

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Analisis Hidrologi

2.1.1 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi di dalam suatu daerah dengan kala ulang tertentu, yang dipakai sebagai dasar perhitungan perencanaan suatu dimensi bangunan.

Pemilihannya ditentukan oleh pertimbangan hidroekonomis yang didasarkan terutama pada (Imam Subarkah, 1980:4):

- a. Besarnya kerugian yang akan diterima kalau bangunan-bangunan dirusak oleh hujan dan sering tidaknya kerusakan itu terjadi.
- b. Umur ekonomis bangunan
- c. Biaya bangunan

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor diatas dan peraturan dari FAA (*Federal Aviation Administration*), maka dalam merancang system drainase lapangan terbang dipakai curah hujan rancangan dengan periode kala ulang 5 tahunan, artinya statistik harga dari curah hujan terbesar akan terjadi rerata sekali dalam setiap 5 tahun. Meskipun demikian, rancangan harus diperiksa dengan debit banjir 10 tahunan atau 15 tahunan, hal ini untuk meyakinkan apakah terjadi kerusakan atau gangguan yang serius terhadap arus lalu lintas pesawat yang ditimbulkan oleh aliran air tersebut.

2.1.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi digunakan untuk peramalan (*forecasting*) dalam arti menentukan probabilitas terjadinya suatu peristiwa bagi tujuan perencanaan dimasa mendatang, namun waktu atau saat terjadinya suatu peristiwa yang sebenarnya tidak ditentukan. Probabilitas yang ditentukan adalah besarnya besaran hidrologi (*variate-variate*) yang kala ulangnya panjang. Besaran terbesar yang didapatkan dari pengamatan hujan dan banjir biasanya tidak ada yang sebesar atau lebih besar dari besaran yang besarnya diperkirakan tadi. Sasaran utama analisa

frekuensi adalah menentukan kala ulang peristiwa hidrologi yang bernilai tentu dan mencakup juga peristiwa yang diharapkan menyamai atau lebih besar dari reratanya (Imam Subarkah, 1980:109).

Analisa ini dilakukan untuk memilih salah satu dari beberapa macam sebaran yang paling sesuai dengan sifat-sifat statistik data yang ada. Beberapa jenis sebaran yang paling banyak digunakan dalam memanfaatkan berbagai teknik analisa frekuensi pada pengolahan data hidrologi adalah, distribusi *Normal*, *Log Normal*, *Log Pearson Tipe III* dan *Log Gumbel*.

Adapun parameter statistik yang digunakan untuk menentukan macamsebaran yang sesuai adalah sebagai berikut:

1. C_k (*koefisien kurtosis*), yang merupakan ukuran kepuncakan distribusi
2. C_s (*koefisien skewness*), yan merupakan ukuran dari penyimpangan suatu distribusi
3. C_v (*koefisien variansi*)

Persyaratan nilai parameter yang diberlakukan:

- untuk Gumbel : 5,4 dan $C_s = 1,14$
- untuk Log Normal : $C_s = 0$ dan $C_k = 3$
- untuk Log Pearson III : C_k dan C_s bebas

Untuk menentukan harga parameter diatas, dipakai rumus

$$C_s = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2) S^3} \quad (2-1)$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) S^4} \quad (2-2)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2-3)$$

dengan:

C_s = koefisien kepengcangan

C_k = koefisien kepuncakan

C_v = koefisien keseragaman contoh

n = jumlah data

X_i = data curah hujan

$\bar{X}$ = data rerata curah hujan

S = simpangan baku

Dalam studi ini metode yang dipakai adalah metode Log Pearson Tipe III, dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data.

Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Tipe III adalah:

1. Nilai rata-rata (*mean*)
2. Simpangan baku (*standart deviation*)
3. Koefisien kepengcengan (*skewness coefficient*)

Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log Pearson Tipe III adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987:243):

1. Data curah hujan harian maksimum tahunan sebanyak n tahun diubah dalam bentuk logaritma

2. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2-4)$$

3. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} \quad (2-5)$$

4. Menghitung harga koefisien kepengcengan dengan rumus:

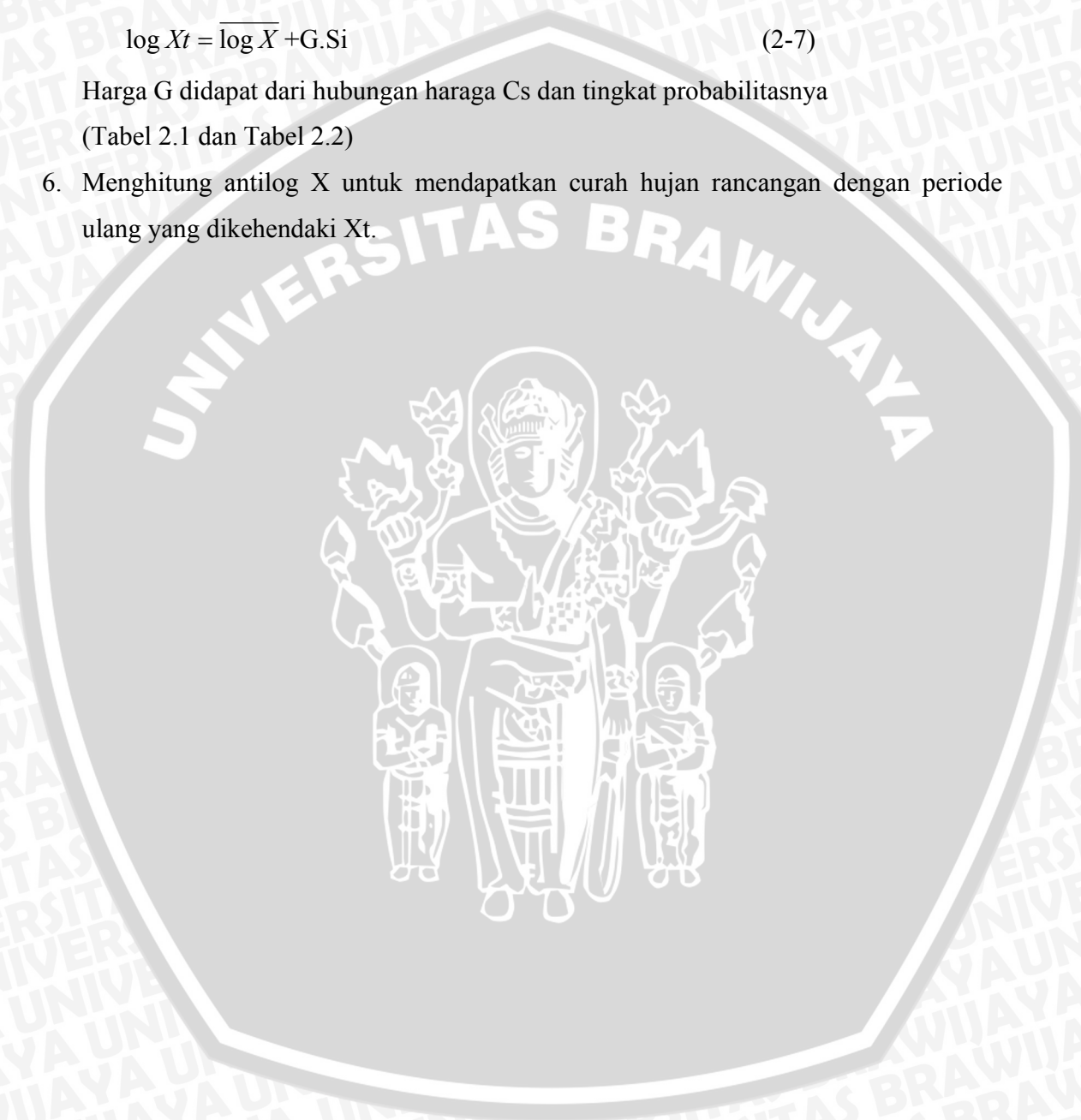
$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3} \quad (2-6)$$

5. Menghitung logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus:

$$\log X_t = \overline{\log X} + G.S_i \quad (2-7)$$

Harga G didapat dari hubungan haraga Cs dan tingkat probabilitasnya (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2)

6. Menghitung antilog X untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan periode ulang yang dikehendaki X_t .



Tabel 2.1 Faktor frekuensi G untuk distribusi Log Pearson Tipe III koefisien asimetris Cs positif.

Skew Coefficient Cs	Average recurrence interval in years									
	1.01010	1.17647	1.11111	1.25	2	5	10	25	50	100
	Percent Chance									
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.003	3.125	4.051
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.007	3.134	4.013
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.010	3.114	3.973
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.379	0.479	1.224	2.012	3.093	3.932
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.360	0.499	1.236	2.013	3.071	3.889
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.359	0.518	1.250	2.012	3.048	3.845
2.4	-0.083	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.011	3.023	3.800
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.009	2.997	3.753
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.282	1.645	2.970	3.705
2.1	-0.946	-0.915	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.284	2.006	2.942	3.656
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.292	1.673	2.912	3.605
1.9	-1.037	-0.964	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.294	2.001	2.881	3.553
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.301	1.700	2.848	3.499
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.303	1.996	2.815	3.444
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.818	-0.234	0.673	1.309	1.726	2.780	3.388
1.5	-1.266	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.691	1.311	1.989	2.743	3.330
1.4	-1.318	-1.168	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.317	1.750	2.706	3.271
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.318	1.961	2.667	3.211
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.814	-0.195	0.733	1.323	1.774	2.626	3.149
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.324	1.972	2.585	3.087
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.329	1.797	2.542	3.023
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.329	1.926	2.498	2.957
0.8	-1.733	-1.389	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.333	1.051	2.453	2.891
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.819	2.407	2.824
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.336	1.839	2.359	2.755
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.337	1.938	2.311	2.686
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.067	0.816	1.339	1.859	2.261	2.615
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.339	1.925	2.211	2.544
0.2	-2.178	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.334	1.877	2.159	2.472
0.1	-2.253	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.334	1.910	2.107	2.400
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.341	1.894	2.054	2.326

Sumber : Shahrin, 1976:280

Tabel 2.2 Faktor frekuensi G untuk distribusi Log Pearson tipe III koefisien asimetris Cs negatif.

Skew Coefficient C_s	Average recurrence interval in years									
	1.01010	1.17647	1.11111	1.25	2	5	10	25	50	100
	Percent Chance (%)									
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.5	-2.686	-1.744	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.728	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518
-1.2	-3.149	-1.910	-1.339	-0.732	0.195	0.844	1.066	1.262	1.379	1.449
-1.3	-3.211	-1.925	-1.337	-0.718	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383
-1.4	-3.271	-1.938	-1.333	-0.725	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.5	-3.330	-1.951	-1.329	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256
-1.6	-3.388	-1.962	-1.324	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.680	0.268	0.808	0.970	1.075	1.166	1.140
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.674	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.479	0.388	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.330	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.118	-0.420	0.390	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

Sumber : Shahin, 1976:281

2.1.3 Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk mengetahui apakah data yang dipakai benar sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih, maka setelah penggambaran pada kertas probabilitas perlu dilakukan pengujian kesesuaian distribusi atau sebaran. Pengujian ini dilakukan dengan pengujian kecocokan (*testing of goodness of fit*)

Pengujian ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

1. Smirnov Kolmogorov

Untuk melakukan uji smirnov kolmogorov ini terlebih dahulu harus dilakukan plotting data pengamatan pada kertas probabilitas Log Pearson III dan penarikan garis durasi yang sesuai. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui simpangan horizontal terbesar sebaran teoritis dan sebaran empiris. Simpangan horizontal ini dinyatakan dengan $\Delta_{\max}$. Sebaran frekuensi dapat diterima jika

$\Delta_{\max} < \Delta_{cr}$ (didapat dari tabel) untuk derajat nyata tertentu.

Adapun tahapan pengujian Smirnov Kolmogorov adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian maksimum tahunan diurut dari besar ke kecil
2. Menghitung besarnya peluang empiris dengan persamaan Weibull (Harto, 1993:179):

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$$

dengan:

P = probabilitas (%)

m = nomor urut data dari seri yang telah diurutkan

n = banyaknya data

3. Hasil dari perhitungan peluang empiris cara Weibull diplot pada kertas peluang kemudian buat grafik lurus dengan persamaan peluang teoritis dan proyeksikan setiap harga curah hujan pada harga peluang pada sumbu X
4. Hitung perbedaan harga peluang empiris dan peluang teoritis mulai tahun pertama sampai tahun terakhir dan cari perbedaan terbesar (maksimum)
5. Bandingkan perbedaan harga terbesar dari perhitungan selisih terbesar ($\Delta_{\max}$) dengan Δ_{cr} (dari Tabel 2.3) jika harga $\Delta_{\max} < \Delta_{cr}$, maka penyimpangan masih dalam batas ijin berarti distribusi curah hujan pengamatan sesuai dengan model distribusi teoritis.

6. Jika harga $\Delta_{\max} > \Delta_{cr}$, maka penyimpangan di luar batas ijin berarti distribusi curah hujan pengamatan tidak sesuai dengan model distribusi teoritis.

Tabel 2.3 Nilai delta kritis untuk uji kesesuaian Distribusi Smirnov Kolmogorov

N	α			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
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: Shahin, 1976:188

2. Uji Chi-Square

Digunakan untuk mengetahui simpangan vertikal antara sebaran empiris dan sebaran teoritis. Perhitungan pengujiannya menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut (Harto, 1993:180):

$$X^2 = \frac{n \sum (Ef - Of)^2}{Ef} \quad (2-9)$$

dengan:

X^2 = Harga Chi kuadrat

Ef = sebaran empiris

Of = sebaran teoritis

Menghitung jumlah kelas distribusi dengan rumus (Dajan, 1986:12):

$$K = 1 + 3,322 \log n \quad (2-10)$$

dengan:

K = jumlah kelas distribusi

n = jumlah data

Derajat bebas (*number of degree freedom*) dihitung dengan rumus (Shahin,1976:186)

$$V = K - (p+1) \quad (2-11)$$

dengan:

p = jumlah parameter, untuk distribusi chi-square p = 2

Menghitung harga Ef:

$$Ef = \frac{n}{K} \quad (2-12)$$

dengan:

Ef = *expected frequency* (frekuensi yang diharapkan)

n = banyak tahun pengamatan

K = jumlah kelas

Of = *observed frequency* (frekuensi yang diamati)

Dari hasil perhitungan jika $X^2_{hit} < X^2_{cr}$ maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pemilihan distribusi (sebaran) data yang direncanakan dapat diterima. Nilai X^2_{cr} ditunjukkan pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Nilai percentile X^2 terhadap derajat bebas v untuk kesesuaian distribusi Chi Square

Derajat kebebasan	Probabilitas					
	0.950	0.800	0.500	0.200	0.050	0.001
1	0.004	0.064	0.455	1.642	3.841	10.827
2	0.103	0.446	1.386	3.219	5.991	13.815
3	0.352	1.005	2.357	4.642	7.815	16.268
4	0.711	1.649	3.357	5.989	9.488	18.465
5	1.145	2.343	4.351	7.289	11.070	20.517
6	1.635	3.070	5.348	8.558	12.592	22.457
7	2.167	3.822	6.346	9.803	14.067	24.322
8	2.733	4.594	7.344	11.030	15.507	26.125
9	3.325	5.380	8.343	12.242	16.919	27.877
10	3.940	6.179	9.342	13.442	18.307	29.588
11	4.575	6.989	10.341	14.631	19.975	31.264
12	5.226	7.807	11.340	15.812	21.026	32.909
13	5.892	8.634	12.340	16.985	22.362	34.528
14	6.571	9.467	13.339	18.151	23.685	36.123
15	7.262	10.307	14.339	19.311	24.996	37.697

Sumber: Shatin, 1976:283

Debit Banjir Rancangan

Air hujan yang jatuh ke bumi hanya sebagian yang mengalir sebagai limpasan permukaan, sebagian lainnya menguap, meresap ke tanah atau tertahan oleh tanaman. Besarnya limpasan permukaan dipengaruhi oleh karakteristik permukaan, seperti kemiringan, jenis tanah, tanaman, tata guna lahan.

Metode yang digunakan untuk menentukan debit limpasan pada saluran drainase dalam studi ini adalah metode Rasional (*rational method*). Metode rasional dirumuskan (Imam Subarkah, 1980-48).

$$Q = 0,278 \cdot CIA \quad (2-13)$$

dengan:

Q = debit limpasan (m³/det)

C = koefisien limpasan

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas area drainase (km²)

2.2.1 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan atau koefisien pengaliran adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di permukaan akibat hujan (limpasan) pada suatu daerah dengan jumlah curah hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien limpasan tergantung pada keadaan daerah pengaliran dan karakteristik hujan pada suatu daerah yang meliputi:

1. Keadaan hujan
2. Luas dan bentuk daerah aliran
3. Kemiringan daerah aliran
4. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
5. Kebasahan tanah
6. Suhu udara, angin dan evaporasi
7. Tata guna lahan

Untuk areal yang terdiri dari berbagai tipe permukaan dengan karakteristik penyerapan air yang berbeda, koefisien limpasan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$C = \frac{A_1 C_1 + A_2 C_2 + \dots + A_n C_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-14)$$

dengan:

C = koefisien limpasan total

C₁...C_n = koefisien limpasan tiap tipe permukaan

$A_1 \dots A_n$ = luas tiap areal drainase

Tabel 2.5. Koefisien limpasan C untuk berbagai jenis permukaan

Tipe permukaan	Nilai C	Keterangan
Seluruh permukaan atap kedap air	0,75 - 0,95	
Perkerasan landasan pacu dengan aspal	0,80 - 0,95	
Perkerasan landasan pacu dengan beton	0,70 - 0,90	
Perkerasan Macadam	0,35 - 0,70	
Tanah kedap air	0,40 - 0,65	S = 1 sampai 2%
Tanah kedap air, dengan rumput	0,30 - 0,55	S = 1 sampai 2%
Tanah sedikit tembus air	0,15 - 0,40	S = 1 sampai 2%
Tanah sedikit tembus air, dengan rumput	0,10 - 0,30	S = 1 sampai 2%
Tanah tembus air sedang	0,05 - 0,20	S = 1 sampai 2%
Tanah tembus air sedang, dengan rumput	0,00 - 0,10	S = 1 sampai 2%

Sumber: Horonjeff, 1993:204

Tabel 2.6. Koefisien limpasan C untuk berbagai jenis permukaan dengan kala ulang tertentu

Jenis Permukaan	Kala Ulang (tahun)			
	2	5	10	25
Aspal	0.73	0.77	0.81	0.86
Beton	0.75	0.8	0.83	0.88
Lapangan rumput dengan permukaan rumput < 50% luas (kondisi jelek)				
Daerah datar, 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.4
Daerah sedang, 2 - 7%	0.37	0.4	0.43	0.46
Daerah curam, >7%	0.4	0.43	0.45	0.49
Lapangan rumput dengan permukaan rumput 50% - 75% luas				
Daerah datar, 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34
Daerah sedang, 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42
Daerah curam, >7%	0.37	0.4	0.42	0.46
Lapangan rumput dengan permukaan rumput > 75% luas (kondisi baik)				
Daerah datar, 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29
Daerah sedang, 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39
Daerah curam, >7%	0.34	0.37	0.4	0.44

Sumber: Chow, 1988:498

2.2.2 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan didefinisikan sebagai tinggi curah hujan persatuan waktu. Untuk mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi berdasarkan data curah hujan harian digunakan rumus *Monobe* (Imam Subarkah, 1980:20):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \quad (2-15)$$

dengan:

- I = intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- R₂₄ = curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)
- T_c = waktu konsentrasi (jam)

2.2.3 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (*time of concentration*) didefinisikan sebagai waktu yang digunakan oleh air atau limpasan hujan untuk mencapai bak pengumpul (inlet) dari tempat paling jauh dalam areal drainasi.

Waktu konsentrasi terbagi menjadi dua komponen yaitu (Horonjeff, 1993:202):

1. Waktu masuk (*inlet time*)

Waktu masuk adalah waktu yang diperlukan oleh air diatas tanah dari tempat paling jauh dalam areal drainasi untuk mencapai *inlet*. Dalam studi ini waktu masuk adalah sama dengan waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus empiris yang dikembangkan oleh Corps of Engineers Amerika Serikat. Persamaan ini dimaksudkan untuk digunakan pada perencanaan sistem drainase lapangan terbang, tetapi dapat juga digunakan untuk sistem drainase daerah perkotaan. (Anonim, 1996:584).

$$T_c = \frac{3,26 \cdot (1,1 - C) \cdot L^{1/2}}{S^{1/3}} \quad (2-16)$$

dengan:

- T_c = waktu konsentrasi (menit)
- C = koefisien limpasan
- L = panjang aliran (m)
- S = kemiringan tanah

2. Waktu aliran (time flow)

Waktu aliran adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari bak pengumpul melalui pipa pembuangan ke tempat tertentu dalam sistem drainasi atau untuk mencapai outlet.

Waktu aliran dapat dihitung dengan persamaan (Chow, 1988:499)

$$T_f = \frac{L}{V} \quad (2-17)$$

dengan:

T_f = waktu aliran (*time of flow*) (detik)

L = panjang aliran (m)

V = kecepatan aliran (m/dt)

2.2.4 Luas Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran (catchment area) dimaksudkan sebagai daerah tempat curah hujan mengalir menuju saluran drainase. Jika suatu areal aliran dilayani oleh beberapa saluran maka areal harus dibagi dengan arah aliran air menuju saluran yang bersangkutan. Pembagian luas areal juga didasarkan pada kemiringan permukaan tanah dari peta topografi.

2.3 Drainase Lapangan Terbang

Lapangan terbang umumnya menggunakan kombinasi antara sistem drainase permukaan (surface drainage) dan sistem drainase bawah permukaan (sub surface drainase). Secara umum tujuan dari sistem drainase adalah sebagai berikut (Prodjopangarso, 1987:37):

1. Mengurangi air yang masuk ke dalam tanah sehingga daya dukung tanah mampu menahan beban pesawat yang sangat berat dan lebih menjamin usia perkerasan (pavement) landasan tersebut.
2. Mencegah terjadinya genangan air pada runway dan taxiway yang dapat mengganggu pesawat pada saat take off dan landing.
3. Menjaga seluruh daerah lapangan terbang termasuk terminal building agar tidak tergenang. Tujuan drainase lapangan terbang itu sendiri secara keseluruhan mempunyai kebutuhan kritis untuk pemindahan secepatnya air permukaan dan bawah permukaan dengan dibuang atau dialirkan ke saluran drainase.

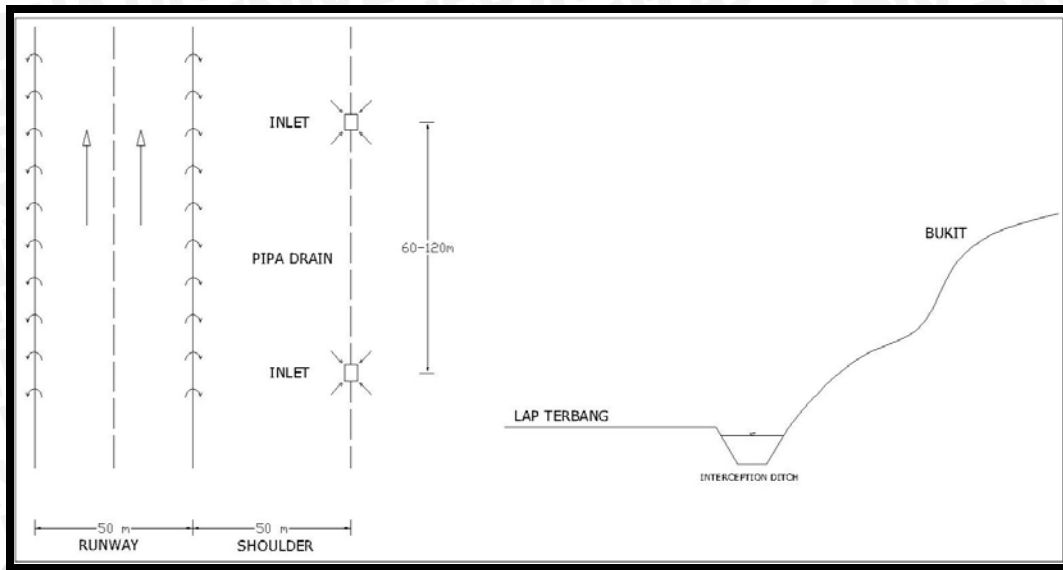
Sistem drainase lapangan terbang mempunyai ciri-ciri sebagai berikut
(Prodjopangarso, 1987:37):

1. Areal lapangan terbang yang harus didrainase luas sekali, dengan panjang landasan mencapai 4 km.
2. Permukaan tanah daerah lapangan terbang bermacam-macam, terdiri dari aspal, beton, rumput dan lain-lain
3. Tanah dibawah runway, taxiway dan apron harus cukup kuat daya dukungnya terhadap beban pesawat terbang yang melintas di atasnya. Misalnya pesawat DC-10 dengan berat 130-150 ton mengakibatkan tekanan pada tanah 11-15 kg/cm².
4. Sebagian besar permukaan lapangan terbang terdiri dari beton dan aspal sehingga air akan melimpas (*run off*) di atas permukaan. Air yang meresap ke dalam tanah hanya sedikit yaitu pada daerah *shoulder* dan *runway safety area* yang berupa lapangan rumput.
5. Kemiringan *runway* kecil sekali, yaitu:
 - Arah memanjang maksimum 1%
 - Arah melintang maksimum 1,5%

Kemiringan *shoulder* ke arah melintang maksimum 2,5-5%

Genangan air akibat hujan dan tebal salju maksimum 10 cm di atas *runway* dan segera harus dapat dikeringkan.

6. Sistem drainase pada lapangan terbang harus baik, tidak diperkenankan ada selokan terbuka, kecuali selokan keliling lapangan terbang (*interception ditch*) untuk menampung air yang akan memasuki lapangan terbang dari daerah sekelilingnya. Jadi sistem drainase merupakan gabungan dari *surface drainage* dan *subsurface drainage*. Air hujan yang melimpas di atas *runway*, *taxiway* dan *shoulder* dialirkan ke dalam lubang-lubang inlet yang terletak 50 m dari *runway* di daerah *shoulder*.



Gambar 2.1. *Layout* sistem drainase lapangan terbang

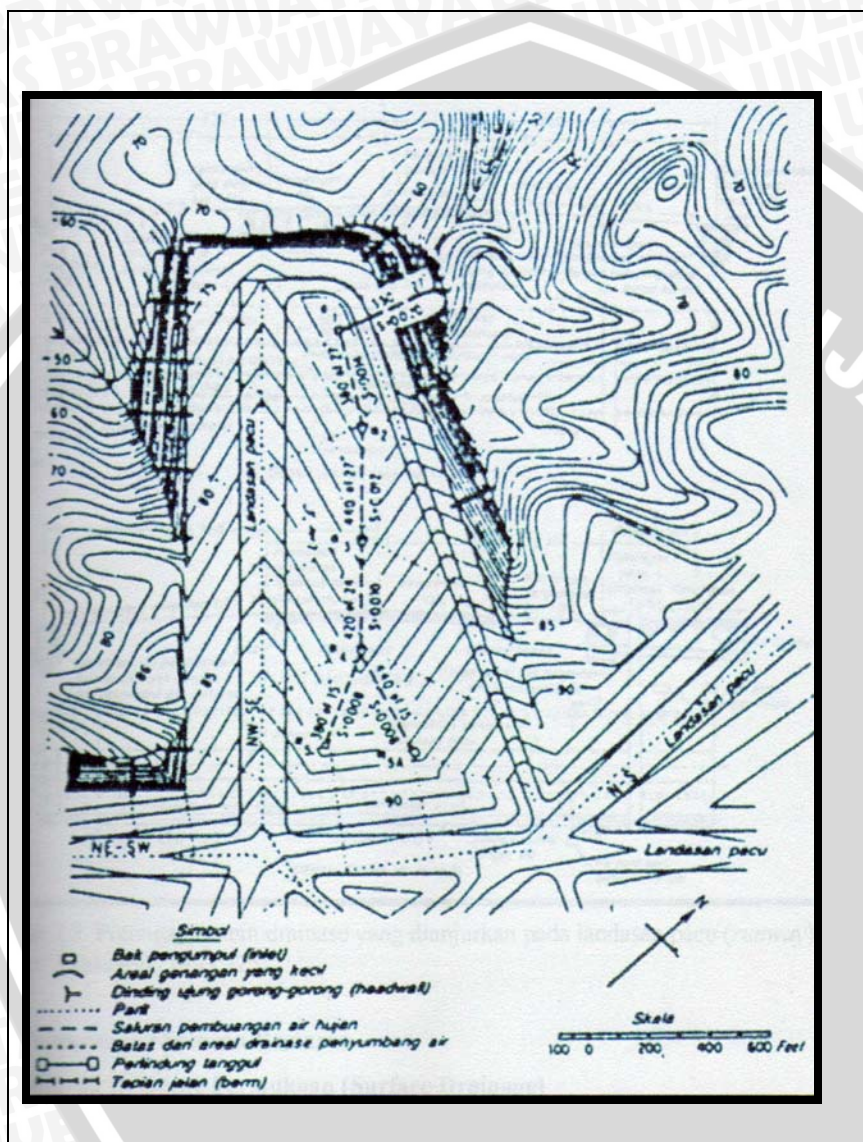
Sumber: Prodjopangarso. 1987:36

7. Dianjurkan memilih lokasi lapangan terbang yang memiliki drainase alamiah yang baik yaitu tanahnya mudah didrain, sehingga saluran-saluran dan bangunan-bangunan drainase lainnya yang harus di buat tidak terlalu banyak. Juga arah aliran air hujan harus dilihat untuk menentukan arah kemiringan *runway*.
8. Saluran-saluran drainase untuk lapangan terbang didesain dengan intensitas hujan 1 x dalam 5 tahun terlampaui. Berarti dalam waktu 5 tahun boleh terjadi banjir dengan kala ulang (*return period*) 5 tahun. Hal ini penting untuk keamanan landasan dan keselamatan pesawat yang *take off* dan *landing*.

Tahapan pertama dalam merencanakan sistem drainase lapangan terbang adalah menyiapkan peta topografi umum yang menunjukkan semua keadaan alam dan bangunan yang akan dipengaruhi oleh pembuatan sistem drainase (seperti sungai, kanal, saluran irigasi, bangunan drainase, jalan dan areal pengembangan). Perencanaan saluran drainase, biasanya dipilih pada saat diperoleh hasil perhitungan yang paling ekonomis.

Diperlukan juga denah dari rancangan sistem drainase yang menunjukkan daerah/lokasi perletakan runway-taxiway dan instalasi bandar udara lainnya. Setiap sub-area drainase harus digambar dalam rencana ini, selain itu letak pipa bawah tanah, panjang aliran, dan kemiringan

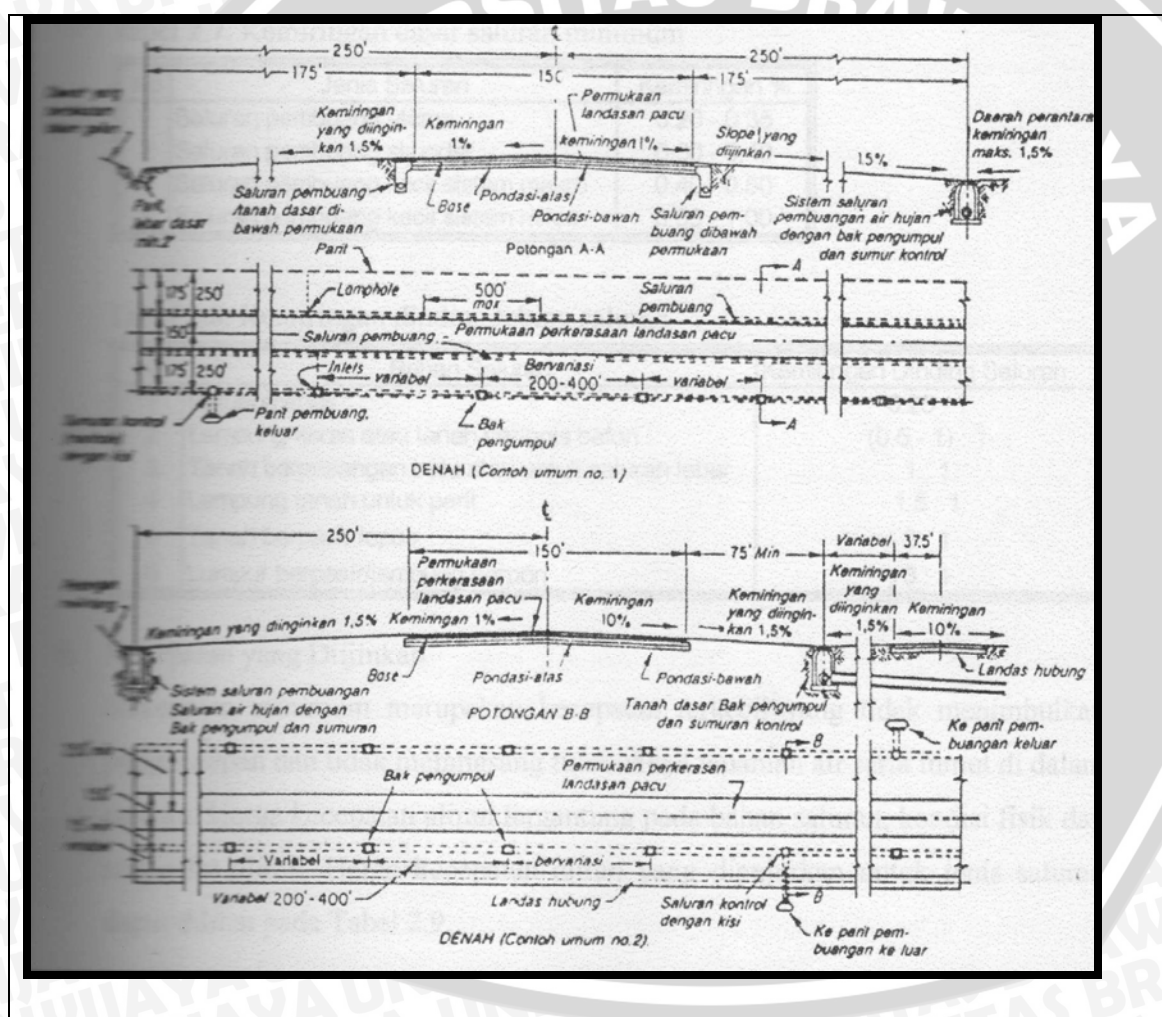
tanah harus terlihat pada gambar ini. Gambar tersebut juga mengidentifikasi bangunan-bangunan drainase dan penomoran jaringan pipa yang berguna untuk memudahkan perhitungan.



Gambar 2.2. Sebagian lapangan terbang yang memperlihatkan detail rancangan drainase

Sumber: Horonjeff, 1993:205

Gambar denah juga berguna untuk mempermudah memilih lokasi yang tepat untuk menempatkan saluran drainase, inlets dan manholes. Bak pengumpul (*inlets*) ditempatkan sesuai dengan kebutuhan pada titik terendah dengan interval jarak antara 60 – 120 m. Letak bak pengumpul tergantung pada konfigurasi bandar udara dan rencana perataan tanah. Inlets ini terletak secara lateral pada *shoulder* dan berjarak sekitar 25 – 50 m dari pinggir landasan. Penempatan inlets yang terlalu dekat dengan landasan dapat menyebabkan penggenangan atau lapisan bawah menjadi jenuh air.



Gambar 2.3. Potongan sistem drainase yang dianjurkan pada landasan pacu (*runway*).

Sumber: Horonjeff, 1993:225

2.4 Perencanaan Saluran Drainase

2.4.1 Saluran Drainase Permukaan (*Surface Drainage*)

Faktor-faktor yang mempengaruhi saluran drainase permukaan yaitu:

a. Kemiringan Dasar dan Dinding Tebing Saluran

Berdasarkan prinsip dasar saluran drainase, semakin besar kemiringan semakin baik untuk mempercepat pembuangan air. Kemiringan dasar saluran terutama saluran alam biasanya mengikuti kemiringan lahan yang ada. Kemiringan dasar saluran minimum tertera pada Tabel 2.7, yang banyak digunakan dalam perencanaan saluran drainase terutama untuk daerah yang cukup datar. Kemiringan dinding tebing saluran tergantung pada jenis bahan pembentuk tubuh saluran. Besarnya kemiringan dinding tebing saluran tertera pada Tabel 2.8

Tabel 2.7. Kemiringan dasar saluran minimum untuk berbagai jenis bahan

No	Jenis Saluran	Kemiringan
1	Saluran Pembuangan Utama	0.20-0.35
2	Saluran Pembuangan Sekunder	0.30-0.40
3	Saluran Pembuangan Kecil Sistem Makro	0.40-0.50
4	Saluran Pembuangan Kecil Sistem Mikro	0.50-1.00

Tabel 2.8. Kemiringan dinding tebing saluran

Bahan Saluran	Kemiringan Dinding
Batu	
Tanah Gambut, daerah berawa	hampir tegak lurus
Lempung teguh, atau tanah berlapis beton	0,25 : 1
Tanah berlapis batu, atau tanah bagi saluran yang besar	(0,5 - 1) : 1
Lempung kaku, atau tanah bagi parit kecil	1:01
Tanah berlapis lepas	1,5 : 1
Lumpur berpasir, atau lempung beton	2:01
	3:01

b. Kecepatan yang Diijinkan

Kecepatan minimum merupakan kecepatan terkecil yang tidak menimbulkan pengendapan dan tidak merangsang tumbuhnya tanaman air serta lumut di dalam saluran. Harga kecepatan aliran tergantung pada bahan saluran, kondisi fisik dan sifat-sifat aliran. Harga kecepatan aliran yang dianjurkan untuk jenis saluran dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Kecepatan ijin air pada saluran

No	Jenis Bahan	Kecepatan Ijin (m/det)
1	Lempung kokoh	0.75
2	Lempung Padat	1.1
3	Kerikil Kasar	1.2
4	Batu-batu Besar dan Pasangan Batu	1.5
5	Beton dan Beton Bertulang	1.5

c. Bahan Lapis Saluran

Harga koefisien kekasaran (n) ditetapkan berdasarkan pada bahan yang membentuk tubuh saluran. Harga koefisien kekasaran Manning untuk berbagai bahan material saluran dan tipe saluran dapat dilihat pada Tabel 2.10

Tabel 2.10. Koefisien Manning (n) penampang saluran

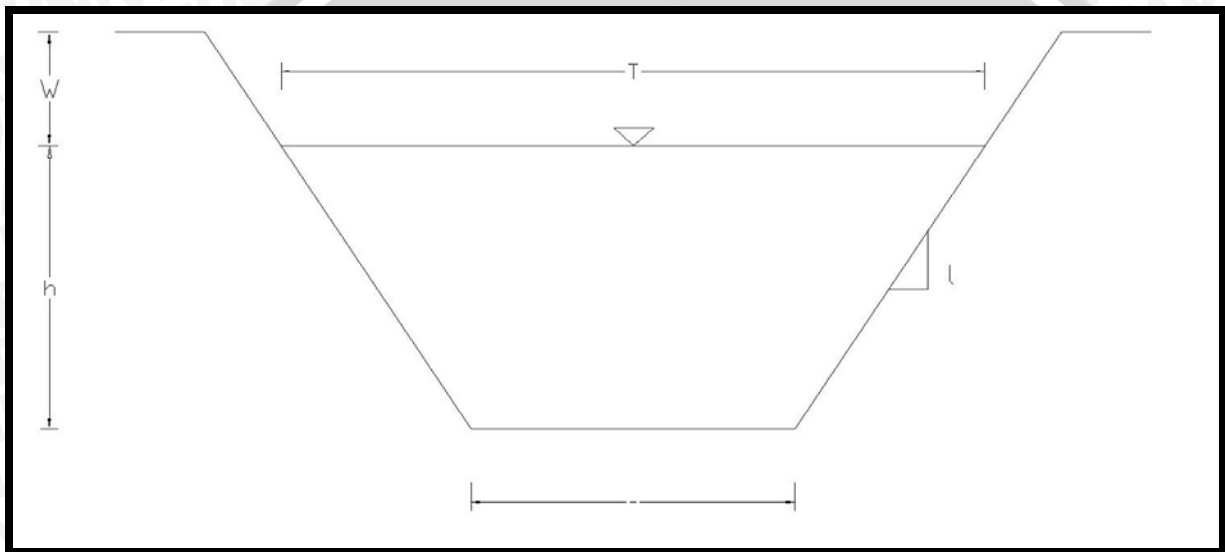
No	Tipe Saluran	Min	Normal	Maks
1	PIPA TERISI SEBAGIAN			
	Gorong-gorong beton, lurus, dan bebas sampah	0.01	0.011	0.013
	Gorong-gorong beton, dengan belokan dan sampah	0.011	0.013	0.014
2	SALURAN DENGAN PASANGAN			
	Dasar dan talud saluran dari beton	0.013	0.015	0.017
	Dasar saluran dari beton, talud dari pasangan yang disiar	0.017	0.02	0.024
	Dasar saluran dari tanah, talud dari pasangan yang disiar	0.02	0.023	0.026
3	SALURAN ALAMIAH			
	Bersih dengan talud saluran dari gebalan rumput	0.025	0.03	0.035
	Talud saluran adalah semak dan batu-batuan	0.03	0.035	0.04
	Talud saluran adalah tumbuh-tumbuhan	0.03	0.035	0.05

d. Dimensi Penampang

Bentuk penampang saluran pembuang direncanakan berbentuk trapesium, bentuk ini paling sering dijumpai di lapangan terbang. Hal ini beralasan, karena saluran yang berbentuk trapesium memiliki kelebihan, baik ditinjau dari segi hidroliknya, saluran yang berbentuk trapesium dengan radius hidrolis (R) yang relatif kecil mampu mengalirkan debit yang relatif besar. Akan tetapi dikarenakan bentuk ini dalam pelaksanaan pembuatannya sangat sulit dilaksanakan, maka bentuk penampang trapesium dengan dasar dan kemiringan talud sedemikian rupa sehingga mampu mengalirkan debit yang besar.

Dimensi penampang saluran drainase dapat dihitung dengan pendekatan rumus aliran seragam (uniform flow), mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (VT Chow, 1954:159):

- Dalam aliran, luas penampang aliran, kecepatan aliran serta debit selalu tetap pada setiap penampang melintangnya.
- Garis energi dan dasar saluran selalu sejajar.



Gambar 2.4. Penampang melintang saluran

Sumber : Chow, 1992:21.

Dengan direncanakannya saluran yang berbentuk trapesium dari beton, maka parameter perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut : (VT Chow, 1989:19)

- Luas penampang saluran

$$A = (bh) + (mh^2) \quad (2-18)$$

- Keliling basah saluran

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad (2-19)$$

- Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{A}{P} \quad (2-20)$$

- Kecepatan aliran

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2-21)$$

e. Kapasitas saluran

$$Q = AV \quad (2-22)$$

Dengan :

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi saluran (m)

m = Kemiringan talud saluran

w = Tinggi jagaan (m)

T = Lebar puncak (m)

A = Luas penampang basah saluran (m²)

R = Jari-jari hidrolis (m)

P = keliling basah saluran (m)

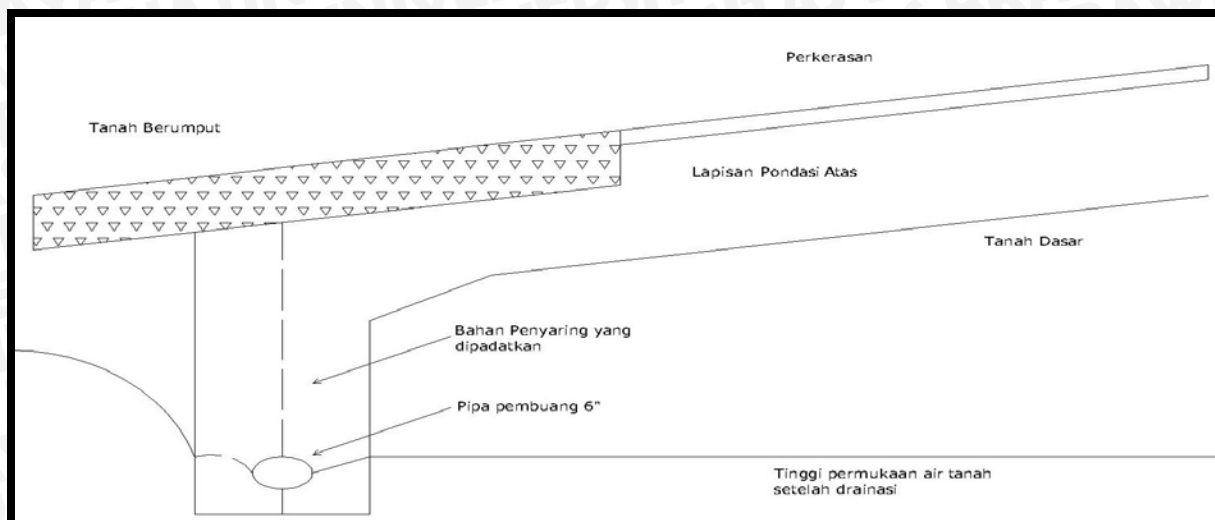
V = Kecepatan aliran (m/det)

Q = Debit drainase (m³/det)

n = Koef. Kekasaran dinding saluran (manning)

2.4.2 Saluran Drainase Bawah Permukaan (Sub Surface Drainage)

Untuk menghitung kapasitas saluran-saluran dalam suatu sistem drainase, terlebih dahulu harus diketahui bentuk penampang (dimensi) dari saluran tersebut. Hardjoso Prodjopangarso (1987:8) menyebutkan bahwa saluran drainase bawah permukaan (*subsurface drainage*) yang digunakan adalah saluran pipa beton yang berlubang-lubang.



Gambar 2.5. Detail saluran drainase bawah tanah

Sumber : Horonjeff, 1993:226

Dalam menentukan dimensi penampang saluran drainasi lapangan terbang dihitung seperti halnya mendesain saluran terbuka dimana alirannya menggunakan aliran gravitasi dengan pendekatan rumus aliran seragam, yang mempunyai ciri-ciri pokok sebagai berikut (Chow, 1997:81):

1. Kedalaman, luas basah, kecepatan dan debit pada setiap penampang pada bagian saluran yang lurus adalah konstan.
2. Garis energi, muka air dan dasar saluran saling sejajar, artinya kemiringannya sama atau $S_f = S_w = S_o = S$.

Persamaan Manning sangat populer digunakan dalam karakteristik aliran seragam dalam pipa. FAA (*Federal Aviation Administration*) merekomendasikan penggunaan rumus Manning dalam perancangan sistem drainase pipa bawah tanah pada lapangan terbang, yaitu (Chow, 1997:90):

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2-23)$$

dengan:

- V = kecepatan aliran (m/dt)
 n = Koefisien kekasaran saluran
 R = jari-jari hidrolis saluran
 S = kemiringan dasar saluran

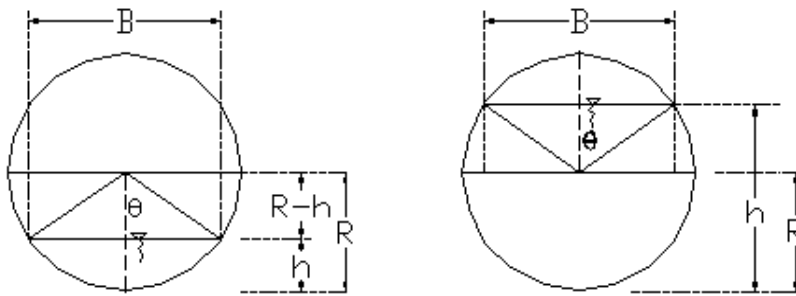
Perhitungan pada pipa beton yang tidak terisi penuh sama halnya dengan perhitungan pada saluran terbuka karena di atasnya terdapat tekanan udara, sehingga dalam perhitungan dimensinya menggunakan prinsip-prinsip hidrolika saluran terbuka.

Tabel 2.11. Koefisien kekasaran Manning

Tipe saluran	Nilai n		
	Min	Normal	Maks
Gorong-gorong terisi sebagian			
Gorong-gorong lurus dan bebas kikisan	0.01	0.011	0.013
Gorong-gorong dengan kelengkungan, sambungan dan sedikit kikisan	0.011	0.013	0.014
Gorong-gorong dipoles	0.011	0.012	0.014
Saluran drainasi dengan bak kontrol, mulut pemasukan dan lain-lain	0.013	0.015	0.017
Gorong-gorong tidak dipoles seperti baja	0.012	0.013	0.02

Sumber: Chow, 1997:99

Pada penampang saluran drainasi berbentuk lingkaran akan didapatkan, untuk (Linsley,1991:246): V_{maks} pada $y = 0,815 do$ dan Q_{maks} pada $y = 0,925 do$



Gambar 2.6. Penampang saluran drainasi (pipa berbentuk lingkaran)

Sumber: Chow, 1997:19

Gambar diatas merupakan keadaan yang sering dijumpai dalam teknik hidrolik, terutama pada masalah saluran drainasi, yaitu tentang pipa tertutup yang terisi sebagian. Dalam keadaan ini, permukaan zat cair berada dalam tekanan atmosfer dan alirannya sama dengan yang terjadi pada saluran terbuka. Untuk menghitung dimensi pipa drainase digunakan rumus (Chow, 1997:19):

$$A = \frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) D^2 \quad (2-24)$$

$$P = \frac{1}{2} \theta \cdot D \quad (2-25)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \cdot D \quad (2-26)$$

$$T = \left(\sin \frac{1}{2} \theta \right) D \text{ atau } T = 2\sqrt{y(D-y)} \quad (2-27)$$

Untuk kondisi aliran penuh ($y = D$, dan $\theta = 2\pi$), maka Persamaan 2-24 sampai Persamaan 2-26 menjadi:

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \quad (2-28)$$

$$P = \pi \cdot D \quad (2-29)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1}{4} D \quad (2-30)$$

dengan:

A = luas penampang pipa (m²)

P = perimeter basah (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

do = diameter pipa (m)

y = kedalaman air dalam pipa (m)

T = lebar permukaan (m)

Untuk menentukan diameter saluran drainase digunakan rumus sebagai berikut (Chow, 1197:128):

$$Q = A \cdot V \quad (2-31)$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (2-32)$$

$$Q = \frac{1}{n} S^{1/2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \quad (2-33)$$

$$Q = \frac{0,311}{n} \cdot S^{1/2} \cdot D^{8/3} \quad (2-34)$$

$$D = \left(\frac{3,208 \cdot Q \cdot n}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (2-35)$$

dengan:

Q = debit saluran (m³/dt)

A = luas penampang saluran (m²)

V = kecepatan aliran (m/dt)

D = diameter pipa (m)

n = koefisien kekasaran Manning

Pada studi ini, dimensi pipa bawah permukaan direncanakan dengan anggapan tinggi permukaan air maks $y = 0,7 D$. Hal ini dilakukan untuk menghindari luapan air dari lubang-lubang pada saat Q_{maks} . Untuk $y = 0,7D$ diperoleh harga $\theta = 227,2$ dan persamaan 2 – 24 sampai persamaan 2 – 26 menjadi:

$$A = 0,587 \cdot D^2 \quad (2-36)$$

$$P = 1,981 \cdot D \quad (2-37)$$

$$R = \frac{A}{P} = 0,296 \cdot D \quad (2-38)$$

Dan persamaan 2 – 35 menjadi:

$$D = \left(\frac{Q \cdot n}{0,261 \cdot S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (2-39)$$

2.5 Perencanaan Struktur Drainase Bawah Permukaan (*Sub Surface Drainage*)

2.5.1 Analisa Topografi

Pada perencanaan pembangunan suatu konstruksi pipa drainase data topografi berperan penting terutama bagi penentuan letak dan rute kedudukan pipa. Serta sebagai faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis konstruksi yang sesuai untuk pipa tersebut.

Data topografi dapat diperoleh melalui pengukuran dan pengamatan langsung di lapangan ataupun dengan melihat pola garis ketinggian permukaan tanah (kontur) dari peta kontur yang ada.

2.5.2 Analisa Geologi

Selain kondisi topografi, dalam merencanakan dimensi Pipa yang perlu diperhatikan adalah struktur geologi lokasi kedudukan pipa. Hal ini berkaitan dengan beban yang bekerja pada dinding pipa. Setelah hasil perhitungan, jika beban yang bekerja berat, maka sisi bagian atasnya harus dibuat lengkung atau seperti kurva linier.

Analisis Stabilitas Konstruksi Pipa Drainase

Analisis stabilitas konstruksi pipa didasarkan pada kombinasi gaya yang bekerja pada bangunan. Pembebanan tersebut ditinjau terhadap kondisi:

1. pada saat air kosong
2. pada saat air penuh.

Gaya-gaya yang bekerja merupakan gaya aksi yang berarah ke bawah. Reaksi yang terjadi dirumuskan :

$$\sigma = \frac{\sum W}{A} \dots\dots\dots (2 - 26)$$

dimana:

σ = tegangan yang terjadi (kg/m^2)

ΣW = jumlah gaya yang bekerja (kg)

A = luas (m^2)

Konstruksi dianggap aman jika tegangan (σ) yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin ($\bar{\sigma}$). Nilai-nilai tegangan ijin tercantum pada tabel 2.2

Tabel 2.12 Tegangan Ijin Berbagai Jenis Batuan.

No	Sifat Batuan	Macam Batuan	Tegangan ijin (kg/cm^2)
1	Batuan lunak	Batu gamping, Lanau, Lempung, Tufa, Napal	4 – 8
2	Batuan sedang	Braksi, pasir, konglomerasi, aglomerat	8 – 16
3	Batuan keras	Basalt, adrenat, granit	16 - 50

Sumber : Sunggono, 1995

2.5.3 Penulangan Konstruksi Dinding Pipa

Metode yang digunakan adalah metode elastis dimana tidak boleh ada retakan yang terjadi pada konstruksi. Metode ini sangat cocok digunakan untuk bangunan-bangunan air karena dapat mencegah rembesan air. Pelaksanaan konstruksi antara lain membangun *conduit* pengelak setelah penggalan lapisan *colufial* hingga mencapai tanah keras, setelah proses pembetonan *conduit* selesai, dilanjutkan dengan *grouting* di bawah *conduit*.

Pedoman yang digunakan dalam perhitungan ini adalah peraturan standart perencanaan beton bertulang SNI03-2847-2002. Pada metode ini, struktur direncanakan berdasarkan beban kerja. Adapun langkah-langkah perencanaan beton bertulang / penulangan pada pelat adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan mutu beton (f_c') dan mutu baja (f_y) yang akan digunakan sesuai dengan kondisi dari suatu konstruksi
2. Menghitung pembebanan yang bekerja pada dinding Pipa, baik beban mati maupun beban hidup.
3. Menentukan tebal pembetonan Pipa (t) dan tebal efektif (d) beton (direncanakan dan disesuaikan dengan tebal penutup beton).
4. Menghitung statika pembebanan dan momen yang terjadi pada konstruksi Pipa berdasarkan teori *Column Analogy*
5. Memilih diameter tulangan
Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan luas tulangan pelat (buku grafik dan tabel pehitungan beton bertulang W.C VIs D Gideon K.1993), dengan syarat luasan yang dipakai harus lebih besar dari luas perlu hasil perhitungan.
6. Kontrol gaya berdasarkan jenis penulangan yang menentukan.

2.5.4 Elemen struktur plat pada teori *Column Analogy*.

Analisa yang dilakukan Pipa pengelak berikut menggunakan asumsi teori dasar regangan bidang (*plane strain action*). Sedangkan untuk perhitungan dan analisa pembebanan, distribusi momen, pemodelan statika pada struktur Pipa, serta perilaku perpindahannya (*displacement*) mengacu pada teori *Column Analogy*.

Teori *Column Analogy* digunakan untuk menganalisis suatu bentukan *plane frame* lengkung tertutup, dimana strukturnya termasuk statis tak tentu dengan derajat kurang dari tiga. Analisis yang digunakan adalah metode gaya, dengan suatu *redundant* dipilih pada suatu titik yang disebut *clastic center*, dan menyertakan perhitungan seperti pada analisa *column cross section* tertekan, guna mengkombinasikan gaya momen yang terjadi dengan gaya normalnya. (Ghali, 2003)

Pada kasus biasa teori *Column Analogy* ini pada umumnya digunakan untuk menghitung gaya tekan atau tegangan dalam pada balok dan tumpuan, namun pada kasus-kasus khusus seperti dalam pembahasan ini dapat juga digunakan untuk menganalisa struktur bidang elastis, menghitung efek deformasi yang disebabkan oleh longitudinal stress dan gaya geser pada batang yang membingkai dan pada batang-batang rangka.

2.5.5 Kombinasi Aksial dan Lentur

Dalam perencanaan menggunakan *column analogy* ini, plat yang membentuk konstruksi Pipa ini dibagi dalam beberapa bagian (*section*) untuk mempermudah dalam perencanaan baik analisis maupun penulangannya. Analisa perencanaannya mengacu pada dua kondisi, yaitu :

1. Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara konsentrik

Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara konsentrik terbagi atas komponen sumbangan beton dan sumbangan baja, yaitu sebagai berikut : (Iswandi Imran, 2000)

$$P_c = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) \dots \dots \dots (2.46)$$

$$P_s = f_y A_{st} \dots \dots \dots (2.47)$$

Keterangan :

A_{st} : luas total tulangan baja, yaitu $A_s + A_s'$

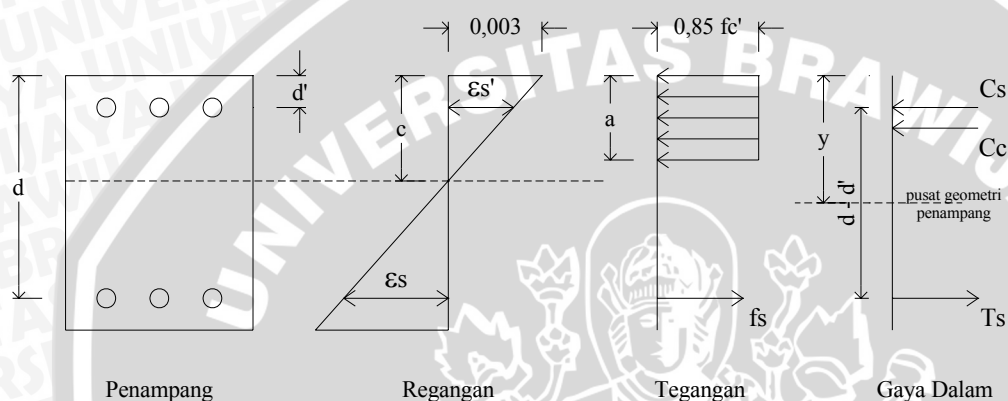
A_g : luas total penampang kotor

Penggunaan nilai 0,85 dalam perhitungan kekuatan kolom didasari atas adanya perbedaan kekuatan tekan beton pada elemen struktur aktual terhadap kuat tekan beton silinder, yaitu :

$$f_{co}' = 0,85 f_c' \dots\dots\dots(2.48)$$

2. Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara eksentrik

Prinsip blok tegangan persegi ekuivalen yang berlaku pada analisis balok dapat juga diterapkan pada analisis kolom terhadap beban eksentrik. (Gambar 2.5)



Gambar 2.7. Distribusi Tegangan pada Penampang Kolom

(Sumber : Iswandi Imran, 2000)

Keterangan gambar :

o Regangan

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d-c}{c} \dots\dots\dots(2.49)$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c-d'}{c} \dots\dots\dots(2.50)$$

o Tegangan

$$f_s' = \epsilon_s \epsilon_s' \leq f_y \dots\dots\dots(2.51)$$

$$f_s = \epsilon_s \epsilon_s \leq f_y \dots\dots\dots(2.52)$$

O Gaya Dalam

$$C_c = 0,85 f_c' b a \dots\dots\dots(2.53)$$

$$C_s = A_s' f_s' \dots\dots\dots(2.54)$$

$$T_s = A_s f_s \dots\dots\dots(2.55)$$

Persamaan keseimbangan untuk penampang kolom disyaratkan sebagai berikut (SNI 03-2847-2002)

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 0,85 f_c' b a + A_s' f_s' - A_s f_s \dots\dots\dots(2.56) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= P_n e \\ &= C_c \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y}) \\ &= 0,85 f_c' b a \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (\bar{y} - d') + A_s f_s (d - \bar{y}) \dots\dots\dots(2.57) \end{aligned}$$

Pada persamaan di atas, jarak netral c diasumsikan berada dalam daerah d penampang sehingga tulangan baja pada lokasi d benar-benar mengalami gaya tarik, dimana gaya aksial P_n tidak boleh lebih besar dari P_n maks. Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa terdapat beberapa parameter yang tidak diketahui, yaitu tinggi blok tegangan ekuivalen (a), f_s' , f_s , dan P_n untuk e tertentu atau e untuk P_n tertentu. Nilai f_s' dan f_s dapat dinyatakan dalam a , sehingga tinggal dua bilangan yang tidak diketahui, yaitu a dan P_n atau a dan e .

Dengan dua persamaan yang ada, kita dapat memecahkan harga a dan e . Seperti disebutkan sebelumnya, jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada kolom pendek adalah leleh tulangan tarik dan keruntuhan tekan, hal ini digunakan untuk menentukan jenis tulangan yang menentukan. Kondisi *balance* tercipta jika keruntuhan terjadi bersamaan pada tulangan tarik dan beton tekan. Jika P_u adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial yang berkaitan dengan keruntuhan *balance*, maka :

$P_u < P_{nb}$ → tulangan tarik menentukan

$P_u = P_{nb}$ → jenis keruntuhan balance

$P_u > P_{nb}$ → tulangan tekan menentukan

Prosedur analisis untuk penampang kolom adalah sebagai berikut :

1. Untuk P_u dan M_u yang bekerja pada penampang, hitung $e = \frac{M_u}{P_u}$
2. Asumsikan dimensi penampang dan rasio tulangannya (antara 1% – 8%)
3. Hitung P_{nb} untuk penampang yang diasumsikan tersebut dan tentukan jenis tulangan yang menentukan.
4. Kontrol apakah penampang cukup memadai (aman dan ekonomis). Asumsikan penampang baru jika penampang tidak memadai.
5. Desain tulangan lateral.



2.5.6 Software STAAD Pro untuk analisis struktur

STAAD Pro adalah paket program yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain struktur. STAAD Pro menggunakan teknologi yang modern dalam rekayasa elemen hingga, dengan input data berbasis *object oriented*. Kelebihan dari penggunaan GUI (*Graphical User Interface*) dirancang untuk mempermudah penggunaan aplikasi oleh pemakai.

Elemen mayor pada interface STAAD Pro sesuai dengan GUI (*Graphical User Interface*) dari STAAD Pro pada gambar 2.1 yaitu :

- Pulldown menu
Gunanya untuk mengakses ke semua fasilitas dari STAAD Pro.
- Toolbar menu
Toolbar berguna untuk mengakses perintah yang sering digunakan. Dapat juga membuat customized toolbar sendiri.
- Main window
Yaitu layer tempat bekerja, dimana model dan hasil analisis akan ditampilkan.
- Page menu
Yaitu sekumpulan tab yang letaknya paling kiri dari layar. Setiap page control mempunyai perintah spesifik yang akan memudahkan dalam pemodelan dan verifikasi hasil analisa. Organisasi dari tab-tab tersebut menggambarkan operasi berurutan dari atas ke bawah. Setiap tab mempunyai nama spesifik dan icon tersendiri untuk memudahkan pengerjaan.
- Data area
Pada bagian kanan dari layer disebut dengan Data Area, dimana dialog box, table, list box, akan ditampilkan berbeda, tergantung dari operasi yang dilakukan.

2.5.6.1 INPUT

STAAD Pro menyediakan input data melalui *input/command file* dan *Graphical User Interface* atau kombinasi antara keduanya. *Input/command file* merupakan file text yang mengandung serangkaian perintah bahasa inggris yang mengandung instruksi atau data menyangkut analisa maupun desain struktur. Input data pada program STAAD Pro meliputi tipe struktur, unit system, geometri struktur, spesifikasi batang, jenis tumpuan, pembebanan, tipe analisa dan parameter desain struktur. (Anonimous,2005)

2.5.6.2 OUTPUT

Setelah proses analisa, STAAD Pro menghasilkan output file. File ini menyajikan informasi akurat apabila analisa dilakukan dengan benar. Pada output file akan tampak laporan apabila ada kesalahan dalam input maupun prosesnya. STAAD Pro juga menyediakan fasilitas verifikasi maupun visualisasi, sehingga dapat menyajikan hasil dalam bentuk gambar dan mencocokkannya dengan output file.(Anonimous,2005).