.8500	0.1042	0.7513	0.0313	0.0313	0.0313
0.18	0.0781	0.8763	0.1097	0.7684	0.0349	0.0349	0.0349
0.19	0.1039	0.9020	0.1152	0.7846	0.0387	0.0387	0.0387
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.0418	0.0418	0.0418
0.21	0.1199	0.9521	0.1259	0.8146	0.0460	0.0460	0.0460
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.0503	0.0503	0.0503
0.23	0.1365	1.0003	0.1364	0.8417	0.0549	0.0549	0.0549
0.24	0.1449	1.0230	0.1416	0.8542	0.0597	0.0597	0.0597
0.25	0.1535	1.0452	0.1466	0.8660	0.0646	0.0646	0.0646
0.26	0.1621	1.0671	0.1518	0.8773	0.0697	0.0697	0.0697
0.27	0.1711	1.0928	0.1566	0.8879	0.0751	0.0751	0.0751
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.0805	0.0805	0.0805
0.29	0.1890	1.1373	0.1662	0.9075	0.0862	0.0862	0.0862
0.30	0.1983	1.1593	0.1709	0.9165	0.0921	0.0921	0.0921
0.31	0.2077	1.1813	0.1756	0.9251	0.0981	0.0981	0.0981
0.32	0.2172	1.2033	0.1803	0.9334	0.1042	0.1042	0.1042
0.33	0.2268	1.2253	0.1850	0.9412	0.1103	0.1103	0.1103
0.34	0.2365	1.2473	0.1897	0.9486	0.1165	0.1165	0.1165
0.35	0.2462	1.2693	0.1944	0.9557	0.1227	0.1227	0.1227
0.36	0.2560	1.2913	0.1991	0.9624	0.1290	0.1290	0.1290
0.37	0.2658	1.3133	0.2038	0.9688	0.1353	0.1353	0.1353
0.38	0.2757	1.3353	0.2084	0.9749	0.1416	0.1416	0.1416
0.39	0.2856	1.3573	0.2130	0.9807	0.1479	0.1479	0.1479
0.40	0.2954	1.3793	0.2176	0.9862	0.1542	0.1542	0.1542
0.41	0.3052	1.4013	0.2222	0.9914	0.1605	0.1605	0.1605
0.42	0.3150	1.4233	0.2267	0.9963	0.1668	0.1668	0.1668
0.43	0.3248	1.4453	0.2312	0.9999	0.1731	0.1731	0.1731
0.44	0.3346	1.4673	0.2357	0.9999	0.1794	0.1794	0.1794
0.45	0.3444	1.4893	0.2402	0.9999	0.1857	0.1857	0.1857
0.46	0.3542	1.5113	0.2447	0.9999	0.1920	0.1920	0.1920
0.47	0.3640	1.5333	0.2492	0.9999	0.1983	0.1983	0.1983
0.48	0.3738	1.5553	0.2537	0.9999	0.2046	0.2046	0.2046
0.49	0.3836	1.5773	0.2582	0.9999	0.2109	0.2109	0.2109
0.50	0.3934	1.5993	0.2627	0.9999	0.2172	0.2172	0.2172
0.51	0.4032	1.6213	0.2672	0.9999	0.2235	0.2235	0.2235
0.52	0.4130	1.6433	0.2717	0.9999	0.2298	0.2298	0.2298
0.53	0.4228	1.6653	0.2762	0.9999	0.2361	0.2361	0.2361
0.54	0.4326	1.6873	0.2807	0.9999	0.2424	0.2424	0.2424
0.55	0.4424	1.7093	0.2852	0.9999	0.2487	0.2487	0.2487
0.56	0.4522	1.7313	0.2897	0.9999	0.2550	0.2550	0.2550
0.57	0.4620	1.7533	0.2942	0.9999	0.2613	0.2613	0.2613
0.58	0.4718	1.7753	0.2987	0.9999	0.2676	0.2676	0.2676
0.59	0.4816	1.7973	0.3032	0.9999	0.2739	0.2739	0.2739
0.60	0.4914	1.8193	0.3077	0.9999	0.2802	0.2802	0.2802
0.61	0.5012	1.8413	0.3122	0.9999	0.2865	0.2865	0.2865
0.62	0.5110	1.8633	0.3167	0.9999	0.2928	0.2928	0.2928
0.63	0.5208	1.8853	0.3212	0.9999	0.2991	0.2991	0.2991
0.64	0.5306	1.9073	0.3257	0.9999	0.3054	0.3054	0.3054
0.65	0.5404	1.9293	0.3302	0.9999	0.3117	0.3117	0.3117

d_0 - diameter
 y - depth of flow
 A - water area
 P - wetted perimeter
 R - hydraulic radius
 T - top width
 D - hydraulic depth
 Z - $A\sqrt{D}$ - section factor for critical flow computation

8.4 Perhitungan

8.4.1 Data

1. Periode ulang : 1. drainasi pokok 25 tahun
2. drainasi permukaan 3 tahun

2.Data curah hujan :

Tabel 8.6 Data-data curah hujan

Tahun	Sta.1 Ragunan (mm)	Sta.2 Kemayoran (mm)	Sta.3 Halim.PK (mm)	Sta.4 Serpong (mm)
1960	66	111	88	137
1961	95	147	87	110
1962	137	-	135	118
1963	104	122	71	120
1964	81	77	69	40
1965	157	125	88	80
1966	65	63	57	58
1967	90	85	65	97
1968	111	129	66	-
1969	80	67	72	107
1970	110	90	109	-
1971	110	100	71	129
1972	182	90	95	60
1973	130	143	-	70
1974	139	103	107	72
1975	93	64	107	80
1976	140	216	113	95
1977	157	330	56	93
1978	84	98	95	104
1979	76	44	117	71

Sumber : Badan Meteorology dan Geofisika

8.4.2 Melengkapi data yang hilang

Dari data-data curah hujan diatas, tampak ada beberapa data curah hujan yang hilang pada stasiun-stasiun pengamat yaitu :

1. data tahun 1962 , stasiun Kemayoran
2. data tahun 1968 , stasiun Serpong
3. data tahun 1970 , stasiun Serpong
4. data tahun 1973 , stasiun Halim Perdana Kusumah

Perhitungan untuk melengkapi data yang hilang adalah sebagai berikut :

A. Data hilang 1 :

stasiun Kemayoran , $N_x = 116$ mm

data stasiun yang mengelilingi :

1. Ragunan $P_1 = 137$ mm $N_1 = 110,35$ mm
2. Halim PK $P_2 = 135$ mm $N_2 = 87,78$ mm
3. Serpong $P_3 = 118$ mm $N_3 = 91,17$ mm

curah hujan stasiun Kemayoran pada tahun 1962 (P_x) :

$$P_x = \frac{1}{3} (116/110 \cdot 137 + 116/87,78 \cdot 135 + 116/91,17 \cdot 118)$$

$$= 157,2 \text{ mm} \dots \dots \dots (8.1)$$

B. Data hilang 2

stasiun Serpong , $N_x = 91,17$ mm

data stasiun yang mengelilingi :

1. Ragunan $P_1 = 111$ mm $N_1 = 110,35$ mm
2. Kemayoran $P_2 = 129$ mm $N_2 = 116$ mm
3. Halim PK $P_3 = 66$ mm $N_3 = 87,78$ mm

curah hujan stasiun Serpong tahun 1968 (Px)

$$P_x = 1/3 (91,17/110,35 \cdot 111 + 91,17/116 \cdot 129 + 91,17/87,78 \cdot 66)$$

$$= 87,21 \text{ mm} \dots\dots\dots(8.1)$$

C. Data hilang 3 :

stasiun Serpong , Nx = 91,17 mm

data stasiun yang mengelilingi :

1. Ragunan $P_1 = 110 \text{ mm}$ $N_1 = 110,35 \text{ mm}$
2. Kemayoran $P_2 = 90 \text{ mm}$ $N_2 = 116 \text{ mm}$
3. Halim PK $P_3 = 109 \text{ mm}$ $N_3 = 87,78 \text{ mm}$

curah hujan stasiun Serpong tahun 1970 (Px)

$$P_x = 1/3 (91,17/110,35 \cdot 110 + 91,17/116 \cdot 90 + 91,17/87,78 \cdot 109)$$

$$= 91,60 \text{ mm} \dots\dots\dots(8.1)$$

D. Data hilang 4 :

stasiun Serpong , Nx = 87,78 mm

data stasiun yang mengelilingi :

1. Ragunan $P_1 = 130 \text{ mm}$ $N_1 = 110,35 \text{ mm}$
2. Kemayoran $P_2 = 143 \text{ mm}$ $N_2 = 116 \text{ mm}$
3. Halim PK $P_3 = 70 \text{ mm}$ $N_3 = 91,17 \text{ mm}$

curah hujan stasiun Serpong tahun 1973 (Px)

$$P_x = 1/3 (87,78/110,35 \cdot 130 + 87,78/116 \cdot 143 + 87,78/91,17 \cdot 70)$$

$$= 93 \text{ mm} \dots\dots\dots(8.1)$$

8.4.3 Analisa Regresi

Setelah data-data yang hilang dilengkapi, dilakukan analisa regresi.

Hasilnya berupa persamaan linier. Rumus-rumus yang dipergunakan :

$$Y_t = -\ln(-\ln(1 - 1/Tr))$$

$$Tr = (n + 1) / m$$

Dengan : n = jumlah data

m = urutan nomor data

$$X = \sum X_i / n$$

$$S_x = \sqrt{\sum (X_i - X) / (n-1)}$$

Untuk n= 20 dari tabel 8.1 dan 8.2 diperoleh $Y_n = 0,5236$

$$S_n = 1,0628$$

Persamaan regresi :

$$X_T = \mu + 1/\alpha \cdot Y_t$$

$$= X - 1/\alpha \cdot Y_n$$

$$1/\alpha = S_x / S_n$$

Contoh :

Diambil pada stasiun Ragunan

$$Tr = (20 + 1) / 1 \dots \dots \dots (8.2)$$

$$= 21$$

$$Y_t = -\ln(-\ln(1 - 1/21)) \dots \dots \dots (8.3)$$

$$= 3,02$$

$$X = 2207 / 20 \dots \dots \dots (8.4)$$

$$= 110,35 \text{ mm}$$

$$S_x = 33,21 \dots \dots \dots (8.5)$$

$$1 / \alpha = 33,21 / 1,0628 \dots \dots \dots (8.6)$$

$$= 31, 247$$

$$X_T = 110,35 - 31,247 \cdot 0,5236 \dots \dots \dots (8.7)$$

$$= 93, 989$$

Tabel 8.7 Perhitungan Regresi

m	Yt	Sta 1 Ragunan Xi (mm)	Sta 2 Kemayoran Xi (mm)	Sta 3 Halim.PK Xi (mm)	Sta 4 Serpong Xi (mm)	Regresi Gabunga Xi (mm)
1	3,02	71,65	330	135	137	330
2	2,03	46,65	216	117	129	216
3	1,87	46,65	157	113	120	182
4	1,55	29,65	147	109	118	157
5	1,30	28,65	143	107	110	157
6	1,01	26,65	129	107	107	157
7	0,90	19,65	125	95	104	147
8	0,73	0,65	122	95	97	143
9	0,58	-0,35	111	93	95	140
10	0,44	-0,35	103	88	93	139
11	0,30	-6,35	100	88	91	137
12	0,17	-15,35	98	87	87	137
13	0,04	-17,35	90	72	80	135
14	-0,09	-20,35	90	71	80	130
15	-0,22	-26,35	85	71	72	129
16	-0,36	-29,35	77	69	71	129
17	-0,51	-30,35	67	66	70	125
18	-0,67	-34,35	64	65	60	125
19	-0,85	-44,35	63	57	58	120
20	-1,11	-45,35	44	56	40	118

Lanjutan tabel 8.7

	ΣX_i	2207	2361	1761	1819	3053
	\bar{X}	110,35	118,05	88,05	90,95	152,65
	S_x	33,21	63,691	21,951	25,218	47,619
	$1/\alpha$	31,247	59,298	20,654	23,728	44,806
	μ	93,989	86,672	77,236	78,526	129,190

Persamaan Regresi :

3. Sta. Ragunan : $X_T = 93,989 + 31,247 \cdot Y_t$

4. Sta Halim PK : $X_T = 77,236 + 20,654 \cdot Y_t$

5. Sta. Kemayoran : $X_T = 86,672 + 59,928 \cdot Y_t$

6. Sta. Serpong : $X_T = 78,526 + 23,728 \cdot Y_t$

7. Gabungan : $X_T = 129,190 + 44,806 \cdot Y_t$

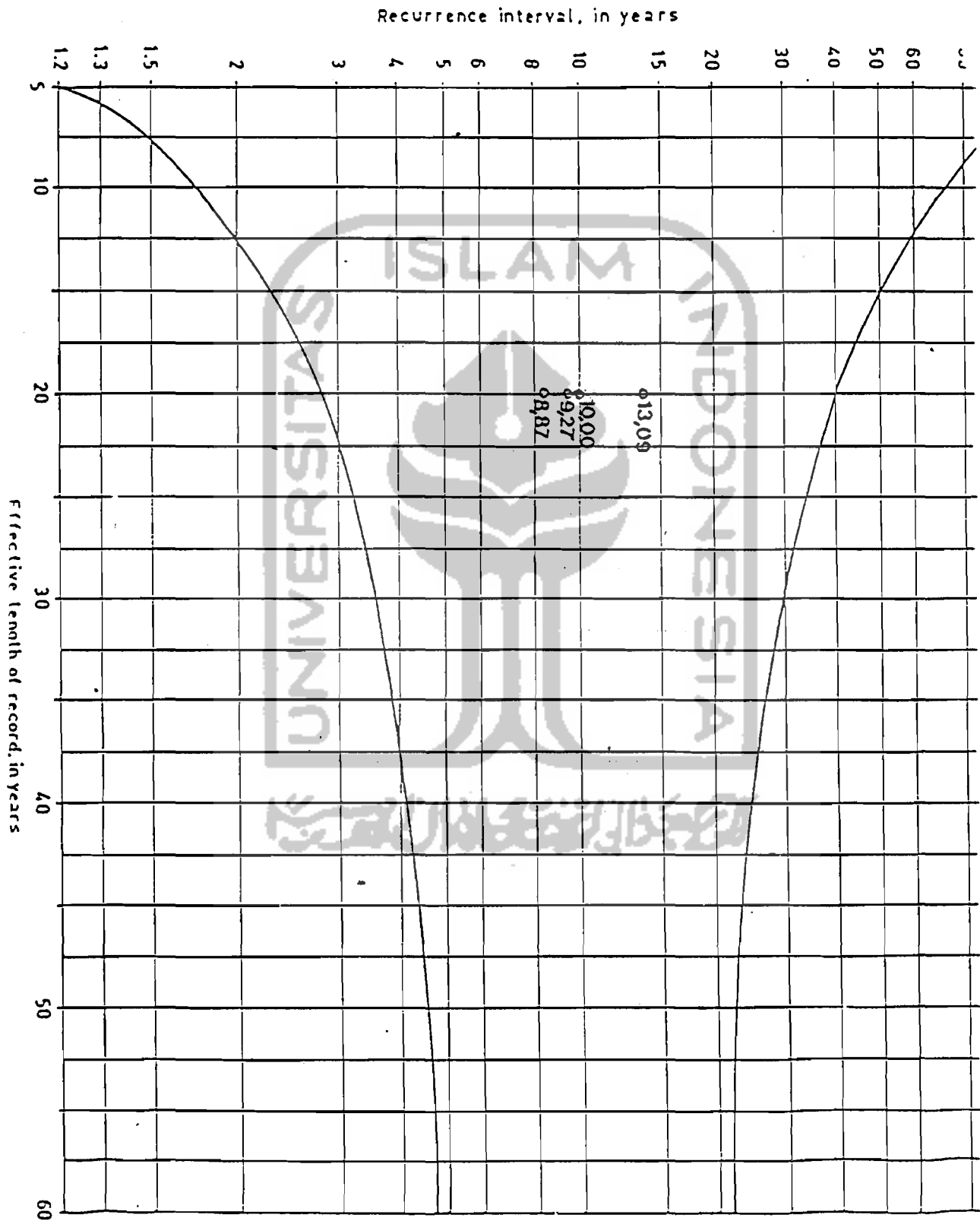
8.4.4 Test Homogenitas

Sifat homogen dari data-data curah hujan pada stasiun-stasiun pengamat dilakukan dengan test Homogenitas Langbein. Hasil dari test homogenitas ini dapat dilihat pada tabel 8.8 dan gambar 8.4 dan ternyata hasilnya menunjukkan bahwa sifat hujan di DKI Jakarta adalah homogen.

Tabel 8.8 Hasil test Homogenitas

Stasiun	a	b	c	d	e	f	g
Ragunan	20	10	110,35	2,20	4,54	4,03	8,87
Kemayoran	20	10	118,05	2,30	4,35	4,03	9,27
Halim PK	20	10	88,05	3,25	3,07	4,03	13,09
Serpong	20	10	90,95	2,40	4,17	4,03	10,00

Gambar 8/4 Grafik Test Homogenitas



Keterangan :

a = jumlah tahun pengamatan

b = periode ulang

c = nilai rata-rata curah hujan harian maksimum

d = periode ulang dari (c) diperoleh dari grafik

e = b / d

f = nilai rata-rata dari e

g = $d \times f$

8.4.5 Analisis Regresi Gabungan

Analisis regresi gabungan bisa dilakukan karena hasil dari test homogenitas menunjukkan keseragaman. Perhitungan regresi gabungan ini dapat dilihat pada tabel 8.6 dan grafik 8.2.

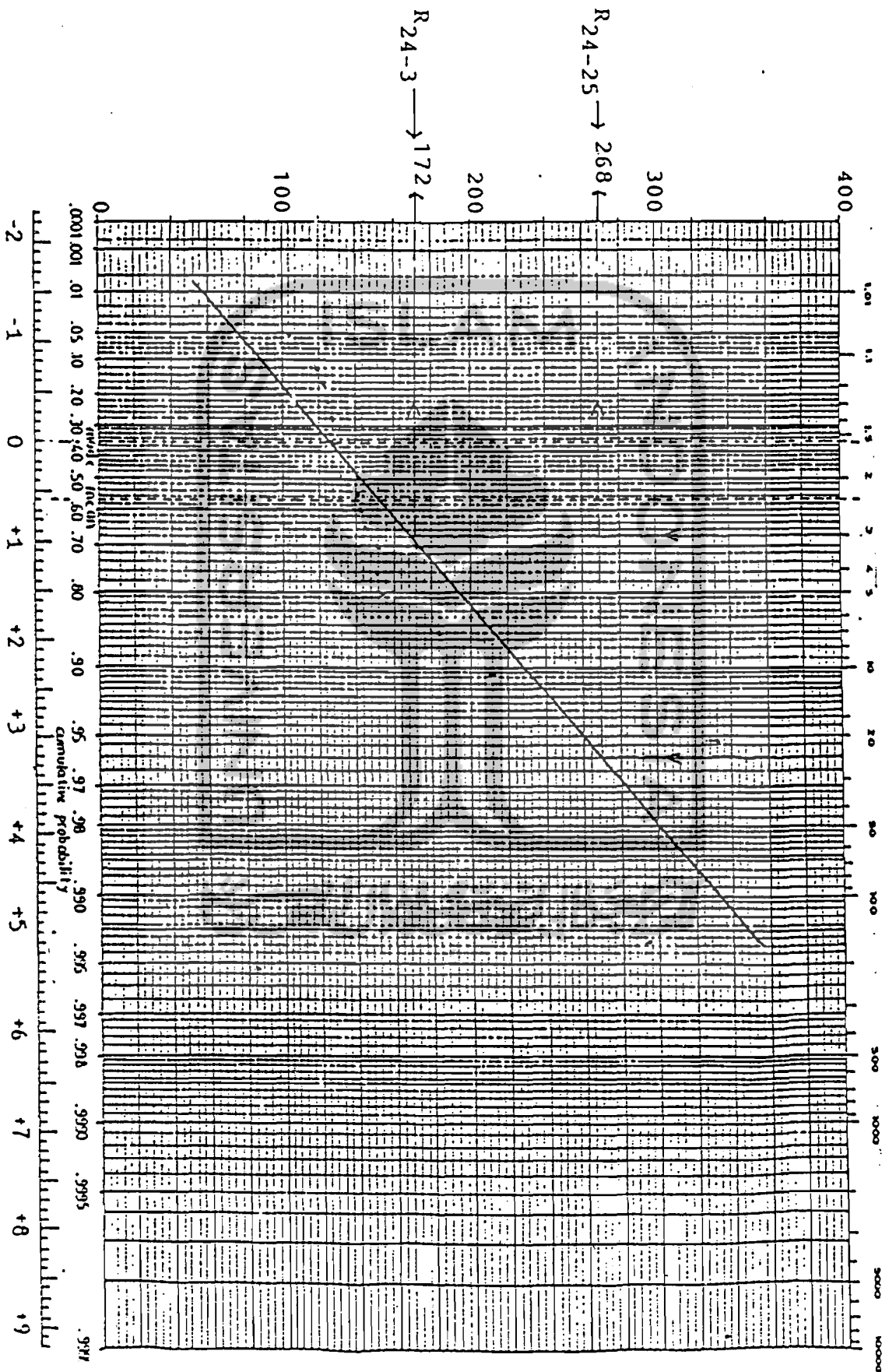
8.4.6 Lengkung Intensitas Hujan (IDC)

Data intensitas yang tercatat adalah data dari stasiun Halim Perdana Kusumah. Data ini dapat digunakan untuk wilayah DKI Jakarta karena curah hujan di DKI Jakarta menunjukkan keseragaman. Data-data yang dipakai untuk menentukan Lengkung Intensitas Hujan adalah pada tabel dibawah ini.

Tabel 8.9 Data Intensitas Hujan pada stasiun pengamat Halim Perdana Kusumah

Durasi hujan (menit)	5	10	15	20	45	60	120	180	360	720
Intensitas (mm/jam)	338,4	273,6	200	214	106,2	90,5	53,4	30,4	21,9	15

Gambar 8. Analisis Regresi Gabungan



Untuk mencari persamaan lengkung intensitas hujan, maka dipilih satu persamaan yang memberikan simpangan rata-rata terendah.

Perhitungannya adalah sebagai berikut :

a. Menentukan nilai-nilai a dan b

TALBOT

Tabel 8.10 Data perhitungan nilai a dan b Talbot

NO	T	I	I x t	I ²	I ² x t
1	5	338,4	1692,0	114514,6	572572,8
2	10	273,6	2376,0	56453,8	564537,6
3	15	200,0	3000,0	40000,0	600000,0
4	20	214,2	4284,0	45881,6	917632,8
5	45	106,2	4779,0	11278,4	507529,8
6	60	90,5	5430,0	8190,3	491415,0
7	120	53,4	6408,0	2851,6	342187,2
8	180	30,4	5472,0	924,2	166348,8
9	360	21,9	7884,0	476,6	172659,6
10	720	15,5	11160,0	240,3	172980,0
Jumlah		1308,1	52485,0	280814,2	4507863,6

$$a = \frac{(I \cdot t)(I^2) - (I^2 \cdot t)(I)}{N(I^2) - (I)^2} \dots \dots \dots (8.20)$$

$$a = \frac{52.485 \cdot 280.814,2 - 4.507.863,6 \cdot 1.038,1}{10 \cdot 280.814,2 - 1.038,1 \cdot 1.308,1}$$

$$b = \frac{(I)(I \cdot t) - (I^2 \cdot t) \cdot N}{N(I^2) - (I)^2} \dots \dots \dots (8.21)$$

$$b = \frac{1.308,1 \cdot 52.485,0 - 4.507.863,6 \cdot 10}{10 \cdot 280.814,2 - 1.308,1 \cdot 1.308,1}$$

b = 21,492

SHERMAN

Tabel 8.11 Data perhitungan nilai a dan b Sherman

No	t	I	Log t	Log I	Log I x log t	(log t) ²
1	5	338,4	0,699	2,529	1,768	0,489
2	10	273,6	1,000	2,376	2,376	1,000
3	15	200,0	1,176	2,301	2,301	1,383
4	20	214,2	1,301	2,332	3,034	1,693
5	45	106,2	1,653	2,026	3,349	2,733
6	60	90,5	1,778	1,957	3,479	3,162
7	120	53,4	2,079	1,728	3,592	4,323
8	180	30,4	2,255	1,483	3,443	5,086
9	360	21,9	2,556	1,340	3,427	6,535
10	720	15,5	2,857	1,190	3,401	8,164
Jumlah		1308,1	17,356	19,262	30,476	34,568

$$\text{Log a} = \frac{(\log I)(\log t)^2 - (\log t \cdot \log I)(\log I)}{N \{ (\log t)^2 \} - (\log t)(\log t)} \dots\dots\dots(8.22)$$

$$\text{Log a} = \frac{19,262 \cdot 34,568 - 30,476 \cdot 17,356}{10 \cdot 34,568 - 17,356 \cdot 17,356} = 3,0792$$

a = 1200,0123

$$n = \frac{(\log I)(\log t) - N(\log t \cdot \log I)}{N \{ (\log t)^2 \} - (\log t)(\log t)} \dots\dots\dots(8.23)$$

$$n = \frac{19,262 \cdot 17,356 - 10 \cdot 30,476}{10 \cdot 34,576 - 17,356 \cdot 17,356}$$

n = 0,6643

ISHIGURO

Tabel 8. 12 Data perhitungan nilai a dan b Ishiguro

No	t	I	I ²	t	I ² . t	I . t
1	5	338,4	114514,6	2,236	256062,341	756,685
2	10	273,6	56453,8	3,162	178522,464	751,357
3	15	200,0	40000,0	3,876	154919,334	774,597
4	20	214,2	45881,6	4,472	205955,993	959,720
5	45	106,2	11278,4	6,708	75658,076	712,411
6	60	90,5	8190,3	7,746	63441,404	701,010
7	120	53,4	2851,6	10,955	31237,275	584,968
8	180	30,4	924,2	13,416	12398,908	407,859
9	360	21,9	476,6	18,974	9099,959	415,523
10	720	15,5	240,3	26,833	6446,584	415,909
Jumlah		1308,1	280814,2	98,375	993742,337	6480,039

$$a = \frac{(I.t)(I^2) - (I^2.t)(I)}{N(I^2) - (I)^2} \dots\dots\dots(8.24)$$

$$a = \frac{6480,039 \cdot 280814,2 - 993742,337 \cdot 1308,1}{10 \cdot 280814,2 - 1308,1 \cdot 1308,1}$$

$$a = 474,263$$

$$b = \frac{(I)(I.t) - N(I^2.t)}{N(I^2) - (I)^2} \dots\dots\dots(8.25)$$

$$b = \frac{1308,1 \cdot 6480,039 - 10 \cdot 993742,337}{10 \cdot 280814,2 - 1308,1^2}$$

$$b = -1,3268$$

Dari ketiga perhitungan diatas diperoleh persamaan-persamaan :

1. Talbot :

$$I = 8059,858 / t + 21,492 \dots\dots\dots(8.8)$$

2. Sherman :

$$I = 1200,2626 / t^{0,6643} \dots\dots\dots(8.9)$$

3. Ishiguro :

$$I = 474,2626 / t - 1,3268 \dots\dots\dots(8.10)$$

8.4.7 Pemilihan Persamaan IDC

Dari ketiga persamaan yang diperoleh, dipilih persamaan yang mendekati bentuk lengkung yang sebenarnya sesuai data intensitas curah hujan (I) stasiun Halim Perdana Kusumah.

Simpangan masing-masing persamaan terhadap bentuk IDC Halim Perdana Kusumah diperhitungkan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{\Sigma (I - I) / N - 1} \dots\dots\dots(8.26)$$

Dengan : I = intensitas curah hujan stasiun Halim Perdana Kusumah

I = intensitas hujan dari ketiga persamaan-persamaan yang diperoleh

N = jumlah data

Persamaan yang dipilih adalah yang mempunyai simpangan terkecil.

Perhitungan dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 8.9.

Untuk periode ulang 3 tahun dan 25 tahun, persamaan intensitas talbot perlu dikoreksi sebagai berikut :

dari data grafik 8.7 :

$$R_{24-3th} = 172 \text{ mm} \longrightarrow I_{3th} = 38,7 \text{ mm / jam}$$

$$R_{24-25th} = 268 \text{ mm} \longrightarrow I_{25th} = 60,3 \text{ mm / jam}$$

$$I_{3th} = a / t + 21,492 = 38,7 \longrightarrow a = 10119,737$$

$$I_{25th} = a / t + 21,492 = 60,3 \longrightarrow a = 15767,963$$

Jadi persamaan IDC untuk periode ulang 3 tahun dan 25 tahun adalah :

$$I_{3th} = 10119,737 / t + 21,492$$

$$I_{25th} = 15767,963 / t + 21,492$$

Tabel 8.13 Perhitungan Simpangan Rata-Rata dari persamaan lengkung Intensitas

Hujan

No	t	I	i	(I-i) ²	i	(I-i) ²	I	(I-i) ²
1	5	338,4	304,2384	1167,02	411,9391	5407,9992	129,1153	43800,0874
2	10	237,6	255,9342	336,14	259,9245	498,3828	54,6816	33459,1540
3	15	200,0	220,8669	435,43	198,5468	2,1117	34,6856	37328,8407
4	20	214,2	194,2513	397,95	164,0066	2519,3752	25,3981	35646,1676
5	45	106,2	121,2156	225,47	95,6958	110,3378	10,8694	9089,8382
6	60	90,5	98,938	70,62	79,0481	131,1463	8,0831	6792,5413
7	120	53,4	56,9634	12,70	49,8776	12,4073	3,9964	2440,7181
8	180	30,4	40,0009	92,18	38,0997	59,2851	2,6544	769,8207
9	360	21,9	21,1272	0,60	24,0401	4,5799	1,3223	423,4430
10	720	15,5	10,8698	21,44	15,1687	0,1097	0,6599	220,2281
		1308,1	1324,3714	2759,54	1336,3471	8745,7349	271,4560	159970,8392

Dari tabel diatas diperoleh besarnya simpangan dari ketiga persamaan :

1. Talbot

$$S = 17.510448$$

2. Sherman

$$S = 31,1728780302$$

3. Ishiguro

$$S = 133,3211825$$

Dari ketiga hasil diatas maka simpangan terkecil adalah dari hasil perhitungan Talbot, sehingga persamaan Talbot dipilih untuk membuat lengkung IDC.

Dari persamaan yang dipilih untuk persamaan IDC yaitu persamaan Talbot dapat dibuat lengkung IDC. Adapun data-data untuk membuat lengkung IDC dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 8.14 Data-data lengkung IDC

T (menit)	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	
	I 3th	I 25th
5	382,021	595,242
10	321,363	500,729
15	277,329	432,117
20	243,908	380,042
45	152,199	237,148
60	124,184	193,496
120	71,523	111,442
180	50,224	78,257
360	26,527	41,333
720	13,648	21,265

Contoh perhitungan :

Diambil $t = 5$ menit, dari persamaan Talbot

$$I_{3\text{th}} = 10119,737 / t + 21,492$$

$$= 10119,737 / 5 + 21,492$$

$$= 382,021 \text{ mm / jam}$$

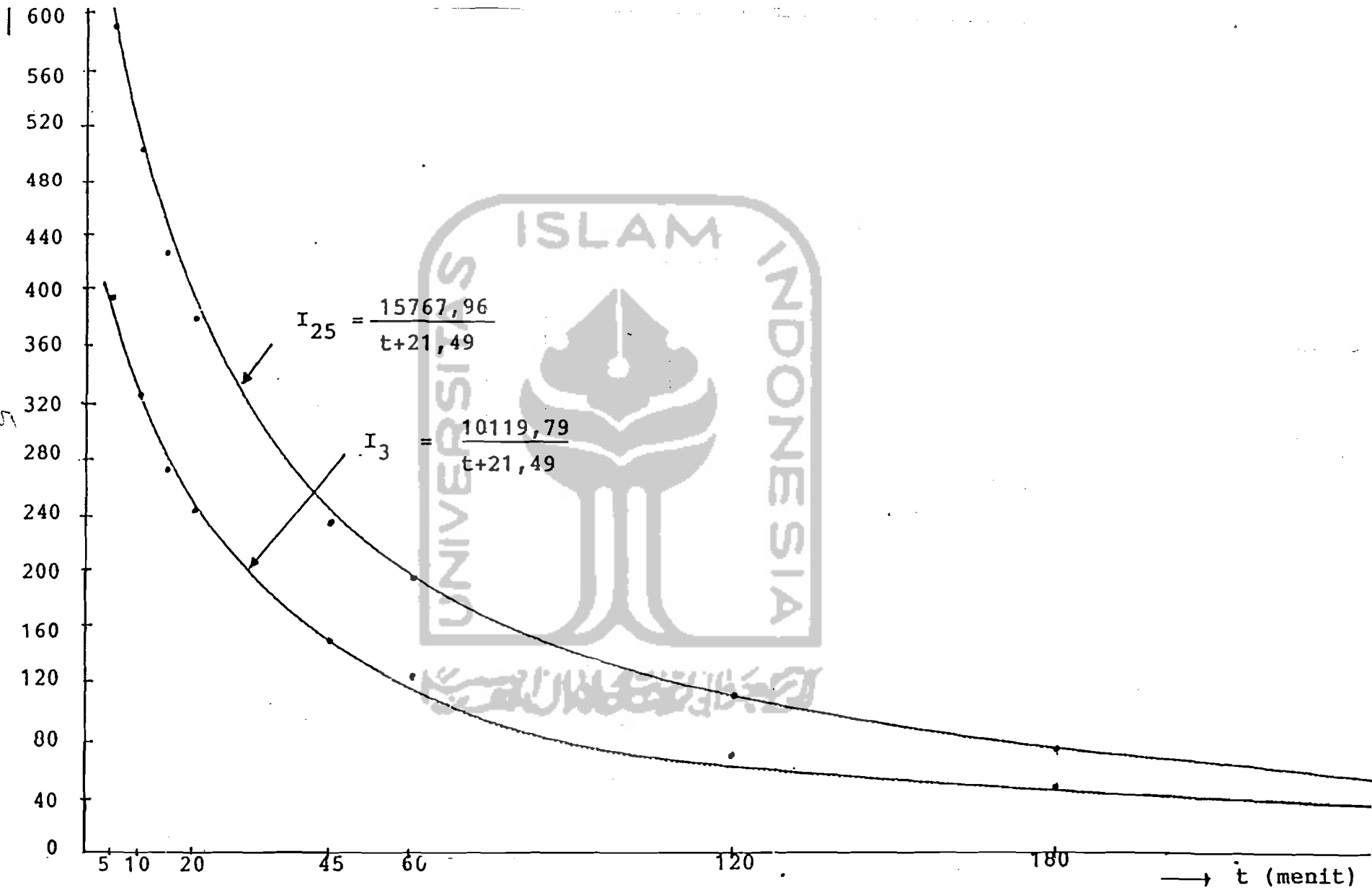
$$I_{25\text{th}} = 15767,963 / t + 21,492$$

$$= 15767,963 / 5 + 21,492$$

$$= 595,242 \text{ mm / jam}$$



Gambar 8.6 IDC rencana



8.5 Evaluasi Fasilitas Drainasi

8.5.1 Drainasi Permukaan pada Jalan Layang

Penampang fasilitas drainasi pada jalan layang adalah lingkaran dan dibuat dari pipa "PVC". "Lay Out" dan dimensinya dapat dilihat pada lampiran 6 dan 7.

Evaluasi akan dilakukan pada penampang P-4 , P-8 dan P-12.

a. Penampang P-4 :

$$\text{Aspal : } A = 20 \cdot 13,30 \text{ m}^2 = 305,6 \text{ m}^2 = 3,06 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$n = 0,013$$

$$S_o = 0,04 \quad ; \quad S = 0,023$$

$$L_{df} = 22,975 \text{ m} \quad ; \quad L_{of} = 13,30 \text{ m}$$

$$C = 0,9 \quad ; \quad V = 0,6 \text{ m/detik}$$

$$t_{of} = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot 13,30 \cdot 0,013 / (0,04) \right)^{1/6} \dots\dots\dots(8.13)$$

$$= 1,11 \text{ menit}$$

$$t_{df} = 22,975 / (60 \cdot 0,6) = 0,64 \text{ menit} \dots\dots\dots(8.14)$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 1,75 \text{ menit} \dots\dots\dots(8.15)$$

karena $t_c < 5$ menit, maka diambil $t_c = 5$ menit

$$I = 10119,73 / 5 + 21,492$$

$$= 382,02 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 0,9 \cdot 382,02 \cdot 3,06 \cdot 10^{-4}$$

$$= 0,029 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Penampang pipa horizontal :

$$AR^{2/3} = Q \cdot n / S^{1/2} \dots\dots\dots(8.19)$$

$$= 0,029 \cdot 0,013 / 0,023^{1/2}$$

$$= 0,0025$$

$$d_o = 25 \text{ cm} ;$$

$$AR^{2/3} / d_o = 0,0025 / (0,25)^{8/3}$$

$$= 0,1008$$

dari tabel 8.5

$$AR^{2/3} / d_o^{8/3} = 0,1008 \text{ diperoleh } y / d_o = 0,385$$

$$Y = 0,385 \cdot d_o = 0,385 \cdot 25 = 9,625 \text{ cm}$$

Dari hasil tersebut maka penampang diameter 25 cm dapat digunakan.

Penampang pipa vertikal :

$$Q_p = C \cdot 2 \cdot R \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots(8.17)$$

$$\text{Ambil } H = y = 9,625 \text{ cm} = 0,316 \text{ ft}$$

$$R = 0,5 d ; d = 25 \text{ cm} ; H / R = 0,773$$

Dari gambar 8.3 diperoleh harga $C = 2,66$

Sehingga :

$$Q_p = 2,66 \cdot 2 \cdot 0,409 \cdot (0,316)^{3/2}$$

$$= 1,214 \text{ cfs} = 0,0344 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

kontrol :

$$Q_d (0,029 \text{ m}^3 / \text{detik}) < Q_p (0,034 \text{ m}^3 / \text{detik}) \dots\dots\dots \text{OK}$$

b. Penampang P-8 :

$$\text{Aspal : } A = 13,30 \cdot 32,5 \text{ m}^2 = 432,25 \text{ m}^2 = 4,3206 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$n = 0,013$$

$$S_o = 0,04 ; S = 0,015$$

$$L_{df} = 32,5 \text{ m} ; L_{of} = 13,30 \text{ m}$$

$$C = 0,9 ; V = 0,6 \text{ m/detik}$$

$$t_{of} = (2/3 \cdot 3,28 \cdot 13,30 \cdot 0,013 / (0,04))^{1/5} \dots\dots\dots (8.13)$$

$$= 1,11 \text{ menit}$$

$$t_{df} = 32,5 / (60 \cdot 0,6) = 0,90 \text{ menit} \dots\dots\dots (8.14)$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 2,01 \text{ menit} \dots\dots\dots (8.12)$$

karena $t_c < 5$ menit, maka diambil $t_c = 5$ menit

$$I = 10119,73 / 5 + 21,492$$

$$= 382,02 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 0,9 \cdot 382,02 \cdot 4,32 \cdot 10^{-4}$$

$$= 0,0413 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Penampang pipa horizontal :

$$AR^{2/3} = Q \cdot n / S^{1/2} \dots\dots\dots (8.19)$$

$$= 0,0413 \cdot 0,013 / 0,015^{1/2}$$

$$= 0,0043$$

$$d_o = 25 \text{ cm} ;$$

$$AR^{2/3} / d_o = 0,0043 / (0,25)^{8/3}$$

$$= 0,1734$$

dari tabel 8.5

$$AR^{2/3} / d_o^{8/3} = 0,1734 \text{ diperoleh } y / d_o = 0,536$$

$$Y = 0,536 \cdot d_o = 0,536 \cdot 25 = 13,4 \text{ cm}$$

Dari hasil tersebut maka penampang diameter 25 cm dapat digunakan.

Penampang pipa vertikal :

$$Q_p = C \cdot 2 \cdot R \cdot H^{3/2} \dots \dots \dots (8.17)$$

$$\text{Ambil } H = y = 13,4 \text{ cm} = 0,439 \text{ ft}$$

$$R = 0,5 d ; d = 12,5 \text{ cm} ; H / R = 1,073$$

Dari gambar 8.3 diperoleh harga $C = 2,12$

Sehingga :

$$Q_p = 2,12 \cdot 2 \cdot 0,409 \cdot (0,409)^{3/2}$$

$$= 1,585 \text{ cfs} = 0,045 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

kontrol :

$$Q_d (0,0413 \text{ m}^3 / \text{detik}) < Q_p (0,045 \text{ m}^3 / \text{detik}) \dots \dots \dots \text{OK}$$

b. Penampang P-12 :

$$\text{Aspal : } A = 22,875 \cdot 13,30 \text{ m}^2 = 304,2375 \text{ m}^2 = 3,04 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$n = 0,013$$

$$S_o = 0,047 \quad ; \quad S = 0,04$$

$$L_{df} = 22,875 \text{ m} \quad ; \quad L_{of} = 13,30 \text{ m}$$

$$C = 0,9 \quad ; \quad V = 0,6 \text{ m/detik}$$

$$t_{of} = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot 13,30 \cdot 0,013 / (0,04) \right)^{1/6} \dots\dots\dots(8.13)$$

$$= 1,11 \text{ menit}$$

$$t_{df} = 22,875 / (60 \cdot 0,6) = 0,63 \text{ menit} \dots\dots\dots(8.14)$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 1,74 \text{ menit} \dots\dots\dots(8.12)$$

karena $t_c < 5$ menit, maka diambil $t_c = 5$ menit

$$I = 10119,73 / 5 + 21,492$$

$$= 382,02 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 0,9 \cdot 382,02 \cdot 3,04 \cdot 10^{-4}$$

$$= 0,0291 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Penampang pipa horizontal :

$$AR^{2/3} = Q \cdot n / S^{1/2} \dots\dots\dots(8.19)$$

$$= 0,0291 \cdot 0,013 / 0,047^{1/2}$$

$$= 0,00175$$

$$d_o = 25 \text{ cm} ;$$

$$\begin{aligned} AR^{2/3} / d_o &= 0,0175 / (0,25)^{8/3} \\ &= 0,0706 \end{aligned}$$

dari tabel 8.5

$$AR^{2/3} / d_o^{8/3} = 0,0706 \text{ diperoleh } y / d_o = 0,324$$

$$Y = 0,324 \cdot d_o = 0,324 \cdot 25 = 8,1 \text{ cm}$$

Dari hasil tersebut maka penampang diameter 25 cm dapat digunakan.

4. penampang pipa vertikal :

$$Q_p = C \cdot 2 \cdot R \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots (8.17)$$

$$\text{Ambil } H = y = 8,1 \text{ cm} = 0,265 \text{ ft}$$

$$R = 0,5 d ; d = 12,5 \text{ cm} ; H / R = 0,647$$

Dari gambar 8.3 diperoleh harga $C = 3,1$

Sehingga :

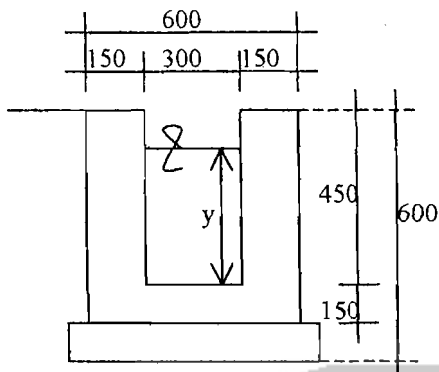
$$\begin{aligned} Q_p &= 2,12 \cdot 2 \cdot 0,409 \cdot (0,265)^{3/2} \\ &= 1,086 \text{ cfs} = 0,0308 \text{ m}^3 / \text{detik} \end{aligned}$$

kontrol :

$$Q_d (0,0291 \text{ m}^3 / \text{detik}) < Q_p (0,0308 \text{ m}^3 / \text{detik}) \dots\dots\dots \text{OK}$$

8.5.2 Drainasi Permukaan pada Persimpangan Sebidang

Pihak Perencana (PCI) telah merancang drainasi permukaan untuk persimpangan sebidang. Bentuk penampang dan dimensinya adalah sebagai berikut :



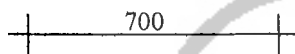
Type DS-1

Pada penampang 3

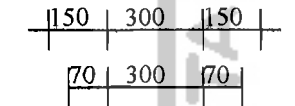
Asumsi : tinggi jagaan 25 %

$$y = 75 \% \cdot 45 = 33,75 \text{ cm}$$

$$A = 33,75 \cdot 30 = 1012,5 \text{ cm}^2$$



$$P = 30 + 2y = 97,5 \text{ cm}$$



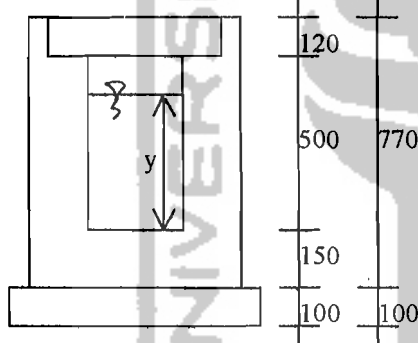
Type DS-2

Pada penampang 1,2,4,5

Asumsi : tinggi jagaan 25 %

$$y = 75 \% \cdot 50 = 37,5 \text{ cm}$$

$$A = 37,5 \cdot 30 = 1125 \text{ cm}^2$$



$$P = 30 + 2y = 105 \text{ cm}$$

Evaluasi dilakukan pada penampang-penampang 1,2,3,4 dan 5 (lihat lampiran 8) dengan dimensi seperti tersebut diatas.

a. Penampang 1 :

Data-data penampang

Tanah rumput	Aspal	Saluran
$L_{of1} = 4,8 \text{ m}$	$L_{of2} = 8,5 \text{ m}$	$L_{df} = 87,5 \text{ m}$
$n_1 = 0,002$	$n_2 = 0,013$	$So = 2 \%$
$C_1 = 0,6$	$C_2 = 0,9$	

Debit saluran :

tipe saluran DS-2 : $A = 1125 \text{ cm}^2 = 0,1125 \text{ m}^2$

$$P = 105 \text{ cm}^2 = 1,05 \text{ m}$$

$$n = 0,012 \text{ (saluran beton)}$$

$$S = 0,7 \%$$

$$R = A / P = 0,1125 / 1,05 = 0,11$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$= 1/0,012 \cdot 0,11^{2/3} \cdot 0,007^{1/2}$$

$$= 1,5 \text{ m/det (kec. Aliran air yang diizinkan untuk beton)}$$

$$Q_s = A \cdot V$$

$$= 0,1125 \cdot 1,5$$

$$= 0,19 \text{ m}^3/\text{det}$$

Debit rencana :

$$A_1 = 87,5 \cdot 4,8 = 420 \text{ m}^2 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$A_2 = 87,5 \cdot 8,5 = 743 \text{ m}^2 = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$t_{of1} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \frac{4,8 \cdot 0,02}{0,02} \right]^{1/6} = 1,06 \text{ menit}$$

$$t_{of2} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \frac{8,3 \cdot 0,013}{0,02} \right]^{1/6} = 1,09 \text{ menit}$$

$$t_{of} = t_{of1} + t_{of2} = 2,15 \text{ men}$$

$$t_{df} = 87,5 / (60 \cdot V) = 87,5 / (60 \cdot 0,6) = 2,41 \text{ menit}$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 2,15 + 2,41 = 4,56 \text{ menit}$$

$$I = 10119,73 / (t_c + 21,49) = 388,47 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot I \cdot (\sum C_i \cdot A_i) \dots \dots \dots (8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 388,47 \cdot (0,6 \cdot 4,2 \cdot 10^{-4} + 0,9 \cdot 7,4 \cdot 10^{-4})$$

$$= 0,099 \text{ m}^3 / \text{det}$$

Pemeriksaan

$$Q_d (0,099 \text{ m}^3 / \text{det}) < Q_s (0,19 \text{ m}^3 / \text{det}) \dots \dots \dots \text{OK}$$

Penampang 2 :

Aspal

$$L_{of} = 12 \text{ m}$$

$$S_1 = 2 \%$$

$$n_1 = 0,013$$

$$C_1 = 0,9$$

Saluran

$$L_{df} = 150 \text{ m}$$

$$S_2 = 0,002$$

$$n_2 = 0,012$$

$$C_2 = 0,9$$

Debit saluran :

tipe saluran DS - 2 \longrightarrow $Q_s = 0,19 \text{ m}^3 / \text{det}$

Debit rencana :

$$A_1 = 12 \cdot 150 = 1800 \text{ m}^2 = 18 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$t_{of1} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot \frac{12 \cdot 0,013}{0,02} \right]^{1/6} = 0,789 \text{ men}$$

$$t_{df} = 150 / (60 \cdot V) = 150 / (60 \cdot 0,6) = 4,17 \text{ menit}$$

$$t_c = t_{of1} + t_{df} = 0,789 + 4,17 = 4,959 \text{ menit}$$

$$I = 10119,73 / (t_c + 21,49) = 354,46 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot I \cdot (\sum C_i \cdot A_i) \dots \dots \dots (8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 354,46 \cdot (0,9 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4})$$

$$= 0,05 \text{ m}^3 / \text{det}$$

Pemeriksaan

$$Q_d (0,05 \text{ m}^3 / \text{det}) < Q_s (0,27 \text{ m}^3 / \text{det}) \dots \dots \dots \text{OK}$$

Penampang 3 :
Median (rumput)

$$L_{of1} = 13,45 \text{ m}$$

$$So_1 = 2 \%$$

$$n_1 = 0,02$$

$$C_1 = 0,6$$

$$A_1 = 67,5 \times 13,45 = 907,8 \text{ m}^2$$

$$= 9,07 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

Aspal

$$L_{of} = 13,3 \text{ m}$$

$$So_2 = 2 \%$$

$$n_2 = 0,013$$

$$C_2 = 0,9$$

$$A_2 = 67,5 \times 13,30 = 897,7 \text{ m}^2$$

$$= 8,97 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

Debit saluran :

tipe saluran DS - 1 : $A = 1012,5 \text{ cm}^2 = 0,10125 \text{ m}^2$
 $P = 97,5 \text{ cm} = 0,975 \text{ m}$

$$n = 0,012$$

$$S = 0,5 \%$$

$$L_{df} = 138 \text{ m}$$

$$R = A / P = 0,10125 / 0,975 = 0,104 \text{ m}$$

$$Q_s = 1/n \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$= 1/0,012 \cdot 0,10125 \cdot 0,105^{2/3} \cdot 0,005^{1/2}$$

$$= 0,13 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Debit rencana :

$$t_{of1} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot \frac{13,45 \cdot 0,02}{0,02} \right]^{1/6} = 4,16 \text{ menit}$$

$$t_{of2} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot \frac{13,3 \cdot 0,013}{0,02} \right]^{1/6} = 2,67 \text{ menit}$$

$$t_c = t_{of1} + t_{of2} = 6,83 \text{ menit}$$

$$t_{df} = L_{df} / (60 \cdot V) = 138 / (60 \cdot 0,6) = 3,83 \text{ menit}$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 6,83 + 3,83 = 10,66 \text{ menit}$$

$$I = 10119,73 / (t_c + 21,49) = 314,7 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot I \cdot (\sum C_i \cdot A_i) \dots \dots \dots (8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 314,7 \cdot (0,6 \cdot 9,07 \cdot 10^{-4} + 0,9 \cdot 8,97 \cdot 10^{-4})$$

$$= 0,121 \text{ m}^3 / \text{det}$$

Pemeriksaan

$$Q_d (0,121 \text{ m}^3 / \text{det}) < Q_s (0,132 \text{ m}^3 / \text{det}) \dots \dots \dots \text{OK}$$

d. penampang 4 :

$$\text{aspal : } L_{of} = 8,5 \text{ m}$$

$$S_o = 2\%$$

$$N = 0,013$$

$$A = 150 \cdot 8,5 = 1275 \text{ m}^2 = 12,75 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

Debit saluran :

$$\text{tipe saluran DS - 2 : } Q_r = 0,19 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

$$L_{df} = 150 \text{ m}$$

Debit Rencana :

$$t_{of} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot 8,5 \cdot \frac{0,013}{0,02} \right]^{1/6} = 1,09 \text{ menit}$$

$$t_{df} = 150 / (60 \cdot V) = 150 / (60 \cdot 0,6) = 4,17 \text{ menit}$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 1,09 + 4,17 = 5,26 \text{ menit}$$

$$I = 10119,73 / (t_c + 21,49) = 378,3 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot I \cdot (\sum C_i \cdot A_i) \dots\dots\dots(8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 378,3 \cdot (0,9 \cdot 12,75 \cdot 10^{-4})$$

$$= 0,12 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

pemeriksaan :

$$Q_d (0,12 \text{ m}^3 / \text{detik}) < Q_s (0,19 \text{ m}^3 / \text{detik}) \dots\dots\dots \text{OK}$$

e. Penampang 5 :

Median (rumput)

Aspal

$$L_{of1} = 13,30 \text{ m}$$

$$L_{of2} = 13,45 \text{ m}$$

$$S_{o1} = 2\%$$

$$S_{o2} = 2\%$$

$$n_1 = 0,013$$

$$n_2 = 0,02$$

$$C_1 = 0,9$$

$$C_2 = 0,6$$

$$A_1 = 97,5 \times 13,30 = 12,96 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

$$A_2 = 97,5 \times 13,45 = 13,11 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

Debit saluran :

tipe saluran DS - 2 :

$$Q_s = 0,19 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

$$L_{df} = 97,5 \text{ m}$$

Debit rencana :

$$t_{of1} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot 13,30 \cdot \frac{0,013}{0,02} \right]^{1/6} = 1,17 \text{ menit}$$

$$t_{of2} = \left[\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot 13,45 \cdot \frac{13,3 \cdot 0,013}{0,02} \right]^{1/6} = 1,26 \text{ menit}$$

$$t_{of} = t_{of1} + t_{of2} = 1,17 + 1,26 = 2,43 \text{ menit}$$

$$t_{df} = L_{df} / (60 \cdot V) = 97,5 / (60 \cdot 0,6) = 2,70 \text{ menit}$$

$$t_c = t_{of} + t_{df} = 2,70 + 2,43 = 5,13 \text{ menit}$$

$$I = 10119,73 / (t_c + 21,49) = 380,15 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot I \cdot (\sum C_i \cdot A_i) \dots \dots \dots (8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 380,15 \cdot (0,9 \cdot 12,96 \cdot 10^{-4} + 0,6 \cdot 13,11 \cdot 10^{-4})$$

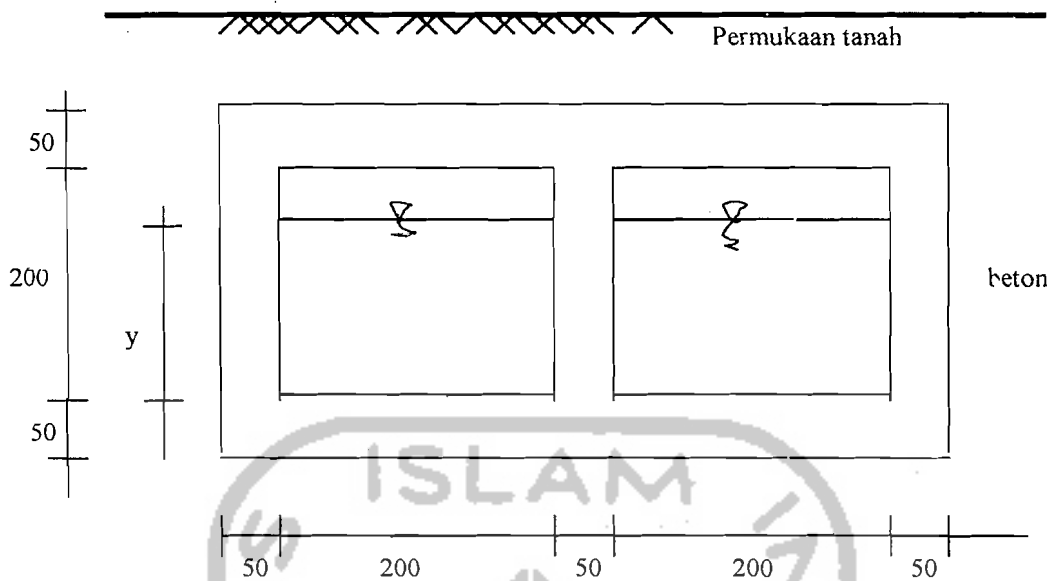
$$= 0,206 \text{ m}^3 / \text{det}$$

Pemeriksaan

$$Q_d (0,206 \text{ m}^3 / \text{det}) < Q_s (0,19 \text{ m}^3 / \text{det}) \dots \dots \dots \text{OK}$$

8.5.3 Drainasi Pokok

Drainasi pokok dirancang menggunakan gorong-gorong yang berbentuk “box culvert” seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 8.7 Gorong-gorong

Asumsi : tinggi jagaan = 30 %

$$y = 0,7 \cdot 200 = 140 \text{ cm}$$

Area tangkapan :

$$A = 1,210 \text{ km}^2$$

$$L = 1,0 \text{ km}^2$$

$$S = 0,03$$

$$n = 0,013$$

$$C = 0,6$$

$$t_c = 0,0195 (L / S)^{0,77} = 0,0195 (1250 / 0,03)^{0,77} \dots\dots\dots(8.15)$$

$$= 18,237 \text{ menit}$$

$$I = 15767,96 / 18,237 + 21,492$$

$$= 254,732 \text{ mm / jam}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(8.11)$$

$$= 0,278 \cdot 0,6 \cdot 254,732 \cdot 1,210$$

$$= 51,412 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

penampang :

asumsi : tinggi jagaan 25 %

$$y = 0,75 \cdot 200 \text{ cm} = 150 \text{ cm}$$

$$A = 2y = 3,0 \text{ m}^2$$

$$P = (2y + 2) = 8 \text{ m}$$

$$R = A / P = 0,600 \text{ m}$$

$$Q_p = 1/n \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots(8.18)$$

$$= 1/0,013 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (0,600)^{2/3} \cdot 0,03^{1/2}$$

$$= 56,77 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

$$Q_d (51,412 \text{ m}^3 / \text{detik}) < Q_p (56,77 \text{ m}^3) \dots\dots\dots \text{OK !}$$

8.5.4 Drainasi Bawah Tanah

Drainasi bawah tanah ("sub surface drainage") diperlukan pada tempat atau lokasi, dimana dapat terjadi kemungkinan merembesnya air pada konstruksi jalan akibat air tanah yang berlebihan atau muka air tanah yang cukup tinggi sehingga dapat mengganggu kestabilan atau merusak badan jalan.

Drainasi bawah tanah umumnya tergantung pada kondisi setempat / lapangan, jadi tidak setiap pembuatan sarana drainasi harus ada drainasi bawah tanah, seperti halnya pada proyek ini. Pada proyek pembangunan Simpang

Grogol ini Sistem drainasi bawah tanah permukaan tidak dipakai karena muka air tanah tidak cukup tinggi.

Tabel 8.15 Perbandingan hasil evaluasi dengan hasil perancangan konsultan

No	Fasilitas Drainasi	Konsultan	Evaluasi	Keterangan
1	Jalan Layang Bentuk	Lingkar (Pipa "PVC") Diameter 25 cm	Lingkar (Pipa "PVC") Diameter 25 cm	
2	Penampang P - 4 Qd Qp P - 8 Qd Qp P - 12 Qd Qp	P - 4, P - 8, P - 12 0,029 m ³ /detik 0,0344 m ³ /detik 0,0413 m ³ /detik 0,045 m ³ /detik 0,0291 m ³ /detik 0,0308 m ³ /detik	P - 4, P - 8, P - 12 0,029 m ³ /detik 0,0344 m ³ /detik 0,0413 m ³ /detik 0,045 m ³ /detik 0,0291 m ³ /detik 0,0308 m ³ /detik	Mengambil dimensi yang sama dengan konsultan
1	Persimpangan Bentuk	Segi empat Type DS - 1 Type DS - 2	Segi empat Type DS - 1 Type DS - 2	
2	Penampang	Type DS - 1 : P - 3 Type DS - 2 : P - 1, P - 2, P - 4, P - 5	Type DS - 1 : P - 3 Type DS - 2 : P - 1, P - 2, P - 4, P - 5	
3	Type DS - 1 P - 3 Tinggi Jagaan V Qs Qd	30 % 0,6 m/detik 0,18 m ³ /detik 0,121 m ³ /detik Kontrol Qd < Qs ... OK	25 % 1,5 m/detik 0,132 m ³ /detik 0,121 m ³ /detik Kontrol Qd < Qs ... OK	
4	Type DS - 2 P - 1, P - 2, P - 4, P - 5 Tinggi Jagaan V Qs Qd	30 % 0,6 m/detik 0,27 m ³ /detik 0,099 m ³ /detik Kontrol Qd < Qs ... OK	25 % 1,5 m/detik 0,19 m ³ /detik 0,099 m ³ /detik Kontrol Qd < Qs ... OK	Adanya perubahan dimensi pada penampang dan perubahan tinggi jagaan menghasilkan Qs yang berlainan, dan keduanya sama - sama aman. Tetapi dalam perancangan segi ekonomis perlu diperhatikan
1	Pokok Bentuk	Gorong-gorong("Culvert")	Gorong-gorong("Culvert")	
2	Tinggi Jagaan	30 %	25 %	
3	Qp	52,06 m ³ /detik	56,77 m ³ /detik	
4	Qd	51,412 m ³ /detik Kontrol : Qd < Qp ... OK	51,412 m ³ /detik Kontrol : Qd < Qp ... OK	

8.6 Pembahasan

Fungsi drainasi secara umum dalam perancangan jalan raya adalah untuk mengalirkan air permukaan dan air tanah, agar tidak mengganggu dan merusak konstruksi perkerasan jalan, sehingga jalan dapat memberikan pelayanan sesuai fungsi yang diharapkan.

Dari hasil perbandingan yang ditunjukkan pada tabel 8.15, evaluasi yang dilakukan menunjukkan dimensi saluran yang dipakai sudah memenuhi persyaratan, pada perancangan drainasi untuk jalan layang dimensi pipa yang digunakan sudah ekonomis, karena pada umumnya diameter 25 cm sering dipakai pada perancangan drainasi untuk jalan layang sehingga tidak perlu dirancang kembali, pada perancangan untuk persimpangan sebidang dengan memperkecil dimensi ternyata masih memenuhi persyaratan dan dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan, dari hal ini kami dapat menarik kesimpulan hasil rancangan kembali lebih ekonomis dari hasil rancangan konsultan. hal ini dapat dilihat dari hasil perbandingan debit yang dihasilkan. Dari kedua hasil perbandingan diatas hasil keduanya sama-sama dapat dipakai tetapi dalam perancangan kita harus memperhatikan segi ekonomisnya, dengan demikian dapat mengurangi biaya konstruksi. Debit rancangan (Q_d) yang dihasilkan lebih kecil dari debit yang dihasilkan pada debit penampang (Q_p) pada jalan layang dan gorong-gorong dan debit saluran (Q_s) pada persimpangan sebidang.