

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Drainase

Salah satu upaya untuk mengurangi kelebihan air atau untuk membuang air yang tidak digunakan, maka perlu direncanakan sebuah bangunan yang disebut dengan drainase.

2.1.1 Pengertian Drainase

Menurut John W. Selleck, drainase adalah proses pengeluaran air dari suatu area, baik itu melalui metode alami maupun buatan manusia. Dia juga menjelaskan bahwa sistem drainase yang baik harus mampu mengelola air dengan rentang waktu secepat mungkin dan juga efisien agar tidak menyebabkan genangan air yang berpotensi merusak dan mengganggu lingkungan. Sedangkan Richard H. French, mengemukakan bahwa drainase merupakan sistem pengelolaan air yang terdiri dari jaringan saluran-saluran yang dirancang untuk mengalirkan air ke tempat yang seharusnya. Menurutnya, drainase juga harus mampu mengendalikan air tanah agar tidak merusak struktur bangunan dan lahan pertanian.

Sistem drainase pada lapangan sepak bola memiliki fungsi untuk mengeringkan lapangan sepak bola agar tidak terdapat genangan pada permukaan lapangan apabila terjadi hujan pada saat pertandingan berlangsung. Dikarenakan genangan pada lapangan sepak bola dapat membahayakan pemain sepak bola di lapangan. Oleh karena itu sistem drainase lapangan sepakbola diusahakan dapat meresapkan air kedalam tanah secepat cepatnya sebelum menimbulkan genangan. Selain itu drainase lapangan sepak bola juga tidak boleh mengganggu kesuburan rumput yang ada dipermukaan lapangan dan lapangan harus nyaman digunakan ketika tidak terjadi hujan ataupun ketika turun hujan.

2.1.2 Aspek Perencanaan

Perencanaan drainase harus mempertimbangkan beberapa faktor agar drainase tersebut dapat bekerja secara optimum, berikut adalah bebeapa aspek perencanaan drainase :

- Penentuan debit rencana drainase berdasarkan curah hujan maksimum dengan kala ulang tertentu yang terjadi pada wilayah tersebut dan memperhitungkan debit limbah domestik yang mungkin dibuang ke saluran tersebut.
- Pendimensian peampang drainase harus memperhatikan luasan dan tata guna wilayah yang dilayani agar dimensi drainase menjadi efisien. Selain itu pada tahap pelaksanaannya juga harus menggunakan metode yang mudah dilaksanakan.
- Kemiringan dasar saluran drainase juga perlu diperhatikan agar drainase terhindar dari penumpukan sedimen yang mungkin terjadi, penumpukan sedimen dapat ditanggulangi antara lain dengan mempercepat aliran atau merencanakan bangunan pelengkap yang berfungsi sebagai tempat pengendapan sedimen.
- Kecepatan aliran drainase bergantung pada bahan penyusun drainase tersebut, semakin kuat material penyusunnya, maka semakin besar kecepatan yang diizinkan.
- Kontrol dari perencanaan drainase adalah debit yang dapat dilayani oleh drainase tersebut, harus lebih besar dari debit yang membebani saluran dengan kala ulang tertentu.
- Mayoritas perencanaan drainase disertai dengan perencanaan bangunan pelengkap, seperti bak kontrol, pintu air, perencanaan pompa, bangunan terjunan dan lain sebagainya.

2.1.3 Sistem Drainase

Sistem drainase membahas alur aliran air hulu hingga menuju hilir (pembuangan) yang dapat dialirkan menuju muara sungai, waduk, maupun laut. Secara umum drainase difungsikan sebagai alat membuang kelebihan air yang terjadi pada suatu wilayah. Ada beberapa jenis drainase yang ditinjau dari beberapa aspek seperti bahan penyusun, letak saluran, fungsi dan wilayah. Beberapa contoh seperti drainase alami, drainase buatan, drainase jalan raya, dan drainase bandara.

2.2 Analisa Hidrologi

Dalam perencanaan drainase bawah permukaan memerlukan analisa hidrologi untuk merencanakan debit hujan rancangan yang akan dilayani oleh saluran sehingga dimensi saluran menjadi efisien. Kala ulang hujan yang biasa digunakan adalah kala ulang 10 tahun.

2.2.1 Data Hujan

Pengambilan data hujan dalam satu hari dilakukan dengan pengamatan selama 24 jam. Pada perencanaan beberapa bangunan khusus data hujan yang digunakan tidak menggunakan data hujan harian, melainkan menggunakan data curah hujan jam-jaman. Untuk menambah keakuratan data hujan direkomendasikan untuk menggunakan data hujan yang didapatkan dari alat pengukuran hujan otomatis. Setiap pos hujan atau stasiun hujan biasanya menggunakan salah satu dari dua alat ukur, yakni :

➤ Alat ukur hujan biasa (*manual raingauge*)

Alat ukur hujan manual berbentuk tabung yang menampung air hujan selama 24 jam, kemudian setiap harinya air yang tertampung dalam tabung tersebut dituangkan ke dalam gelas ukur dan dilakukan pembacaan besaran tinggi hujan harian dalam satuan millimeter. Selanjutnya data tersebut dicatat oleh petugas dan dijadikan sebagai acuan data perencanaan.

➤ Alat ukur hujan otomatis (*automatic raingauge*)

Alat ini bekerja dengan mencatat secara terus menerus rekam hujan yang terjadi pada kertas pencatat. Hasil dari pengukuran menggunakan alat ini adalah besarnya curah hujan selama 24 jam dengan satuan milimeter. Pengukuran dengan menggunakan *automatic raingauge* lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan *manual raingauge* dikarenakan dapat meminimalisir *human error*.

2.2.2 Analisis Frekuensi

Tujuan dilakukannya analisa frekuensi adalah berkaitan dengan besarnya kejadian ekstrim seperti hujan lebat dan banjir yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Dalam analisis frekuensi,

hasil yang diperoleh bergantung pada kualitas dan panjang data. Semakin pendek data yang tersedia, maka akan semakin besar kemungkinan penyimpangan yang terjadi. Dalam ilmu statistik terdapat beberapa jenis distribusi frekuensi, akan tetapi dalam ilmu hidrologi ada empat jenis distribusi yang sering diterapkan, antara lain Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log Pearson III Distribusi Gumbel. Dalam tugas akhir ini menggunakan Distribusi Log Pearson III karena nilai koefisien skewness (Cs) lebih fleksibel sebagai syarat perhitungan selanjutnya. Pengujian data tersebut memerlukan hasil dari perhitungan standar deviasi (Sd), koefisien varian (Cv), koefisien skewness (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck) yang dijelaskan pada uraian dibawah ini:

- Standar deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(xi-x)^2}{(n-1)}}$$

- Koefisien keragaman sample (Cv)

$$Cv = \frac{S}{R}$$

- Koefisien kemiringan populasi (Cs)

$$Cs = \frac{N\sum(Ri-R)^3}{(n-1)(n-2)S^4}$$

- Koefisien kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{N\sum(Ri-R)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4}$$

Keterangan :

R = data hujan rata rata (mm)

Ri = data hujan (mm)

n = jumlah sample

Distribusi Log Person tipe III

Berikut adalah perhitungan hujan rencana menggunakan metode Log Person III :

- Data hujan rata rata tahunan yang akan digunakan terlebih dahulu diubah kedalam bentuk logaritma (log Ri).
- Selanjutnya dihitung nilai logaritma rata-rata

$$\text{LogR} = \frac{\sum_{i=1}^n \log Ri}{n}$$

- Langkah selanjutnya adalah diitung harga simpangan baku/ standar deviasi :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n 1 \log Ri = \text{Log} R^2}{n-1}}$$

- Selanjutnya adalah mencari nilai dari koefisien kemencengan (Cs) :

$$Cs = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n 1 \log Ri - \text{Log} R^2}{n-1(n-2)S^3}}$$

- Dihitung logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu :

$$\text{Log} R_T = \text{Log} R_I + Sd \cdot G$$

Keterangan :

RT = Curah hujan rancangan (mm)

Sd = simpangan Baku

Log Ri = rata-rata logaritma dari hujan maksimum (mm)

G = konstanta

Koefisien C _s	Waktu balik dalam tahun							
	2		5		10		100	
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

Dikutip dari DR. M.M.A. SHANIN/Statistical Analysis in Hydrology

Gambar 2. 1 Distribusi Log Person Tipe III untuk kemencengan Ck

2.2.3 Uji Kecocokan Data

Untuk menguji apakah data yang digunakan akurat maka dilakukan uji kecocokan distribusi terhadap fungsi dari distribusi peluang yang direncanakan, maka data yang mewakili distribusi frekuensi itu dilakukan pengujian Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

2.2.3.1 Uji Chi-Kuadrat (*Chi-Square*)

Uji Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang (metode yang digunakan untuk mencari hujan rencana) dapat mewakili dari distribusi sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 . (Soewarno, 1995) perhitungan Chi-Kuadrat dengan parameter X^2 dapat dihitung menggunakan rumus :

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

Keterangan :

X^2 = Parameter Chi Kuadrat terhitung

Σ = jumlah sub kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

Parameter X^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai X^2 sama atau lebih besar dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya (X^2) dapat dilihat pada Gambar 2.2. di bawah.

Prosedur Uji Chi-Kuarat adalah:

- Mengurutkan data hujan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
- Kelompokkan data hujan tersebut menjadi G sub grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data hujan.
- Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup.
- Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
- Tiap-tiap sub grup dihitung nilai

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

- Jumlah seluruh G sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi- Kuadrat hitung.
- Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R=2$, untuk distribusi normal dan binomial, nilai $R=1$, untuk distribusi poisson).
- Interpretasi hasilnya adalah:
 - Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
 - Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
 - Apabila peluang berada diantara 1-5% adalah tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu tambah data.

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	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	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber : Bonnier, 1980

Gambar 2. 2 Tabel Nilai Kritis Dsistribusi Chi-Kuadrat

2.2.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametik (*non-parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Soewarno, 1995). Berikut adalah tahapan analisisnya :

- Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari setiap data tersebut:

$$X_1 \quad P(X_1)$$

$$X_2 \quad P(X_2)$$

$$X_m \quad P(X_m)$$

$$X_n \quad P(X_n)$$

- Tentukan nilai setiap peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya):

$$X_1 \quad P'(X_1)$$

$$X_2 \quad P'(X_2)$$

$$X_m \quad P'(X_m)$$

$$X_n \quad P'(X_n)$$

- Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
- Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan harga D_0 yang tersaji pada (Gambar 2.3).

Interpretasi hasilnya adalah:

- Apabila $D < D_0$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima.
- Apabila $D > D_0$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

No.	N	α			
		0,20	0,10	0,05	0,01
1	5	0,45	0,51	0,56	0,67
2	10	0,32	0,37	0,41	0,49
3	15	0,27	0,30	0,34	0,40
4	20	0,23	0,26	0,29	0,36
5	25	0,21	0,24	0,27	0,32
6	30	0,19	0,22	0,24	0,29
7	35	0,18	0,20	0,23	0,27
8	40	0,17	0,19	0,21	0,25
9	45	0,16	0,18	0,20	0,24
10	50	0,15	0,17	0,19	0,23
	N>50	$\frac{1,07}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber: Soewarno, 1995

Gambar 2. 3 Nilai Kritis Do Untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

2.2.4 Debit Banjir Rencana

Pengertian dari debit banjir rencana merupakan debit banjir terbesar yang mungkin terjadi dengan kala ulang tertentu. Besarnya debit banjir rencana dapat dianalisa dengan mengjitung besarnya hujan maksimum dengan periode waktu tertentu. Dapat disimpulkan bahwa dua hal tersebut memiliki keterkaitan, yakni data hujan harian maksimum merupakan data yang dipakai untuk menganalisa debit banjir rencana.

2.2.4.1 Intensitas Hujan

Ada beberapa metode untuk menganalisa intensitas hujan harian, pada perencanaan ini menggunakan metode Mononobe. Data yang dibutuhkan antara lain data hujan harian, waktu konsentrasi (t_c) yakni waktu yang dibutuhkan air mengalir dari titik terjauh menuju tempat pembuangan. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda, karena disebabkan oleh lamanya curah hujan atau frekuensi kejadiannya. Maka dapat disimpulkan bahwa curah hujan rancangan merupakan besaran hujan dengan durasi yang sama dengan waktu konsentrasi. Berikut perhitungan intensitas hujan dengan menggunakan rumus Mononobe:

$$I = \frac{R}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Keterangan :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t_c = waktu konsentrasi (jam)

2.2.4.2 Analisa Debit Saluran

Perhitungan debit yang membebani saluran menggunakan Metode rasional dengan asumsi seluruh air yang turun pada daerah yang di tunjau akan membebani saluran. Maka besarnya debit tersebut dihitung dengan menggunakan metode berikut ini :

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Keterangan :

Q = debit banjir ($m^3/detik$)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan untuk periode ulang tertentu (mm/jam)

A = area yang akan dianalisa (km^2)

2.3 Analisa Tanah

Tanah adalah gabungan beberapa butiran padat berpori yang saling berhubungan, sehingga ketika tanah tersebut terkena air, maka air dapat mengalir melalui celah butiran menuju tempat yang lebih rendah.

2.3.1 Struktur Lapisan Tanah Lapangan Sepak Bola

Peraturan Internasional yang dibuat oleh FIFA dicantumkan standar mengenai struktur tanah yang digunakan dalam perencanaan drainase bawah permukaan lapangan sepak bola. Secara global ada beberapa konfigurasi lapisan yang digunakan pada lapangan sepak bola, hal tersebut bergantung pada kondisi dan metrial penyusun lapisan yang tersedia di sekitar lokasi perencanaan. Tujuan dari direncankannya lapisan tanah lapangan sepak bola adalah untuk merencanakan lapisan tanah yang stabil agar tanah tetap rata, cepat meresapkan air dan rumput tetap dapat tumbuh subur.

Lapisan tanah yang berada pada permukaan perlu ditambahkan dengan pupuk kandang, agar rumput yang tumbuh di atasnya menjadi lebih subur. Selanjutnya lapisan dibawahnya adalah lapisan pasir, agar air dapat meresap lebih cepat. lapisan selanjutnya merupakan agregat kasar yang memiliki ukuran sesuai

dengan perencanaannya. Pada lapisan tersebut, agregat yang digunakan memiliki gradasi yang seragam namun di kelompokkan menurut ukuran butiran. Untuk lapisan pertama agregat yang digunakan berdiameter lebih besar daripada agregat dibawahnya. Lapisan selanjutnya agregat kasar dan sebagai lapisan pelindung pipa menggunakan agregat yang lebih kecil ukurannya. Tebal masing-masing lapisan tanah direncanakan setebal 100-150 mm.

2.3.2 Analisa Lapisan Tanah Lapangan Sepak Bola

Perencanaan drainase bawah permukaan harus merencanakan struktur lapisan tanah yang mudah di tembus oleh air sehingga meminimalisir timbulnya genangan yang disebabkan lamanya kinerja dari kapasitas tanah tersebut meresapkan air.

2.3.2.1 Rembesan Ekuivalen

Pada tanah yang berlapis dan dengan lapisan yang tidak seragam, maka nilai rembesannya dihitung secara ekuivalen sesuai dengan tebal dan material penyusun dari lapisan tersebut. perhitungan nilai k arah aliran vertikal dapat di hitung dengan metode berikut : (Braja M Das, 1998: 92)

$$K_{V(\text{equivalen})} = \frac{H}{\left(\frac{h_1}{k_1}\right) + \left(\frac{h_2}{k_2}\right) + \left(\frac{h_3}{k_3}\right) + \dots + \left(\frac{h_n}{k_n}\right)}$$

Keterangan :

K = koefisien permeabilitas (cm/detik)

H = ketebalan lapisan tanah (mm)

Rembesan arah horizontal :

$$k_{H(\text{eq})} = \frac{1}{H}(k_{h1} \cdot H_1 + k_{h2} \cdot H_2 + k_{h3} \cdot H_3 + \dots + k_n \cdot H_n)$$

Rembesan arah vertikal :

$$K_{V(\text{eq})} \cdot \frac{h}{H} = K_{v1} \cdot i_1 = k_{v2} \cdot I_2 = k_{v3} \cdot I_3 = \dots = k_{vn} \cdot I_n$$

2.3.2.2 Porositas Tanah

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas, dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Maka dapat dirumuskan : mekanika tanah,(Braja M.Das,1988)

➤ Angka Pori

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume butiran padat (tanah).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Keterangan :

V_v = volume pori

V_s = volume butir

➤ Porositas Tanah

Porositas didefinisikan dengan perbandingan antara volume pori dengan volume tanah

$$n = \frac{e}{(1+e)}$$

Keterangan :

n = porositas tanah

e = angka pori

2.3.2.3 Permeabilitas Tanah

Dalam menghitung kecepatan aliran air yang mengalir dalam tanah yang jenuh digunakan hukum Darcy, sebagai berikut :

$$v = k.i$$

Keterangan :

V = kecepatan aliran, yaitu banyaknya air yang mengalir melalui suatu satuan luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran air dalam satuan waktu

k = koefisien rembesan

I = gradien hidrolis

koefisien permeabilitas :

$$Q = k.i.A \text{ atau } \frac{Q}{i \cdot A}$$

Keterangan :

Q = debit (m^3/det)

K = koefisien permeabilitas

I = miring hidrolis

A = luas bidang pengairan

Koefisien rembesan (*coefficient of permeability*) memiliki kepadatan yang sama dengan kecepatan. Koefisien permeabilitas yang dinyatakan dalam satuan cm/detik dan total volume adalah cm^3 . Koefisien permeabilitas bergantung pada beberapa faktor, antara lain :

- Kekentalan
- Sebaran angka pori
- Ukuran partikel
- Angka pori
- Kekasaran permukaan lapisan
- Kejenuhan tanah

Harga untuk koefisien rembesan (k) untuk pada jenis-jenis tanah berbeda, sesuai dengan kerapatan angka pori atau permeabilitasnya. Berikut harga koefisien rembesan yang disajikan pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Perkiraan Harga k

Jenis Tanah	k	
	(cm/detiik)	(ft/menit)
Kerikil bersih	1,0 - 100	2,0 - 200
Pasir kasar	1,0 - 0,01	2,0 - 0,02
pasir halus	0,01 - 0,001	0,02 - 0,002
lanau	0,001 - 0,00001	0,002 - 0,00002
lempung	kurang dari 0,000001	kurang dari 0,000002

2.3.2.4 Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air yang mengalir secara vertikal kedalam tanah melalui permukaan tanah ke dalam tanah hingga lapisan tanah kedap air (meresap). Berikut adalah tabel yang memberikan angka infiltrasi untuk jenis-jenis tanah sesuai dengan kondisinya yang disajikan pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2 Laju Infiltrasi

Jenis Tanah	Total infiltrasi setelah 3 jam (mm)	Laju infiltrasi setelah jam (mm/jam)
<i>Coarse textured soil</i>	150 - 300	50 - 100
<i>Medium textured soil</i>	30 - 100	10 - 50
<i>Fine textured soil</i>	30 - 70	1 - 10

2.4 Analisa Hidrolika

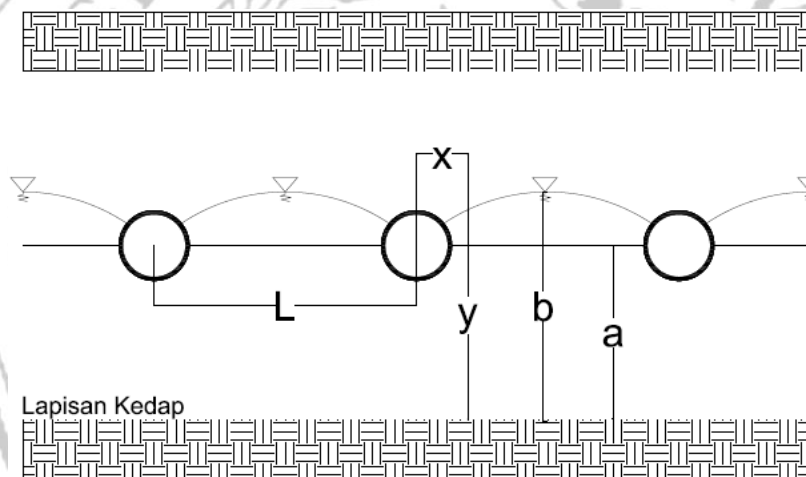
Sistem kerja dari drainase bawah permukaan pada lapangan sepak bola adalah menggunakan sistem infiltrasi yakni dengan cara meresapkan air yang menggenangi lapangan kedalam lapisan tanah dimana didalam struktur lapisan tanah tersebut telah ditanami *geopipe*. Pada perencanaan drainase lapangan sepak bola, tidak boleh terdapat genangan air pada permukaan tanah agar tidak mengganggu pemain sepak bola. Sistem drainase pada lapangan sepak bola merupakan kombinasi antara drainase bawah permukaan dengan drainase permukaan. Drainase bawah permukaan berfungsi untuk meresapkan air yang turun diatas lapangan dan drainase permukaan berfungsi sebagai saluran pengumpul dari air yang telah diresapkan.

2.4.1 Drainase Bawah Permukaan

Sistem kerja dari drainase bawah permukaan ini adalah dengan cara meresapkan air kedalam tanah melalui celah kecil yang terdapat pada tanah. Dapat digambarkan air yang turun pada lapangan sepak bola, akan meresap melalui pori-pori tanah yang selanjutnya air tersebut akan mengalir menuju pipa yang ditanam dibawah permukaan lapangan. Air yang melewati pipa akan mengalir menuju saluran pengumpul yang berada di sisi luar *running track* selanjutnya air tersebut akan di alirkan menuju kolam penampungan yang berada di luar stadion, selanjutnya air tersebut dapat digunakan kembali atau dibuang menuju sungai yang selanjutnya bermuara ke laut. Pipa yang ditanam pada bawah lapangan sepak bola biasanya berbahan plastik HDPE karena memiliki sifat yang lentur..

2.4.1.1 Perhitungan Jarak Antar Pipa *subsurface drainage*

Penentuan jarak antar pipa bawah permukaan bertujuan agar kinerja dari drainase bawah permukaan menjadi optimum, yakni agar kebutuhan pipa berbanding lurus dengan besarnya air hujan yang turun di atas lapangan sepak bola. Perhitungan jarak antar pipa ini merupakan langkah pendekatan agar pipa yang dibutuhkan tidak terlalu banyak dan dapat meresapkan air secepatnya. Berikut adalah analisa jarak antar pipa menggunakan metode Darcy dan metode Hooghoudt. Sedikit berbeda dengan menggunakan metode Darcy, untuk menentukan jarak antar pipa menggunakan rumus Hooghoudt ada beberapa hal yang harus dicari terlebih dahulu antara lain koefisien permeabilitas tanah, selisih antar muka air tertinggi dengan muka air pada saluran dan asumsi diameter pipa yang digunakan.



Gambar 2. 4 Penentuan jarak Antar Pipa

➤ Metode Darcy

Untuk analisa menggunakan metode Darcy ada beberapa parameter yang dibutuhkan, antara lain jarak dari lapisan kedap terhadap permukaan tanah, rencana kedalaman pipa dari permukaan tanah, koefisien permeabilitas tanah, laju infiltrasi tanah dan asumsi selisih muka air tanah maksimum.

$$L = 2 \cdot \sqrt{\frac{k}{v} (b^2 - a^2)}$$

Keterangan :

L = Jarak antar pipa (mm)

k = koefisien permeabilitas tanah (mm/jam)

v = laju infiltrasi tanah (mm/jam)

b = jarak lapisan kedap terhadap muka air maksimum (mm)

a = jarak lapisan kedap terhadap pipa drain (mm)

➤ Metode Hooghoudt

Untuk menentukan jarak antar pipa dengan menggunakan metode Hooghoudt ada beberapa parameter yang harus diketahui antara lain koefisien permeabilitas tanah, jarak antar muka air tertinggi dengan muka air pada saluran dan asumsi diameter pipa yang digunakan.

$$L^2 = \frac{8 \cdot K \cdot d \cdot h}{q}$$

Keterangan :

L = jarak pipa drain (m)

k = koefisien permeabilitas tanah (mm/jam)

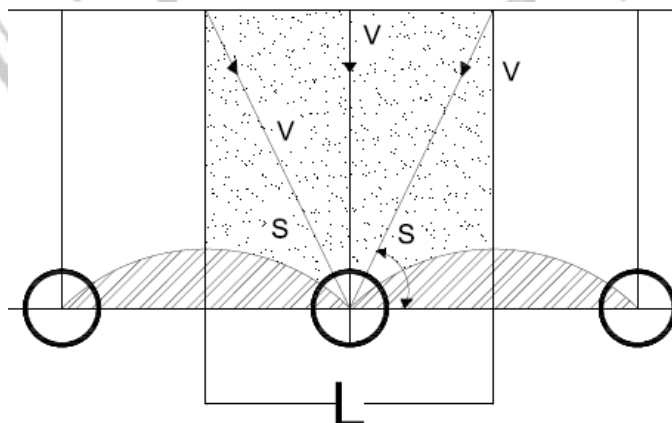
d = diameter pipa yang di asumsikan (m)

h = jarak antar muka air tertinggi dengan muka air pada saluran (m)

q = debit per satuan luas area (mm/jam)

2.4.1.2 Kapasitas Sistem Drainase

Peninjauan kapasitas pipa drain dilakukan dengan meninjau 1 meter panjang pipa drain. Ada beberapa parameter yang perlu diketahui, antara lain kedalaman pipa, jarak antar pipa, panjang pipa, laju infiltrasi tanah dan porositas tanah.



Gambar 2. 5 Definisi Penentuan Kapasitas Pipa

Selain itu juga dibutuhkan beberapa parameter seperti :

$$q_2 = 0,8 \cdot n \cdot V_1 \cdot \sin^2 \alpha$$

Keterangan :

q_2 = kapasitas pipa (mm/jam)

n = porositas tanah

V_1 = kecepatan resapan (mm/jam)

$\sin^2 \alpha$ = sudut pipa terhadap arah aliran

Perhitungan di atas terdapat beberapa variable yang harus dianalisa terlebih dahulu, seperti :

➤ Daya resap tanah

$$q_1 = n \cdot V_1$$

Keterangan :

q_1 = laju infiltrasi tanah (mm/jam)

n = porositas tanah

V_1 = kecepatan aliran searah S (mm/jam)

➤ Kecepatan aliran

$$V_1 = \frac{q_1}{n}$$

Keterangan :

V_1 = kecepatan aliran searah S (mm/jam)

q_1 = laju infiltrasi tanah (mm/jam)

n = porositas tanah

➤ Persamaan sudut pada pipa

$$\tan \alpha = \frac{H}{0,5 L}$$

$$S = \frac{H}{\sin \alpha}$$

$$t = \frac{H}{V \sin \alpha}$$

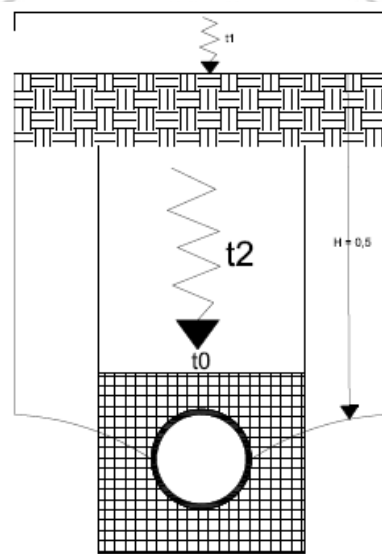
$$\text{Sehingga } t = \frac{H}{V \sin^2 \alpha}$$

Mengacu pada SNI 03-3646 tahun 1994 tentang bangunan stadion, bahwa lapangan sepak bola harus dapat meresapkan dan mengeringkan air hujan sebesar 10,8 mm/m² dalam waktu 90 menit. agar lebih mudah dipahami maka

hasil dari perbandingan kapasitas pipa dengan curah hujan rencana yang turun di atas lapangan sepak bola dapat disajikan dalam bentuk grafik.

2.4.1.3 Lama Pengeringan Permukaan Lapangan Sepak Bola

Perencanaan drainase lapangan sepak bola diasumsikan tidak ada air hujan yang mengalir diatas lapangan atau dengan kata lain seluruh air hujan meresap kedalam tanah, maka dari itu perlu direncanakan seberapa lama tanah tersebut dapat mengering seperti kondisi semula.



Gambar 2. 6 Penampang Melintang Pipa

Berikut adalah rumus yang diperlukan :

- Waktu pengeringan

$$t_1 = \frac{H}{V_1}$$

Keterangan :

t_1 = waktu pengeringan (menit)

H = jarak pipa terhadap permukaan (mm)

V_1 = kecepatan resapan (mm/menit)

- Waktu yang dibutuhkan untuk air hingga sampai ke dalam pipa

$$t_2 = \frac{h - \frac{4}{5} \cdot n \cdot H}{q_2}$$

Keterangan :

t_2 = waktu yang ditempuh air hingga sampai ke pipa (menit)

h = tinggi genangan (mm)

n = porositas tanah

H = jarak pipa terhadap permukaan (mm)

q_2 = kapasitas pipa (mm/menit)

- Waktu yang dibutuhkan agar tanah menjadi kering seperti semula

$$t_3 = \frac{\frac{4}{5} \cdot n \cdot H}{q_2}$$

Keterangan :

t_3 = waktu yang dibutuhkan tanah menjadi kondisi awal (menit)

n = porositas tanah

H = jarak pipa terhadap permukaan (mm)

q_2 = kapasitas pipa (mm/menit)

- Waktu tanah dalam keadaan basah atau tergenang

$$t_0 = t_1 + t_2$$

Keterangan :

t_0 = waktu tanah dalam kondisi basah (menit)

t_1 = waktu pengeringan (menit)

t_2 = waktu yang ditempuh air hingga sampai ke pipa (menit)

- Volume tanah terisi air

$$V_0 = \frac{4}{5} \cdot n \cdot H$$

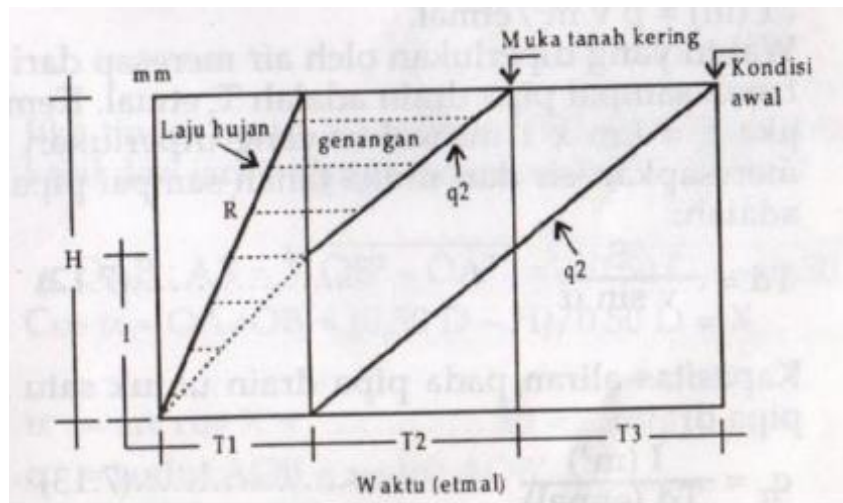
Keterangan :

V_0 = volume tanah terisi air (mm)

n = porositas tanah

H = jarak pipa terhadap permukaan (mm)

Setelah dilakukan analisa dengan beberapa metode diatas, selanjutnya hasil perhitungan tersebut di jabarkan dalam grafik lengkung somasi dibawah ini :



Gambar 2. 7 Lengkung Somasi

Lengkung somasi adalah gerakan air dalam tanah dengan garis pada absis merupakan waktu (etmal) dan ordinal merupakan tinggi air (mm) atau volume air (liter, m³ atau mm³). pada grafik lengkung somasi ini diasumsikan :

- Tidak ada *run off*.
- Tanah mula-mula dalam keadaan kering.
- Penentuan debit maksimum.

Grafik lengkung somasi ini penting untuk hal-hal sebagai berikut :

- Menghitung genangan air di atas muka tanah, berapa lama dapat dikeringkan.
- Menyelidiki apakah tanah dapat mendrain air hujan dengan baik atau perlu sistem drainase bawah tanah .
- Menurunkan muka air tanah bila air tanah cukup tinggi.

2.4.1.4 Analisa Perpipaan

Perhitungan diameter pipa menggunakan hukum kontinuitas. Debit adalah perkalian antara kecepatan aliran dengan luas saluran. Berikut adalah rumus yang digunakan :

$$Q = A \cdot V$$

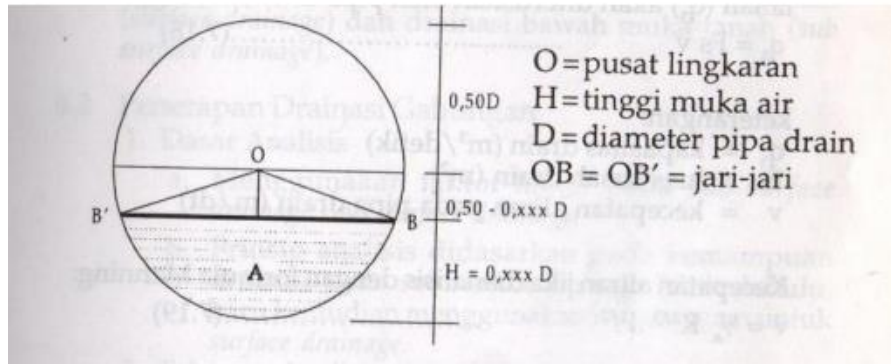
Keterangan :

Q = debit yang melalui pipa (m³/detik)

V = Kecepatan aliran di dalam pipa (m/detik)

A = luas penampang pipa (m²)

Rumus di atas adalah rumus untuk penampang yang diasumsikan terisi penuh, namun pada perencanaan drainase bawah permukaan ini, penampang yang digunakan diasumsikan $\frac{1}{3}$ terisi, maka digunakan rumus :



Gambar 2. 8 Penampang Lingkaran 1/3 terisi

Keterangan :

$$\cos \alpha = \frac{BB'}{BC} = \frac{\frac{1}{6}D}{\frac{1}{2}D} = \frac{1}{3} \rightarrow \arccos \frac{1}{3} = 70,528^\circ$$

$$B'C = BB' \rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3} D \operatorname{tg} 70,528^\circ = 0,4714 D$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Basah (A)} &= \left(\frac{2\alpha}{360^\circ}\right) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 - 0,4714 D \cdot \frac{1}{6} D \\ &= \left(\frac{141,06}{360^\circ}\right) \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 - 0,4714 D \cdot \frac{1}{6} D \\ &= 0,2293 D^2 \end{aligned}$$

$$\text{Keliling Basah (P)} = \frac{2\alpha}{360^\circ} \cdot \pi \cdot D^2 = 1,23096 D$$

$$\text{Radius Hidrolik (R)} = \frac{A}{P} = \frac{0,2293 D^2}{1,23096 D} = 0,1846 D$$

Aliran pipa dirumuskan :

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan :

A = Luas basah penampang (mm)

P = Keliling basah (mm)

R = Radius hidrolik (mm)

S = Kemiringan dasar saluran

2.4.2 Drainase Permukaan

Drainase adalah salah satu fasilitas yang dibuat sebagai sarana untuk menanggulangi ataupun membuang kelebihan air dalam perencanaan infrastruktur. Menurut Suripin, drainase dapat diartikan menguras, mengalirkan, mengalihkan dan membuang kelebihan air agar air yang tidak diperlukan dapat dialirkan menuju tempat pembuangan dan tidak mengganggu kehidupan sehari-hari. Secara umum drainase dapat didefinisikan sebagai bangunan air yang memiliki fungsi untuk membuang kelebihan air yang terjadi pada suatu wilayah sehingga wilayah tersebut dapat berfungsi secara optimal dan tidak terganggu oleh kelebihan air tersebut.

2.4.2.1 Debit Rencana

Debit rencana digunakan untuk mengetahui apakah debit yang akan diakomodasi oleh penampang dapat lebih kecil dari penampang yang sudah direncanakan sehingga air tidak meluap melebihi kapasitas saluran. Dengan perhitungan kapasitas saluran dilakukan dengan berdasarkan rumus manning :

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan :

Q = Debit saluran (m³/detik)

n = koefisien kekasaran manning

R = jari-jari hidrolis saluran (m)

S = kemiringan saluran

A = luas penampang saluran (m²)

2.4.2.2 Analisa Penampang

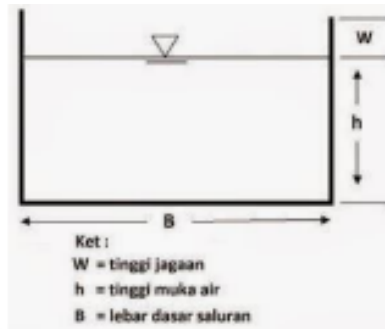
Penampang pada saluran drainase permukaan pada umumnya memiliki bentuk persegi, segitiga, dan trapesium. Berbeda penampang tentu juga memiliki beda rumus untuk menghitung luasannya, berikut adalah rumus untuk mendapatkan luas penampangnya.

➤ Penampang segiempat

Luas penampang = b . h

Keliling basah = B + 2h

$$\text{Jari jari hidrolis} = \frac{A}{P}$$



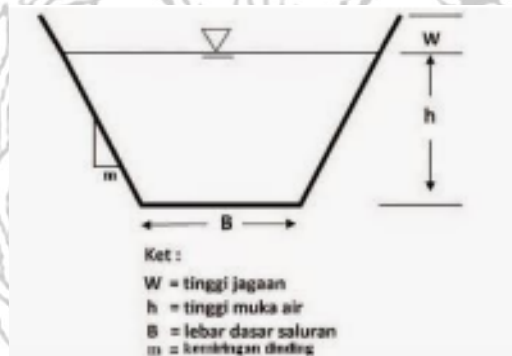
Gambar 2. 9 Penampang segiempat

➤ Penampang Trapesium

$$\text{Jari jari luas saluran} = (b + mh) h$$

$$\text{Keliling basah} = b + 2h\sqrt{m^2 + 1}$$

$$\text{Jari jari hidrolis} = \frac{A}{P}$$



Gambar 2. 10 Penampang Trapesium

2.4.2.3 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk membuang air dari titik terjauh di daerah aliran menuju titik kontrol yang telah ditentukan. Pada analisisnya, waktu konsentrasi dapat dibagi menjadi 2, yakni :

- *Inlet time* (t_0), yaitu waktu yang diperlukan air hujan atau air pada permukaan untuk mengalir menuju saluran drainase.
- *Conduit time* (t_d) adalah waktu yang diperlukan air yang mengalir disepanjang saluran menuju titik kontrol yang telah ditentukan.

Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus :

$$t_c = t_0 + t_d$$

Keterangan :

t_c = waktu konsentrasi (menit)

t_0 = *Inlet time* (menit)

t_d = *Conduit time* (menit)

Waktu yang dibutuhkan untuk air mengalir di dalam saluran (t_d) dapat diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan salurannya. Waktu konsentrasi memiliki nilai yang sangat bervariasi karena dipengaruhi dengan faktor-faktor antara lain adalah luas daerah pengaliran, panjang saluran drainase, kemiringan dasar saluran dan kecepatan aliran.

2.4.2.4 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran pada saluran terbuka ini berpengaruh terhadap kinerja saluran tersebut. Sesuai dengan prinsip drainase bahwa drainase harus dapat membuang kelebihan air atau air yang sudah tidak digunakan lagi dengan secepat-cepatnya, maka dari itu kecepatan aliran pada saluran terbuka direncanakan secepat mungkin agar air dapat segera keluar dari dalam stadion. Kecepatan aliran ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kemiringan dasar saluran, luas penampang dan kekasaran permukaan saluran. Aliran air yang memiliki kecepatan yang besar akan mengurangi endapan pada saluran namun jika terlalu cepat maka permukaan saluran akan cepat aus karena terkikis oleh air, maka dari itu ada parameter mengenai bahan pembuat saluran dengan kecepatan yang diizinkan, berikut adalah tabel tentang kecepatan izin saluran berdasarkan material penyusunnya (suhardjono,1984).

Tabel 2. 3 Kecepatan Aliran Izin

Material Selokan Samping	Kecepatan Aliran Air Yang Diizinkan (m/detik)	Kemiringan Selokan Samping (%)
Pasir Halus	0,45	0 - 5
Lempung Kepasiran	0,50	0 - 5
Lanau Aluvial	0,60	0 - 5
Kerikil Halus	0,75	0 - 5
Lempung Kokoh	1,10	5 - 10
Lempung Padat	1,20	5 - 10
Kerikil Kasar	1,50	5 - 10
Batu-batu Besar	1,50	5 - 10
Pasangan Batu	1,50	10
Beton	1,50	10
Beton Bertulang	1,50	10

2.4.2.4 Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran direncanakan guna mempercepat aliran yang mengalir pada sungai tersebut. Kemiringan dasar saluran adalah perbedaan tinggi elevasi saluran yaitu saluran yang ada di hulu dan di hilir. Semakin besar beda tinggi dari saluran tersebut maka akan semakin cepat laju dari aliran tersebut, namun jika terlalu cepat maka dapat menggerus permukaan saluran sehingga dapat menimbulkan cekungan pada saluran. maka dari itu kemiringan dasar saluran harus direncanakan seoptimum mungkin yakni bergantung terhadap fungsi saluran dan bahan penyusun saluran tersebut.

2.4.2.5 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan pada saluran terbuka adalah tinggi yang disiapkan untuk mengantisipasi jika suatu saat terjadi debit yang melampaui debit rencana. Tinggi jagaan harus diperhitungkan dengan akurat agar tidak terjadi luapan air akibat gelombang fluktuasi yang terjadi. (Ven TE, , 1997). Tinggi Jagaan biasanya direncanakan 5%-30% dari ketinggian salura rencana.

2.5 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap adalah bangunan yang dibuat guna menunjang kelancaran sistem drainase. Bentuk dan jenis dari bangunan pelengkap ini

bermacam macam bergantung pada fungsi drainase tersebut. Pada perencanaan sistem drainase bawah permukaan menggunakan beberapa bangunan pelengkap, antara lain :

➤ Bak Kontrol

Bak control memiliki fungsi untuk mengendapkan sedimen yang mungkin terbawa oleh aliran air, penempatan bak control ini bermacam macam, biasanya bak control di tempatkan pada percabangan saluran, dikarenakan pada titik tersebut rawan terjadi endapan dan agar mudah melakukan pengontrolan kepada saluran yang ada.

➤ Kolam Tampungan

Kolam tampungan berfungsi sebagai tempat penyimpanan air sementara jika drainase yang berada diluar menampung debit yang sesuai dengan kapasitas drainase tersebut. Air pada kolam tampungan ini dapat dibuang langsung ke drainase atau di resapkan dilain tempat. Kolam tampungan biasanya memiliki dua *chamber*, dimana pada *chamber* pertama berfungsi sebagai tempat endapan ataupun sedimen dan *chamber* yang kedua berfungsi tempat air yang akan dipompa keluar.

➤ Pompa

Pompa berfungsi agar air yang ditampung pada kolam tampungan dapat dibuang secepat mungkin keluar. Selain itu pompa juga dapat menjadi alternative jika elevasi dasar kolam penampungan lebih rendah dari elevasi saluran drainase, dikarenakan air tidak dapat mengalir keluar secara alami