

Bab 4

Pengolahan Data, Analisis, dan Desain

4.1 Pengumpulan Data

Sub bab ini akan menguraikan data-data yang digunakan dalam proses desain.

4.1.1 Data Perencanaan Geometrik

Dalam perencanaan geometrik suatu bandara, diperlukan data perkiraan penumpang tahunan domestik, internasional serta data kebutuhan pesawat untuk bandara tersebut agar kapasitas bandara yang tersedia dapat memenuhi kebutuhan permintaan. Data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari laporan akhir rencana induk pembangunan BIJB. Perkiraan penumpang tahunan untuk domestik dan internasional dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perkiraan Penumpang Tahunan Domestik dan Internasional BIJB

Tahun	Domestik	Internasional	Total
2005	3356000	710169	4066169
2006	3700000	753673	4453673
2007	4079000	799843	4878843
2008	4497000	848841	5345841
2009	4958000	900841	5858841
2010	5465000	956026	6421026
2011	5884000	998664	6882664
2012	6335000	1043204	7378204
2013	6820000	1089730	7909730
2014	7343000	1138331	8481331
2015	7905000	1189100	9094100
2016	8421000	1241411	9662411
2017	8971000	1296024	10267024
2018	9556000	1353039	10909039
2019	10179000	1412563	11591563
2020	10843400	1474705	12318105
2021	11452000	1538891	12990891
2022	12096000	1605871	13701871
2023	12775000	1675766	14450766
2024	13492000	1748703	15240703
2025	14250000	1824815	16074815
2026	15050000	1904239	16954239
2027	15895000	1987120	17882120
2028	16788000	2073609	18861609
2029	17731000	2163862	19894862
2030	18727000	2258043	20985043
2031	19684000	2356061	22040061
2032	20690000	2458334	23148334
2033	21748000	2565046	24313046
2034	22859000	2676390	25535390
2035	24028000	2792568	26820568

Sumber : Laporan Masterplan BIJB (2005)

Perencanaan pembangunan BIJB dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap I (tahun 2020), tahap II (tahun 2030), dan tahap *ultimate* (tahun 2035). Sedangkan untuk keperluan

perencanaan BIJB pada tugas akhir ini akan direncanakan berdasarkan pembangunan tahap I saja, yaitu tahun 2020. Pada Tabel 4.1, dapat diketahui perkiraan penumpang tahunan BIJB untuk domestik sebesar 10,843,400 dan untuk internasional sebesar 1,474,705 penumpang.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada Laporan Master Plan BIJB, dapat diketahui pergerakan pesawat domestik dan internasional pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perkiraan Pergerakan Pesawat Domestik dan Internasional BIJB

Tahun	Uraian Traffic	Penumpang			Pergerakan Pesawat Domestik							Pergerakan Pesawat Internasional							Pergerakan Total
		Domestik	Internasional	Total	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5	Kelas 6	Total	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5	Kelas 6	Total	
2020	Tahunan	11452000	1538891	12990891	3650	13955	69673	21607	1679	-	110564	-	5551	8822	-	-	-	14373	124937
	Bulan Sibuk	1168560	149042	1317602	373	1424	7111	2205	171	-	11284	-	564	897	-	-	-	1461	12745
	Pola Harian	38313	4887	43200	12	47	233	72	6	-	370	-	19	29	-	-	-	48	418
	Jam Sibuk 2 Arah	2479	803	3282	1	3	15	5	0	-	24	-	3	5	-	-	-	8	32
	Jam Sibuk 1 Arah	1487	482	1969	-	2	9	3	0	-	14	-	2	3	-	-	-	5	19

Sumber : Laporan Masterplan BIJB (2005)

Pergerakan total pesawat domestik dan internasional BIJB pada tahun 2020 untuk jam sibuk 2 arah adalah sebesar 24 buah untuk pesawat domestik, dan 8 buah untuk pesawat internasional. Total pergerakan pesawat adalah 32 pesawat.

Pesawat rencana yang akan beroperasi di BIJB meliputi pesawat kelas 1 (terbesar) hingga pesawat kelas 6 (terkecil). Contoh pesawat-pesawat rencana yang akan beroperasi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Contoh Pesawat Rencana yang Akan Beroperasi

Kelas Pesawat	Jenis Pesawat
6	CN-212, DHC-6
5	F-27, F-50,
4	F.28, ATP
3	A.320, B.727
2	B.757, A.321
1	B.767-300, B.747

Sumber : Laporan Masterplan BIJB (2005)

Untuk perencanaan geometrik *runway*, digunakan pesawat rencana yang mempunyai nilai MTOW terbesar. Pesawat rencana yang mempunyai MTOW terbesar adalah Boeing 747-400ER. Karakteristik teknis B 747-400ER dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Arah orientasi *runway* ditentukan dengan pembuatan *wind rose* sesuai dengan angin yang bertiup di daerah perencanaan. Penelitian arah dan kecepatan angin untuk perencanaan geometrik BIJB menggunakan data meteorologi Jatiwangi tahun 1997-2005 (Laporan Masterplan BIJB, 2005). Detail *wind rose* akan dijelaskan pada bab 4.22. Data persentase kejadian arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 4 Karakteristik Teknis B 747-400 ER

Karakteristik	Satuan	GE ENGINES	PW ENGINES	RR ENGINES
		CF6-80C2B5-F	PW4062	RB211-524H8-T
<i>Max Design</i>	Pound	913	913	913
<i>Taxi Weight</i>	Kilogram	414.13	414.13	414.13
<i>Max Design</i>	Pound	910	910	910
<i>Take Off Weight</i>	Kilogram	412.77	412.77	412.77
<i>Max Design</i>	Pound	666	666	666
<i>Landing Weight</i>	Kilogram	302.093	302.093	302.093
<i>Max Design</i>	Pound	611	611	611
<i>Zero Fuel Weight</i>	Kilogram	277.145	277.145	277.145
<i>Spec Operating</i>	Pound	362.4	362.4	362.4
<i>Empty Weight (1)</i>	Kilogram	164.382	164.382	164.382
<i>Max Structural</i>	Pound	248.6	248.6	248.6
<i>Payload</i>	Kilogram	112.763	112.763	112.763
<i>Typical Cargo - Main Deck Containers (2)</i>	Feet kubik	18.72	18.72	18.72
	Meter kubik	530	530	530
<i>Max Cargo – Lower Deck Containers (LD2)</i>	Feet kubik	5.6	5.6	5.6
	Meter kubik	159	159	159
<i>Max Cargo – Lower Deck Bulk Cargo</i>	Feet kubik	520	520	520
	Meter kubik	15	15	15
<i>Usable Fuel Capacity</i>	U.S. Gallon	53.765	53.985	53.985
	Liter	203.501	204.333	204.333
	Pound	360.226	361.7	361.7
	Kilogram	163.396	164.064	164.064
<i>ARFL</i>	3100 m			
<i>Wingspan</i>	64,4 m			
<i>Outer Main Gear Wheel Span</i>	11 m			
<i>Overall Length</i>	70,6 m			

Sumber:www.boeing.com

Tabel 4. 5 Data Persentase Angin

Wind Direction	Percentage of Wind						Total
	0 - 4 mph	4 - 8 mph	8 - 12 mph	12 - 18 mph	18 - 24 mph	24 - 31 mph	
N	3.1	7.56	3.56	1.01	0.36	0.29	15.88
NE	1.04	1.44	0.47	0.22	0	0.04	3.21
E	8.24	20.99	9.68	3.89	0.58	0.11	43.49
SE	0.18	0.25	0.14	0	0	0.04	0.61
S	1.91	7.52	5.65	2.99	1.76	0.65	20.48
SW	0.11	0.61	0.72	0.22	0.18	0.07	1.91
W	0.68	2.66	2.23	0.65	0.14	0.11	6.47
NW	0.97	1.98	2.16	1.48	0.25	0.04	6.88

Sumber : Laporan Masterplan BIJB(2005)

4.1.2 Data Perencanaan Perkerasan

Salah satu data pokok yang diperlukan dalam perencanaan perkerasan adalah data pesawat tahunan. Struktur perkerasan direncanakan berdasarkan perkiraan data pesawat tahunan yang akan beroperasi pada tahun 2020 yang ditampilkan dalam Tabel 4.6. Data tersebut merupakan hasil analisis kebutuhan ruang dan fasilitas bandar udara dalam studi rencana induk BIJB yang telah dilakukan pada tahun 2005.

Tabel 4. 6 Data Pesawat Tahunan Tahun 2020

No.	Rute	Pergerakan Pesawat Tahunan						Pergerakan	Load
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5	Kelas 6	Total	Factor
1	Domestik	3650	13955	69673	21607	1679	0	110564	0.75
2	Internasional	0	5551	8822	0	0	0	14373	0.65
3	Domestik + Int'l	3650	19506	78495	21607	1679	0	124937	

Sumber : Laporan Masterplan BIJB (2005)

Dari data dalam Tabel 4.6 diketahui pergerakan pesawat tahunan sebesar 124.937 pesawat dalam lima kelas pesawat.

4.1.3 Data Perencanaan Drainase

Data perencanaan drainase meliputi data curah hujan dan data analisis hidrologi. Data-data tersebut didapat dari BMG dan Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran Bandara Internasional Jawa Barat.

a. Data curah hujan

Data curah hujan diambil dari tiga stasiun hujan yang dianggap berpengaruh pada lokasi yang akan dikaji dalam hal ini untuk perencanaan saluran drainase *runway*. Dalam hal ini ketiga stasiun hujan tersebut adalah: Stasiun Hujan Pakumbahan (No. stasiun 20), Stasiun Hujan Kadipaten (21), dan Stasiun Hujan Majalengka (41). Data curah hujan yang diambil merupakan curah hujan harian maksimum dalam satu tahun tertentu selama 10 tahun dari 1979 sampai dengan tahun 1988.

Tabel 4. 7 Curah Hujan Maksimum 3 Stasiun dalam 10 Tahun

Tahun	Ch Maksimum (mm)		
	Pakumbahan	Kadipaten	Majalengka
1979	94	65	98
1980	145	56	115
1981	128	150	122
1982	140	105	90
1983	77	91	90
1984	135	79	110
1985	64	99	115
1986	68	98	115
1987	69	102	131
1988	71	105	150

Sumber : Badan Meteorologi dan Geofisika

b. Data analisis hidrologi

Setelah pengumpulan data curah hujan dan penentuan curah hujan regional, dilakukan analisis harga ekstrim curah hujan untuk mendapatkan curah hujan rencana . Metode yang digunakan untuk analisis harga ekstrim adalah dengan metode Distribusi Normal, Log Normal, *Gumbel* dan Distribusi Log Pearson III.

Tabel 4. 8 Perhitungan Curah Hujan

Tahun	CH (mm)	(x-xrata)^2	logx	(logx-logx rata)^2	(logx-logx rata)^3
1979	86	285.610	1.93281	0.00556	-0.00041
1980	105	7.654	2.02257	0.00023	0.00000
1981	133	946.588	2.12494	0.01382	0.00163
1982	112	82.810	2.04792	0.00164	0.00007
1983	86	274.454	1.93450	0.00531	-0.00039
1984	108	29.521	2.03342	0.00068	0.00002
1985	93	98.010	1.96692	0.00164	-0.00007
1986	94	79.210	1.97159	0.00128	-0.00005
1987	101	3.610	2.00289	0.00002	0.00000
1988	109	37.210	2.03610	0.00083	0.00002
?	1,025.67	1,844.68	20.07365	0.03101	0.00082
X _{Rata-rata}	102.57		2.01		

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB, 2008

$$X_{rata-rata} = \frac{\sum X}{N} = \frac{1025,667}{10} = 102,567$$

$$X \log_{rata-rata} = \frac{\sum \log X}{N} = \frac{20,074}{10} = 2,007$$

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{rata-rata})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{1844,678}{9}} = 14,317$$

$$S \log x = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \log x_{rata-rata})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{2,007}{9}} = 0,059$$

1. Perhitungan distribusi normal

Contoh perhitungan distribusi normal Untuk data (m) ke 1:

$$P(Weibull) = \frac{m}{n + 1} = \frac{1}{10 + 1} = 0,09091$$

$$Tr = \frac{1}{P} = \frac{1}{0,09091} = 11$$

Cs untuk normal =0, Kt = 1,313

$$X_{tr} = R_{rata-rata} + KtSx = 102,567 + 1,313 \times 14,317 = 121,368 \text{ mm}$$

Tabel 4. 9 Perhitungan Distribusi Normal

Distribusi Normal				
m	P(weibull)	Tr	Kt	Xtr
1	0.091	11.000	1.313	121.368
2	0.182	5.500	0.886	115.251
3	0.273	3.667	0.468	109.264
4	0.364	2.750	0.211	105.580
5	0.455	2.200	0.056	103.370
6	0.545	1.833	-0.392	96.961
7	0.636	1.571	-1.007	88.151
8	0.727	1.375	-1.468	81.544
9	0.818	1.222	-1.827	76.405
10	0.909	1.100	-2.115	72.294

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB (2008)

2. Perhitungan distribusi log normal

Contoh perhitungan distribusi log normal untuk data (m) ke 1:

$$P(\text{Weibull}) = \frac{m}{n+1} = \frac{1}{10+1} = 0,09091$$

$$Tr = \frac{1}{P} = \frac{1}{0,09091} = 11$$

Cs untuk log normal =0, Kt = 1,313

$$\log Xtr = \log R_{rata-rata} + Kt \times S \log x = 2,007 + 1,313 \times 0,059 = 2,084 \text{ mm}$$

$$Xtr = 121,465 \text{ mm}$$

Tabel 4. 10 Perhitungan Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal				
m	P(weibull)	Tr	Kt	Xtr
1	0.091	11.000	1.313	121.465
2	0.182	5.500	0.886	114.649
3	0.273	3.667	0.468	108.348
4	0.364	2.750	0.211	104.646
5	0.455	2.200	0.056	102.485
6	0.545	1.833	-0.392	96.467
7	0.636	1.571	-1.007	88.769
8	0.727	1.375	-1.468	83.401
9	0.818	1.222	-1.827	79.452
10	0.909	1.100	-2.115	76.427

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB (2008)

3. Perhitungan distribusi Gumbel

Contoh perhitungan distribusi Gumbel untuk data (m) ke 1:

$$P(\text{Weibull}) = \frac{m}{n+1} = \frac{1}{10+1} = 0,09091$$

$$Tr = \frac{1}{P} = \frac{1}{0,09091} = 11$$

$$Kt = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] \right\} = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{11}{11-1} \right) \right] \right\} = 1,383$$

$$Xtr = R_{rata-rata} + Kt \times Sx = 102,567 + 1,383 \times 14,317 = 122,373 \text{ mm}$$

Tabel 4. 11 Perhitungan Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbell				
m	P(weibull)	Tr	Kt	Xtr
1	0.091	11.000	1.383	122.373
2	0.182	5.500	0.803	114.058
3	0.273	3.667	0.442	108.900
4	0.364	2.750	0.169	104.989
5	0.455	2.200	-0.060	101.712
6	0.545	1.833	-0.265	98.775
7	0.636	1.571	-0.459	95.992
8	0.727	1.375	-0.655	93.196
9	0.818	1.222	-0.866	90.163
10	0.909	1.100	-1.133	86.353

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB (2008)

4. Perhitungan distribusi log Pearson

Tabel 4. 12 Perhitungan Distribusi Log Pearson

Distribusi Log Pearson				
m	P(weibull)	Tr	Kt	Xtr
1	0.091	11.000	1.366	122.341
2	0.182	5.500	0.855	114.171
3	0.273	3.667	0.404	107.424
4	0.364	2.750	0.130	103.520
5	0.455	2.200	0.033	102.159
6	0.545	1.833	-0.399	96.375
7	0.636	1.571	-0.878	90.328
8	0.727	1.375	-1.238	86.044
9	0.818	1.222	-1.517	82.852
10	0.909	1.100	-1.741	80.385

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB (2008)

Contoh perhitungan distribusi Log Pearson untuk data (m) ke-1:

$$P(\text{Weibull}) = \frac{m}{n+1} = \frac{1}{10+1} = 0,09091$$

$$Tr = \frac{1}{P} = \frac{1}{0,09091} = 11$$

$$Cs = \frac{N \sum (\log x - \log x_{rata-rata})^3}{(N-1)(N-2)(S_{\log x})^3} = \frac{10 \times 0,00982}{9 \times 8 \times (14,317)^3} = 0,566$$

$$Kt = 1,366$$

$$\log X_{tr} = \log R_{rata-rata} + Kt \times S \log x = 2,007 + 1,313 \times 0,059 = 2,088 \text{ mm}$$

$$X_{tr} = 122,341 \text{ mm}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan error relatif (D), yaitu nilai mutlak hasil selisih dari data aktual dan data hasil perhitungan dari empat metode distribusi harga ekstrim. Hasil perhitungan error relatif dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 13 Perhitungan Error Relatif

CH _{max} (mm)					error relatif (Ch _{data} -Ch _{perhitungan})			
Data	Normal	Log Normal	Gumbel	Log pearson	Normal	Log Normal	Gumbel	Log pearson
133	121.368	121.465	122.373	122.341	11.965	11.869	10.961	10.992
112	115.251	114.649	114.058	114.171	3.584	2.982	2.391	2.505
109	109.264	108.348	108.900	107.424	0.597	0.318	0.233	1.243
108	105.580	104.646	104.989	103.520	2.420	3.354	3.011	4.480
105	103.370	102.485	101.712	102.159	1.963	2.848	3.622	3.174
101	96.961	96.467	98.775	96.375	3.706	4.199	1.892	4.292
94	88.151	88.769	95.992	90.328	5.516	4.898	2.325	3.338
93	81.544	83.401	93.196	86.044	11.123	9.265	0.530	6.623
86	76.405	79.452	90.163	82.852	9.595	6.548	4.163	3.148
86	72.294	76.427	86.353	80.385	13.373	9.239	0.686	5.282
Rata-rata Error Relatif					6.384	5.552	2.981	4.508

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB (2008)

Dari Tabel 4.13 diperoleh metode analisis harga ekstrim yang sesuai untuk menentukan curah hujan rencana adalah Metode Gumbel, karena mempunyai harga rata-rata D yang lebih kecil yaitu 2,981. Selanjutnya dicari nilai D yang minimum dari setiap nilai D maksimum setiap metode, didapat nilai D maksimum yang mempunyai nilai minimum dari Metode Gumbel adalah 10,961 mm. Nilai D tersebut harus dibandingkan dengan nilai Smirnov-Kolmogorov. Dari Tabel 4.14 untuk data N = 10 dan tingkat probabilitas 5 % didapatkan nilai D = 0,41 x 100% = 41. Sehingga perhitungan dengan metode Gumbel memenuhi syarat untuk menentukan curah hujan maksimum rencana karena nilai Dmaks yaitu 10,961 lebih kecil dari D yang ditetapkan Smirnov-Kolmogorov, yaitu 41.

Curah hujan maksimum rencana dengan periode ulang 10 tahun dengan metode Gumbel:

$$Kt = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{10}{10-1} \right) \right] \right\} = 1,305$$

$$X_{tr} = X_{rata-rata} + Kt \times Sx = 102,567 + 1,305 \times 14,317 = 121,35 \text{ mm}$$

Tabel 4. 14 Nilai Smirnov- Kolmogorov

N	Nilai Kritis			
	0.20	0.10	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	0.30	0.34	0.40
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	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23

Sumber: Tugas Akhir Perencanaan Parkir Pelataran BIJB (2008)

4.1.4 Data Perencanaan Geoteknik

Perencanaan geoteknik dilakukan menggunakan data-data dalam Laporan Penyelidikan Tanah yang disusun oleh konsultan *Wiratman & Associates*. Data-data dalam laporan tersebut merupakan hasil pekerjaan lapangan dan pengujian laboratorium yang telah dilakukan pada tanggal 26 September 2005 sampai 6 Oktober 2005.

Data investigasi tanah yang ditampilkan meliputi pengujian permeabilitas, pengujian triaksial UU, pengujian konsolidasi, pengujian batas *Atterberg*, analisis saringan dan hidrometer, pengujian *specific gravity*, pengujian kompaksi dengan metode *Modified Proctor*, dan pengujian *California Bearing Ratio*.

Ikhtisar data penyelidikan tanah untuk perencanaan geoteknik disajikan dalam Tabel 4.15 sampai Tabel 4.22. Data yang ditampilkan adalah data dari 6 titik pengujian (*bore hole*) sebagai berikut:

- Perencanaan *runway* : BH-1, BH-2, BH-3, BH-4
- Perencanaan *taxiway* : BH-18
- Perencanaan *apron* : BH-11

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Permeabilitas

BH	Depth	k
	(cm)	(cm/sec)
1	150-200	10^{-5}
2	250-300	10^{-5}
3	150-180	10^{-5}
4	100-130	$1,6 \times 10^{-4}$
11	150-200	$3,71 \times 10^{-5}$
18	100-130	10^{-5}

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Triaksial UU

BH	Depth	c	Φ
	(cm)	(kg/cm ²)	(°)
1	150-200	0,104	4
2	250-300	0,094	6
3	150-180	0,094	5
4	100-130	0,042	9
11	150-200	0,104	6
18	100-130	0,214	21

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Konsolidasi

BH	Depth	eo	Po	Pe	w	Cc	Cv	Cr
	(cm)		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)		(x10 ⁻³ cm ² /sec)	
1	200	2,22	0,25	0,95	60,82	0,6	7,86	0,09
2	300	0,61	0,56	1,5	16,86	0,34	6,06	0,04
3	180	0,78	0,32	1,2	22,42	0,42	5,71	0,02
4	130	2,04	0,2	1,6	79,44	1,01	2,72	0,05
11	200	0,96	0,36	1,8	34,47	0,43	2,77	0,05
18	130	0,77	0,25	0,95	28,47	0,42	3,63	0,05

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Batas Atterberg

BH	Depth	LL	PL	PI	LI
	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	150-200	80,99	31,82	49,17	0,16
2	250-300	67,86	22,44	45,42	0,06
3	150-180	74,71	28,22	46,49	0,02
4	100-130	85,41	37,91	47,5	0,46
11	150-200	84,44	29,01	55,44	0,14
18	100-130	95,31	66,73	28,58	-1,39

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah, 2005

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Analisis Saringan dan Hidrometer

BH	Depth	Gravel	Sand	Silt	Clay
	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	150-200	0	3	66	31
2	250-300	0	9	54	47
3	150-180	0	14	71	15
4	100-130	0	7	57	36
11	150-200	0	6	51	43
18	100-130	0	16	63	21

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Specific Gravity

BH	Depth	γ	ω	Gs	e	Sr	P	γ_{dry}	γ_{sat}
	(cm)	(gr/cm ³)	(%)			(%)		(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	150-200	1,77	38	2,53	0,97	98,85	0,49	1,28	1,78
2	250-300	1,95	26	2,67	0,73	95,72	0,42	1,55	1,97
3	150-180	1,93	31	2,72	0,85	99,64	0,46	1,47	1,93
4	100-130	1,45	54	2,48	1,63	81,95	0,62	0,94	1,56
11	150-200	1,77	37	2,5	0,935	0,989	0,483	1,292	1,775
18	100-130	1,92	27	2,65	0,753	0,95	0,43	1,512	1,941

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Kompaksi (*Modified Proctor*)

BH	$\gamma_{dry\ max}$	ω_{opt}
	(gr/cm ³)	(%)
1	1,6	20
2	1,75	20
3	1,7	19,5
4	1,35	33
11	1,42	28,04
18	1,65	20,5

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

Tabel 4. 22 Hasil Pengujian *California Bearing Ratio*

BH	Kondisi	15 blows/layer		15 blows/layer		15 blows/layer	
		0,1"	0,2"	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
1		-	-	59,37	58,88	7,02	13,48
2		-	-	34,05	46,11	7,02	6,67
3	Unsoaked	19,58	17,02	32,99	28,09	38,94	35,61
	Soaked	1,49	0,99	6,17	4,82	6,81	6,81
4	Unsoaked	21,28	19,86	25,54	25,25	50,01	41
	Soaked	4,68	3,69	7,02	5,67	8,09	6,95
11	Unsoaked	-	-	-	-	27,74	23,57
	Soaked	-	-	-	-	2,93	3,39
18	Unsoaked	-	-	-	-	19,7	15,5
	Soaked	-	-	-	-	2,63	2,77

Sumber : Laporan Penyelidikan Tanah (2005)

4.2 Perencanaan Geometrik

Perencanaan geometrik yang dimaksud adalah perencanaan terhadap *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Perencanaan desain menggunakan code *ICAO Aerodrome Design Manual Part 1 Chapter 3 dan 5*. Dalam perencanaan geometrik, dibutuhkan perkiraan jumlah penumpang dan pesawat yang akan beroperasi selama masa layan bandara agar kapasitas perencanaan dapat memenuhi kebutuhan penumpang dan pesawat yang

disyaratkan. Perkiraan jumlah penumpang dan pesawat untuk BIJB sampai tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

4.2.1 Perencanaan *Runway* dan Kelengkapannya

Runway digunakan untuk kegiatan mendarat dan tinggal landas pesawat. Panjang *runway* utama ditentukan oleh pesawat yang memiliki MTOW terbesar dari pesawat rencana yang akan beroperasi di bandara tersebut.

Pesawat rencana yang akan digunakan meliputi kelas yang terbesar hingga yang terkecil. Contoh pesawat rencana yang akan beroperasi sesuai dengan kelasnya telah disebutkan pada Tabel 4.3.

Pesawat rencana yang akan digunakan dalam perencanaan *runway* adalah Boeing 747-400 ER dengan karakteristik teknis:

1. ARFL : 3100 m
2. *Wingspan* : 64.4 m
3. *Outer main gear wheel span* : 11 m
4. *Overall length* : 70.6 m
5. *Maximum Take Off Weight* (MTOW) : 412,770 kg

Karakteristik teknis secara detail untuk Boeing 747-400 ER dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Dari karakteristik diatas maka kode untuk pesawat sesuai dengan ketentuan ARC pada Tabel 2.1 dapat ditentukan, yaitu 4E. Kode 4 untuk pesawat dengan ARFL > 1800 m (ARFL B 747-400 = 3100 m). Sedangkan kode huruf E berarti pesawat B 747-400 ini mempunyai *wingspan width* 52 m-60 m atau lebih (64,4 m) dan *outer main gear wheel span* antara 9 m-14 m (11 m).

a. Sistem Pengoperasian *Runway*

Operasi *runway* untuk BIJB Kertajati menggunakan Instrument *runway*, yaitu *precision approach runway kategori I* dengan menggunakan alat bantu visual (ILS dan/atau MLS) untuk pengoperasian dengan *decision height* tidak kurang dari 60 m (200ft) dan jarak pandang tidak kurang dari 800 m.

b. Orientasi Arah *Runway*

Pesawat tipe B 747-400 ER berdasarkan ARFL memiliki *runway length* sebesar 3.350 m sehingga dikategorikan dengan *code letter A*. Maka batas *cross-wind* maksimumnya 20 knots (23 mph).

Untuk membuat *wind rose*, pertama yang dibutuhkan adalah data persentase pergerakan angin, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.5. Data persentase pergerakan angin terdiri dari data kecepatan angin serta persentase kejadian bertiupnya angin di daerah tersebut. Untuk BIJB, diambil data meteorologi Jatiwangi tahun 1997-2005 (*Laporan Masterplan BIJB, 2005*).

Sesuai dengan data yang diketahui, maka langkah-langkah pembuatan wind rose BIJB adalah:

1. Terdapat 6 jenis data kecepatan angin yang bertiup di BIJB, yaitu 0-4 mph, 4-8 mph, 8-12 mph, 12-18, 18-24 mph, dan 24-31 mph. Dari data tersebut, maka langkah selanjutnya adalah membuat 6 buah lingkaran yang berpusat pada satu titik. Lingkaran pertama mewakili kecepatan 4 mph, lingkaran berikutnya mewakili kecepatan 8 mph, dan seterusnya sampai pada lingkaran keenam mewakili kecepatan 31 mph.
2. Lingkaran-lingkaran tersebut dibagi menjadi 8 bagian sama besar (45° untuk setiap bagiannya) yang mewakili 8 arah angin. Nama 8 mata angin dituliskan pada ke-8 bagian lingkaran di sisi terluar lingkaran. Angka-angka yang dituliskan di dalam bagian lingkaran merupakan data persentase angin yang berada di daerah tersebut.
3. Buat bidang persegi panjang di atas lingkaran-lingkaran dengan ukuran:
 - a) Panjang : lebih besar daripada diameter lingkaran terbesar (31 mph).
 - b) Lebar : 2 X 23 mph
 Bidang ini kemudian diputar pada porosnya dengan sudut tertentu (dalam hal ini setiap 10°) untuk mendapatkan persentase total arah angin yang terbesar yang disebut sebagai *usability factor*.

Contoh perhitungan *usability factor* dapat dilihat pada Tabel 4.15 dengan mengambil contoh orientasi 140-320:

$$\text{Usability factor} = \sum (A * \text{percentage of wind})$$

Dengan A adalah luas juring yang terkena bagian bidang persegi panjang

Tabel 4. 23 Perhitungan *Usability Factor* Arah 140-320

140 - 320	0 - 4 mph		4 - 8 mph		8 - 12 mph		12 - 18 mph		18 - 24 mph		24 - 31 mph		Total
	A(%)	Percentage of Wind	A(%)	Percentage of Wind	A(%)	Percentage of Wind	A(%)	Percentage of Wind	A(%)	Percentage of Wind	A(%)	Percentage of Wind	
N	1	3.1	1	7.56	1	3.56	1	1.01	1	0.36	0.98	0.29	15.87
NE	1	1.04	1	1.44	1	0.47	1	0.22	0.91	0	0	0.04	3.17
E	1	8.24	1	20.99	1	9.68	1	3.89	1	0.58	0.82	0.11	43.47
SE	1	0.18	1	0.25	1	0.14	1	0	1	0	1	0.04	0.61
S	1	1.91	1	7.52	1	5.65	1	2.99	1	1.76	0.98	0.65	20.47
SW	1	0.11	1	0.61	1	0.72	1	0.22	0.91	0.18	0	0.07	1.82
W	1	0.68	1	2.66	1	2.23	1	0.65	1	0.14	0.82	0.11	6.45
NW	1	0.97	1	1.98	1	2.16	1	1.48	1	0.25	1	0.04	6.88
													98.75

Contoh perhitungan persentase pada arah angin N:

$$\left\{ \begin{aligned} &(1 * 3.1) + (1 * 7.56) + (1 * 3.56) + \\ &(1 * 1.01) + (1 * 0.36) + (0.98 * 0.29) \end{aligned} \right\} = 15.87 \%$$

Perhitungan persentase pada 7 arah angin (NE, E, SE, S, SW, W, NW) selanjutnya sama dengan perhitungan pada arah angin N. Setelah dilakukan perhitungan keseluruhan, didapatkan total persentase untuk arah 140-320 adalah sebesar 98.75%.

Berdasarkan perhitungan persentase total untuk setiap putaran 10° , diperoleh perhitungan persentase angin pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26 dengan total persentase

sebagai *usability factor*. Perhitungan persentase untuk setiap putaran 10° terdapat pada lampiran tugas akhir.

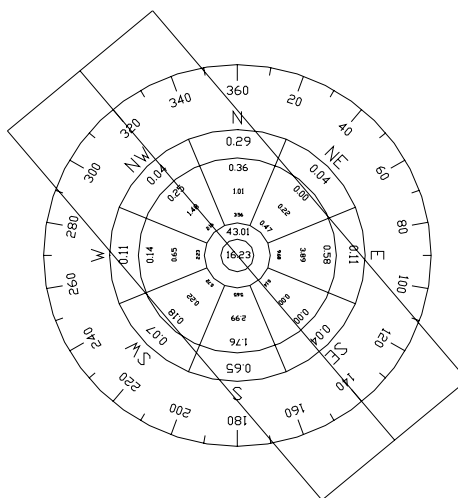
Tabel 4. 24 Data Perhitungan Persentase Angin (Arah 0-180 sd 90-270)

Arah	0 - 180	10 - 190	20 - 200	30 - 210	40 - 220	50 - 230	60 - 240	70 - 250	80 - 260	90 - 270
N	15.88	15.88	15.88	15.88	15.87	15.83	15.72	15.62	15.58	15.55
NE	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21
E	43.32	43.35	43.38	43.43	43.47	43.49	43.49	43.49	43.49	43.49
SE	0.61	0.60	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.58	0.60	0.61
S	20.48	20.48	20.48	20.48	20.47	20.36	20.11	19.86	19.75	19.65
SW	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91
W	6.35	6.35	6.37	6.41	6.45	6.47	6.47	6.47	6.47	6.47
NW	6.88	6.87	6.85	6.84	6.71	6.82	6.84	6.85	6.87	6.88
Total	98.62	98.65	98.66	98.73	98.66	98.65	98.32	97.99	97.87	97.76

Tabel 4. 25 Data Perhitungan Persentase Angin (Arah 100-280 sd 170-350)

Arah	100 - 280	110 - 290	120 - 300	130 - 310	140 - 320	150 - 330	160 - 340	170 - 350
N	15.58	15.62	15.72	15.83	15.87	15.88	15.88	15.88
NE	3.20	3.18	3.17	3.17	3.17	3.17	3.18	3.20
E	43.49	43.49	43.49	43.49	43.47	43.43	43.38	43.35
SE	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
S	19.75	19.86	20.11	20.36	20.47	20.48	20.48	20.48
SW	1.88	1.86	1.84	1.82	1.82	1.84	1.86	1.88
W	6.47	6.47	6.47	6.47	6.45	6.41	6.37	6.35
NW	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88
Total	97.86	97.97	98.29	98.63	98.75	98.70	98.64	98.64

Sesuai dengan perhitungan pada persentase arah angin di atas, dapat diketahui bahwa arah *runway* yang paling baik ialah arah 140-320 dengan *usability factor* 98.75 %.



Gambar 4. 1 *Wind Rose* dengan Arah 140-320

c. Panjang Runway

Geometrik *runway* untuk Tahap I pada tahun 2020 direncanakan untuk pesawat rencana terbesar Boeing 747-400 ER. Data kondisi lapangan yang dibutuhkan untuk perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Elevasi : +38.00 m MSL
2. Temperatur Referensi : 31°C
3. *Slope* : 0.3%

Panjang *runway* terkoreksi adalah panjang ARFL pesawat kritis yang dikoreksi terhadap elevasi, temperatur, dan *slope*.

$$\text{ARFL B 747-400} = 3,100 \text{ m}$$

Koreksi terhadap elevasi, KE

$$KE = \left[\text{ARFL} * 7\% * \frac{\text{elevasi}}{300} \right] + \text{ARFL}$$

$$KE = \left[3100 * 7\% * \frac{38}{300} \right] + 3100 = 3127,49 \text{ m}$$

Koreksi terhadap temperatur, KET

$$KET = \left[KE * (\text{temperatur} - (15 - 0,0065 * h)) * 1\% \right] + KE$$

$$KET = \left[3127,49 * (31 - (15 - 0,0065 * 38)) * 1\% \right] + 3127,49 = 3137,70 \text{ m}$$

Koreksi terhadap *slope*, KETS

$$KETS = \left[KET * \text{slope} * 10\% \right] + KET$$

$$KETS = \left[3137,70 * 0,3 * 10\% \right] + 3137,70 = 3147,68 \text{ m}$$

Panjang landasan terkoreksi 3,147,68 m $\approx$ 3,150 m

d. Lebar Runway

Lebar *runway* untuk perencanaan sesuai persyaratan pada Tabel 2.3 adalah 45 m.

e. Longitudinal Slope

Longitudinal slope yang dipakai dalam perencanaan BIJB sesuai dengan ketentuan pada Tabel 2.4 adalah 0.1% per 30 m.

f. Transverse Slope

Transversal slope untuk *runway* pada perencanaan BIJB sesuai dengan ketentuan ICAO adalah 1%. Sedangkan untuk *slope* pada *runway shoulder*, diambil sebesar 1.5%. Untuk *runway strip*, *slope* diambil sebesar 2%.

g. **Runway Shoulder**

Sesuai dengan ketentuan ICAO, maka BIJB dengan klasifikasi bandara E, maka ukuran *runway shoulder* pada masing-masing sisi sebesar 30 m. Lebar total *runway shoulder* adalah 60 m.

h. **Runway Strip**

Lebar total *runway strip* sesuai dengan kode pesawat yang disyaratkan ICAO yang tercantum pada Tabel 2.5 adalah sebesar 300 m. Panjang *runway strip* mengikuti panjang *runway* dengan tambahan 60 m di ujung *runway* (atau di ujung *stopway* jika terdapat *stopway*).

i. **RESA**

RESA terletak di kedua sisi ujung *runway strip*. Ukuran *RESA* yang sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan ICAO adalah 90 x 90 m.

j. **Clearway**

Clearway terletak di masing-masing ujung *runway*. Panjang *clearway* adalah 1875 m, hal ini sesuai dengan ketentuan ICAO, yaitu tidak melebihi $\frac{1}{2}$ panjang *TORA* ($\frac{1}{2}$ panjang *runway* = $3750/2 = 1875$ m). Lebar *clearway* diambil sebesar 150 m.

k. **Stopway**

Stopway terletak pada ujung *runway*. Lebar *stopway* sama dengan lebar *runway*, yaitu 45 m. Panjang *stopway* diambil sebesar 60 m.

l. **Declared Distances**

1. <i>TORA</i>	= panjang <i>runway</i> terkoreksi (elevasi, temperatur, <i>slope</i>)	= 3,750 m
2. <i>TODA</i>	= <i>TORA</i> + panjang <i>clearway</i>	= 3,750 m + 1,875 m = 5,625 m
3. <i>ASDA</i>	= <i>TORA</i> + panjang <i>stopway</i>	= 3,750 m + 60 m = 3,810 m
4. <i>LDA</i>	= panjang <i>runway</i> terkoreksi terhadap elevasi	= 3,127.49 m $\approx$ 3,128 m

4.2.2 Perencanaan Taxiway

Perencanaan desain *taxiway* dilakukan berdasarkan code ICAO *Aerodrome Design Manual Part 1*.

a. **Lebar Taxiway**

Lebar *taxiway* yang digunakan dalam perencanaan desain sesuai dengan kode yang diisyaratkan pada Tabel 2.6, yaitu 23 m.

b. **Taxiway Slope**

Sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan oleh ICAO, *slope* pada *taxiway* diambil sebesar 1%. Sedangkan pada *taxiway shoulder* dan *taxiway strip* masing-masing diambil sebesar 1.5% dan 2%.

c. Taxiway Shoulder

Total lebar *taxiway* beserta *shoulder* adalah 44 m. Hal ini sesuai dengan persyaratan pada Tabel 2.7 untuk menggunakan ukuran *shoulder* sebesar 10.5 m di masing – masing sisi pada bandara dengan klasifikasi pesawat 4E.

d. Taxiway Strip

Taxiway strip width yang digunakan sesuai dengan persyaratan ICAO pada Tabel 2.8 untuk bandara dengan pesawat klasifikasi 4E adalah sebesar 95 m.

e. Taxiway Curve

Sudut putar antara landasan terhadap *exit taxiway* diambil 90^0 dengan radius belokan sebesar 30 m. Menurut ketentuan ICAO pada Tabel 2.10, bandara dengan pesawat kode 4 memerlukan *radius of curve* di *rapid exit taxiway* sebesar 550 m dengan sudut sebesar 30^0 . Kecepatan pesawat ketika berjalan di *rapid exit taxiway* adalah ± 93 km/h.

f. Separation Distance Taxiway

Pada Tabel 4.18 dapat diketahui separation distance minimum yang disyaratkan ICAO sesuai dengan Tabel 2.11, serta jarak yang diambil untuk perhitungan di BIJB.

Tabel 4. 26 Separation Distance Taxiway

<i>Separation distance</i>	<i>Minimum</i>	BIJB
<i>To precision approach runway centre line</i>	182.5 m	200 m
<i>To another taxiway centre line</i>	80 m	100 m

Sumber: Annex 14, *Aerodrome Design Manual*, ICAO, 1984

Jarak minimum *taxiway* terhadap *apron center line* menurut ICAO adalah untuk pesawat kode E dengan wingspan 64.4 m adalah 80.9 m. Dalam desain BIJB ini, jarak yang diambil adalah sejauh 90 m.

Dalam perencanaan desain BIJB, tidak digunakan *holding bay*. Hal ini dilakukan atas dasar asumsi bahwa tidak akan terjadi antrian di *runway* sehingga lalu lintas pesawat akan lancar dan tidak membutuhkan *holding bay*.

4.2.3 Perencanaan Apron

Persyaratan utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan *apron*, yaitu jarak *clearance* dan kemiringan. *Apron* BIJB dibuat berdasarkan pesawat rencana yang mempunyai *wingspan* terbesar, yaitu B 747-400 dengan *wingspan* sebesar 64.4 m.

a. Persyaratan Clearance untuk Perencanaan Apron

Sesuai dengan persyaratan ICAO pada Tabel 2.12, *clearance* untuk *aircraft requirements* di *apron* adalah sejauh 7.5 m. *Clearance* ini diukur dari ujung sayap pesawat.

Minimum Separation Distances antara *Aircraft Parking Position Taxiline* dan *Object* yang diperlukan adalah 42.5 m. Untuk perencanaan BIJB, diambil jarak sejauh 44 m.

b. Persyaratan Kemiringan Apron

Kemiringan *apron* pada BIJB direncanakan sebesar 0.5%. Perencanaan kemiringan ini masih sesuai dengan ketentuan yang diisyaratkan oleh ICAO, yaitu kemiringan maksimum sebesar 1%. Hal ini dilakukan agar permukaan *apron* tidak tergenang air.

c. Konfigurasi Parkir Pesawat

Konfigurasi parkir pesawat yang digunakan adalah *Nose-In*, dengan kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

Kelebihan dari sistem *Nose-In*:

1. Semburan jet tidak ke terminal sebab hidung pesawat yang menghadap ke terminal.
2. Kebisingan saat mau parkir lebih kecil sebab yang menghadap terminal adalah bagian hidung pesawat, bukan bagian belakang.
3. Penumpang yang turun lebih dekat ke terminal.

Kelemahan dari sistem *Nose-In*:

1. Dibutuhkan banyak tenaga untuk berputar keluar sebab pada saat itu pesawat penuh dengan muatan (termasuk penumpang).
2. Kebisingan yang besar langsung mengarah ke terminal saat pesawat mau keluar sebab saat itu pesawat dipenuhi muatan yang memperbesar kerja mesin pesawat.

d. Sistem Parkir Pesawat

Parkir pesawat direncanakan dalam sistem *pier (finger)*. Arus penumpang dan barang diarahkan melalui terminal yang terpusat pada satu bangunan, dari dan menuju parkir pesawat yang dihubungkan dengan *pier*.

e. Jumlah Pintu Gerbang

Jumlah pintu gerbang pada *apron* harus sama dengan pesawat yang mampu ditampung oleh *apron*, terutama pada jam sibuk.

Dari hasil perhitungan permintaan jasa Bandara Jawa Barat dalam Laporan Masterplan BIJB, 2005, diperoleh total pergerakan pesawat pada jam sibuk untuk tahap I (tahun 2020) sebanyak 32 pesawat, dengan pembagian untuk penerbangan domestik sebanyak 24 pesawat dan penerbangan internasional sebanyak 8 pesawat.

Sesuai dengan perencanaan dalam masterplan, jumlah pintu yang harus disediakan pada *apron* sebanyak 24 pintu untuk terminal domestik dan 8 pintu untuk terminal internasional. Pintu domestik sebanyak 24 pintu dibagi dalam 3 *pier*. Masing-masing *pier* terdiri dari 8 pintu untuk penerbangan domestik. Sedangkan pada terminal internasional hanya disediakan satu *pier* yang terdiri dari 8 pintu.

f. Perkiraan Luas Apron

Perkiraan luas *apron* dapat dihitung sebagai berikut :

1. Luas Terminal $L = 80,665 \text{ m}^2$

2. Luas Lahan $L = 1,274 \times 711 = 905,814 \text{ m}^2$
3. Luas Kebutuhan Apron $L = (905,814 \text{ m}^2 - 80,665 \text{ m}^2) - (380 \times 174)$
 $= 825,149 \text{ m}^2 - 66,120 \text{ m}^2 = 759,029 \text{ m}^2$

4.3 Perencanaan Perkerasan

Perencanaan perkerasan dimulai dengan perencanaan distribusi penumpang tahunan ke pesawat tahunan tipikal. Data penumpang tahunan untuk tahun 2020 (tahun rencana operasi) telah ditampilkan dalam Tabel 4.6.

Melalui data dalam Tabel 4.6, diketahui pergerakan pesawat tahunan sebesar 124,937 pesawat, terbagi dalam lima kelas pesawat. Jumlah pergerakan terbesar terjadi pada pergerakan pesawat kelas 3, yaitu 78,495 pesawat per tahun. Jumlah pergerakan terkecil terjadi pada pergerakan pesawat kelas 6, yaitu nol pesawat per tahun.

Tabel 4.19 memperlihatkan pesawat udara tipikal yang akan digunakan dalam proses desain struktur perkerasan. Pesawat udara tipikal dalam hal ini merupakan pesawat udara yang mewakili sejumlah pesawat udara yang sejenis. Pengelompokan ke dalam pesawat udara tipikal dilakukan karena keterbatasan data karakteristik pesawat udara yang tersedia. Namun demikian, untuk keperluan proses desain praktis, setiap jenis pesawat udara sebaiknya dianalisis sesuai dengan data karakteristiknya masing-masing. Sementara itu, jenis pesawat udara ringan tidak perlu diperhitungkan lebih jauh mengingat pengaruhnya yang tidak signifikan terhadap kerusakan struktur perkerasan.

Data konfigurasi roda pesawat udara yang sangat diperlukan untuk perhitungan tegangan lentur di dalam struktur perkerasan juga diberikan pada tabel, termasuk jarak antara roda (SW), jarak antara sumbu roda (SG) dan jarak antara kaki roda (SL1 dan SL2). Empat konfigurasi sumbu roda yang dianalisis adalah *sumbu tunggal roda tunggal* (*single, S*), *sumbu tunggal roda ganda* (*double, D*), *sumbu tandem roda ganda* (*dual tandem, DT*) dan *sumbu tandem roda ganda dobel* (*double dual tandem, DDT*). Data tekanan ban, data berat total pesawat udara (MTOW) dan data persentase beban pada sumbu roda utama disesuaikan dengan data spesifikasi teknis pesawat udara yang dipublikasikan oleh masing-masing pabrik pembuatnya.

Modul pesawat dan data karakteristik pesawat yang akan beroperasi di BIJB pada tahun 2020 ditampilkan dalam Tabel 4.27.

Distribusi penumpang tahunan tahun 2020 dibuat merata untuk setiap pesawat dalam masing-masing kelas. Distribusi penumpang dan pesawat pada tahun 2020 dapat dilihat dalam Tabel 4.28.

Tabel 4. 27 Modul Pesawat dan Data Karakteristik Pesawat Tahunan Tahun 2020

No	Tipe Pesawat	Kelas Pesawat	Konfigurasi Sumbu Roda	MTOW (kg)	Tekanan Ban (MPa)	Jumlah Roda per Kaki Roda	Jumlah Roda Sumbu Utama	%Beban Sumbu Utama	Jarak Antar Roda/Sumbu/Kaki			
									S _W (cm)	S _G (cm)	S _{L1} (cm)	S _{L2} (cm)
1	CASA-212	5	S	14000	0.87	1	2	91	-	-	439.9	-
2	F28-MK2000	4	D	29480	0.69	2	4	92.6	58	-	504	-
3	F28-MK3000	4	D	32205	0.78	2	4	92.6	58	-	504	-
4	F28-MK4000	4	D	33110	0.78	2	4	92.6	58	-	504	-
5	F-100	3	D	45800	0.92	2	4	94.3	58	-	504	-
6	B737-200	3	D	52616	1.1	2	4	91	78	-	523	-
7	B737-300	3	D	57000	1.4	2	4	92.6	78	-	523	-
8	B737-400	3	D	63000	1.28	2	4	91.6	78	-	523	-
9	B767-200	2	DT	136984	1.26	4	8	93.8	114	142	930	-
10	A-310	2	DT	153000	1.24	4	8	93	93	140	960	-
11	B747-300	1	DDT	377800	1.31	4	16	92.4	112	147	1100	384
12	B747-400	1	DDT	412770	1.31	4	16	92.4	112	147	1100	384

4.3.1 Penentuan Repetisi Beban Ekuivalen

Volume pergerakan pesawat udara, baik keberangkatan, maupun kedatangan, juga diberikan pada tabel. Akan tetapi, hanya volume keberangkatan tahunan saja yang digunakan dalam proses penentuan tebal perkerasan desain (ICAO, 1983). Dalam proses desain, data volume keberangkatan tahunan dianggap konstan selama masa layan rencana struktur perkerasan yang umurnya ditetapkan 20 tahun.

Dari data karakteristik masing-masing pesawat didapat beban sumbu utama terbesar diakibatkan oleh pesawat B747-400, yaitu sebesar 381,399.48 kg. Maka untuk perencanaan desain perkerasan digunakan B747-400 sebagai pesawat kritis.

Tabel 4. 28 Pembagian Distribusi Penumpang-Pesawat Tahun 2020

No	Tipe Pesawat	Kelas Pesawat	Kedatangan Tahunan	Keberangkatan Tahunan	Sub Total Keberangkatan/ Kedatangan Tahunan
1	CASA-212	5	1679	1679	1679
2	F28-MK2000	4	7202	7202	21607
3	F28-MK3000	4	7202	7202	
4	F28-MK4000	4	7202	7202	
5	F-100	3	19624	19624	
6	B737-200	3	19624	19624	78495
7	B737-300	3	19624	19624	
8	B737-400	3	19624	19624	
9	B767-200	2	9753	9753	
10	A-310	2	9753	9753	19506
11	B747-300	1	1825	1825	3650
12	B747-400	1	1825	1825	
Pergerakan Total					124937

Untuk pendekatan desain yang berdasarkan pesawat udara desain kritis, struktur perkerasan diperhitungkan hanya untuk memikul sejumlah repetisi beban sumbu roda ekuivalen dari pesawat udara desain kritis tersebut selama masa layan rencana yang ditetapkan. Pengaruh dari jenis pesawat udara lainnya yang beroperasi terhadap

kerusakan struktur perkerasan diperhitungkan dengan menggunakan faktor ekivalen repetisi beban. Untuk lalu lintas campuran, ada tiga faktor ekivalen repetisi beban yang diperlukan, yaitu:

- Faktor ekivalen konfigurasi sumbu roda (FES)
- Faktor ekivalen beban (FEB)
- Faktor repetisi beban (LRF)

Seperti yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya, jumlah repetisi beban sumbu roda ekivalen dari pesawat udara desain kritis dapat diperoleh dengan mengalikan data keberangkatan tahunan dari setiap jenis pesawat udara yang beroperasi dengan faktor ekivalen repetisi beban, sebagai berikut:

$$R_1 \text{ desain} = \left[\sum_i \{ (R_2)_i \cdot FES_i \cdot FEB_i \} \right] \cdot LRF$$

Dengan memperhitungkan B747-400 sebagai pesawat kritis, didapat jumlah repetisi beban sumbu roda ekivalen dari pesawat udara desain kritis (R_1 desain) sebesar 3,767 pesawat (B747-400) per tahun. Contoh perhitungan ekivalensi keberangkatan tahunan diuraikan sebagai berikut:

Pesawat yang akan diekivalenkan : B737-200

Pesawat akan diekivalensi ke : B747-400

Data B737-200

Konfigurasi sumbu roda = D
% Beban sumbu utama = 91%
MTOW = W2 = 52,616 kg
Keberangkatan tahunan = R2 = 19,624 pesawat/tahun

Data B747-400

Konfigurasi sumbu roda = DDT
% Beban sumbu utama = 92.4%
MTOW = W1 = 412,770 kg
Keberangkatan tahunan = R1 = 1,825 pesawat/tahun

Perhitungan

Faktor-faktor:

FES(D ke DDT) = 0.6 (lihat Tabel 2.15)
LRF(D) = 0.287 (lihat Tabel 2.16)
LRF(DDT) = 0.27 (lihat Tabel 2.16)

Perhitungan FEB:

FEB = 0.002

Perhitungan keberangkatan tahunan ekivalen:

R_1 = 28

Didapat jumlah keberangkatan tahunan B737-200 sebesar 19,624 pesawat/tahun ekuivalen dengan keberangkatan tahunan B747-400 sebanyak 28 pesawat/tahun.

Dengan cara yang sama perhitungan dilakukan untuk seluruh pesawat yang direncanakan akan beroperasi, didapat keberangkatan tahunan untuk seluruh pesawat sebesar 3,767 pesawat/tahun ekuivalen terhadap B747-400. Ikhtisar perhitungan keberangkatan tahunan ekuivalen disajikan dalam Tabel 4.29. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam lembar Lampiran.

Tabel 4. 29 Perhitungan Keberangkatan Tahunan Ekuivalen

No	Tipe Pesawat	Kelas Pesawat	Konfigurasi Sumbu Roda	MTOW (kg)	% Beban Sumbu Utama	Keberangkatan Tahunan (pesawat/tahun)	FES	FEB	Keberangkatan Tahunan Ekuivalen (pesawat/tahun)
1	CASA-212	5	S	14000	91.00	1679	0.5	0.004	3
2	F28-MK2000	4	D	29480	92.60	7202	0.6	0.002	9
3	F28-MK3000	4	D	32205	92.60	7202	0.6	0.002	10
4	F28-MK4000	4	D	33110	92.60	7202	0.6	0.002	11
5	F-100	3	D	45800	94.30	19624	0.6	0.002	23
6	B737-200	3	D	52616	91.00	19624	0.6	0.002	28
7	B737-300	3	D	57000	92.60	19624	0.6	0.003	33
8	B737-400	3	D	63000	91.60	19624	0.6	0.003	39
9	B767-200	2	DT	136984	93.80	9753	1	0.020	199
10	A-310	2	DT	153000	93.00	9753	1	0.028	268
11	B747-300	1	DDT	377800	92.40	1825	1	0.722	1318
12	B747-400	1	DDT	412770	92.40	1825	1	1.000	1825
Total						124937	Total		3767

*Pesawat Desain Kritis B747-400

4.3.2 Perencanaan Perkerasan Runway dan Taxiway

Struktur perkerasan pada *runway* dan *taxiway* direncanakan menggunakan perkerasan lentur. Perkerasan dengan menggunakan perkerasan lentur ini, didasarkan pada alasan bahwa, dalam pemakaiannya struktur perkerasan lentur secara umum memberikan kenyamanan yang lebih baik untuk kegiatan *take-off*, *landing*, dan *taxiing* pesawat (Kosasih, 2003).

Metode desain struktur perkerasan lentur untuk *runway* dan *taxiway* dilakukan dengan menggunakan metode CBR. Metode CBR yang umum dikenal adalah metode CBR dari *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE). Prinsip dasar dari metode CBR adalah menyediakan tebal lapisan perkerasan yang sesuai dengan kualitas bahan yang digunakan untuk melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan alur (deformasi plastis) selama masa layan perkerasan yang umumnya ditetapkan 20 tahun.

Dalam metode CBR, digunakan anggapan bahwa, jika tebal lapisan perkerasan dan kualitas bahan yang digunakan cukup memadai maka kerusakan alur sebagian besar akan terjadi pada tanah dasar. Oleh karena itu, desain struktur perkerasan dapat dikontrol dengan membatasi tegangan yang terjadi pada tanah dasar agar akumulasi

dalam alur yang terjadi selama masa layan akibat repetisi dari tegangan tersebut tidak melebihi nilai batas yang diijinkan.

Seperti yang telah dijelaskan dalam bab sebelumnya, hubungan antara ketebalan perkerasan lentur dengan beban roda dan tekanan ban untuk kendaraan dengan beban berat diformulasikan sebagai berikut:

$$t = \alpha_i \left\{ \sqrt{A} \left[0.0481 - 1.1562 \left(\log \frac{CBR}{p_e} \right) - 0.6414 \left(\log \frac{CBR}{p_e} \right)^2 - 0.473 \left(\log \frac{CBR}{p_e} \right)^3 \right] \right\}$$

Namun, di luar perhitungan nilai ESWL yang relatif kompleks, USACE menurunkan persamaan di atas dalam bentuk kurva desain. Kurva desain untuk pesawat udara B747-400 ER disajikan dalam Gambar 2.4.

Data desain yang diperlukan untuk mendapatkan tebal perkerasan lentur dengan menggunakan kurva desain adalah data CBR tanah dasar, data beban sumbu utama pesawat, dan data keberangkatan tahunan pesawat.

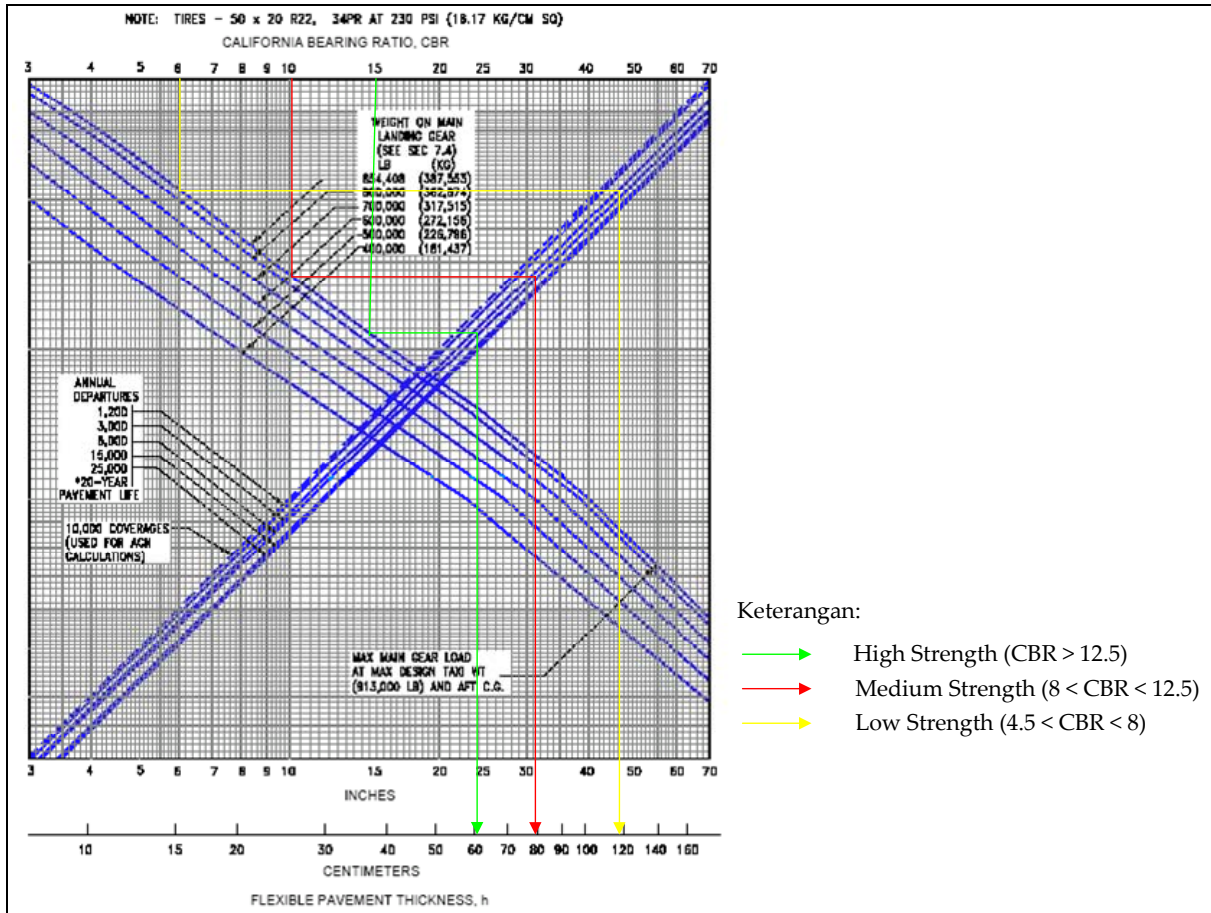
Seperti yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya, kekuatan tanah dasar untuk desain struktur perkerasan lentur berdasarkan code ICAO dibagi dalam empat kategori dalam kode A, B, C, dan D berdasarkan nilai CBR tanah dasar tersebut (lihat Tabel 2.17). Untuk menentukan kriteria perkerasan yang sesuai dan tebal perkerasan lentur yang dibutuhkan, dengan menggunakan kurva desain, dilakukan perbandingan tebal perkerasan lentur antara kategori A (*High Strength*), B (*Medium Strength*), dan C (*Low Strength*).

Data CBR tanah dasar yang akan digunakan adalah nilai wakil CBR untuk perkerasan lentur dengan kriteria desain kode A, B, dan C yaitu berturut-turut sebesar 15%, 10%, dan 6%. Data keberangkatan tahunan yang digunakan adalah data keberangkatan tahunan ekuivalen terhadap pesawat desain yang telah diperoleh dari perhitungan dalam sub bab 4.2.1 yaitu sebesar 3,767 pesawat. Besar beban sumbu utama didapat dari perkalian MTOW pesawat desain (B747-400ER) dengan persentase beban sumbu utama pesawat desain, didapat :

$$\text{Beban sumbu utama} = \% \text{Beban sumbu utama} \times \text{MTOW} = 381,399.48 \text{ kg.}$$

Tebal perkerasan lentur untuk masing-masing kategori perkerasan ditampilkan dalam Tabel 4.22. Hasil perhitungan dalam kurva desain ditampilkan dalam Gambar 4.2. Melalui kurva desain, didapat tebal perkerasan lentur untuk kelas A, B, dan C berturut-turut sebesar 61 cm, 79 cm, dan 118 cm.

CBR tanah asli di lokasi *runway* (BH-1 sampai BH-4) dan *taxiway* (BH-18) amat rendah, berada pada kisaran harga 2.77 %-6.95 %. Peningkatkan kekuatan tanah dasar direncanakan dengan cara pemadatan (kompaksi). Dari perencanaan geometrik diketahui luas kompaksi *runway* sebesar 1,125,000 m² dan luas perkerasan runway 135,000 m².



Gambar 4. 2 Perhitungan Tebal Lapisan Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Kurva Desain Metode CBR

Untuk mencapai harga CBR 10%, akan dibutuhkan volume kompaksi $1,125,000 \text{ m}^2 \times$ tebal timbunan tertentu dan volume perkerasan $135,000 \text{ m}^2 \times 0.79 \text{ m}$. Untuk mencapai harga CBR 15%, akan dibutuhkan volume kompaksi $1,125,000 \text{ m}^2 \times$ tebal timbunan tertentu (lebih besar dari tebal timbunan untuk CBR 10%) dan volume perkerasan $135,000 \text{ m}^2 \times 0.62 \text{ m}$.

Selisih nilai CBR kode A dan B adalah 5% dengan selisih tebal perkerasan sebesar 17 cm (0.17 m). Untuk menaikkan CBR sebesar 1% diperlukan ≥ 3 lapisan pemadatan. Dengan mengasumsikan timbunan akan menggunakan tanah clay, didapat tebal satu lapisan pemadatan sebesar 5 in. (Das, 1985). Maka untuk menaikkan CBR sebesar 1% diperlukan pemadatan dengan ketebalan $\geq 15 \text{ in}$.

Volume kompaksi untuk meningkatkan CBR sebesar 1% sama dengan $1,125,000 \text{ m}^2 \times 0.381 \text{ m}$. Volume kompaksi untuk meningkatkan CBR sebesar 5% sama dengan $5 \times 1,125,000 \text{ m}^2 \times 0.381 \text{ m}$. Selisih volume perkerasan antara kode A dan kode B adalah $1,125,000 \text{ m}^2 \times 0.17 \text{ m}$.

Sebagai bahan perbandingan terhadap konstruksi serupa, dari laporan studi kelayakan Bandara Jambi didapat harga satuan untuk 1 m^3 pekerjaan kompaksi sebesar Rp 89,700.00 dan harga satuan untuk 1 m^3 pekerjaan perkerasan lentur sebesar Rp

1,100,000.00. Dapat diperkirakan biaya yang diperlukan untuk meningkatkan CBR sebesar 5% sama dengan $5 \times 1,125,000 \text{ m}^2 \times 0.381 \text{ m} \times \text{Rp } 89,700.00$ sama dengan Rp 192,238,312,500.00. Dan selisih biaya perkerasan antara kode A dan B sama dengan $1,125,000 \text{ m}^2 \times 0.17 \text{ m} \times \text{Rp } 1,100,000.00$ sama dengan Rp 25,245,000,000.00.

Dengan mempertimbangkan besarnya volume tanah dan biaya kompaksi yang akan diperlukan untuk mencapai CBR 15% dipilih kelas kuat perkerasan pada kode B (*medium strength, CBR 10%*) dengan tebal perkerasan 79 cm.

Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Ketebalan Total Perkerasan Lentur yang Dibutuhkan untuk Setiap Kelas Kuat Perkerasan

Kode	Kelas	CBR	Ketebalan Total
A	<i>High Strength</i>	15	62 cm
B	<i>Medium Strength</i>	10	79 cm
C	<i>Low Strength</i>	6	118 cm

Perencanaan tebal *base course* dan *surface course* ditentukan sesuai dengan persyaratan pada Tabel 2.20. Didapatkan tebal *base course* dan *surface course* untuk *runway* dan *taxiway* sebesar 10 in (25 cm) dan 5 in (13 cm). Sedangkan tebal *base course* dan *surface course* pada bagian *shoulder* sebesar 6 in (16 cm) dan 2 in (6 cm).

Tebal lapisan *subbase* untuk perkerasan pada bagian *runway* dan *taxiway* didapat dari selisih antara ketebalan total lapisan perkerasan yang didapat dari grafik pada Gambar 4.2 (lihat hasil pada Tabel 4.30) dengan tebal *base course* dan *surface course* yang telah disebutkan sebelumnya (didapat dari Tabel 2.20).

Perhitungan tebal *subbase* untuk perkerasan pada bagian *runway* dan *taxiway* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal total lapisan perkerasan} &= 79 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm} \\
 \text{Tebal } \textit{base course} &= 25 \text{ cm} \\
 \text{Tebal } \textit{surface course} &= 13 \text{ cm} \\
 \text{Tebal } \textit{subbase course} &= 80 \text{ cm} - (25 \text{ cm} + 13 \text{ cm}) = 42 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal lapisan *subbase* untuk perkerasan pada bagian *shoulder* (*runway* dan *taxiway*), didapat dari rata-rata perbandingan ketebalan masing-masing lapisan (*base, surface, dan subbase*) pada bagian *runway* dan *taxiway* dengan bagian *shouldernya*. Dari rata-rata perbandingan ketebalan didapat tebal lapisan *subbase* sebesar 21 cm.

Penentuan CBR rencana *subbase* mengacu pada persyaratan *subbase* dalam Tabel 2.18. Terdapat tiga nilai wakil CBR rencana *subbase*, yaitu 50, 40, dan 30. Ketiganya memiliki batasan nilai maksimum butiran, LL, dan PI yang sama. Perbedaan karakteristik ketiganya adalah nilai maksimum persentase butiran yang melewati saringan No.10.

Telah ditentukan sebelumnya *subbase* terdiri dari satu lapisan. Dari tiga nilai wakil CBR tersebut ditentukan CBR rencana *subbase* sebesar CBR 40. Pengambilan nilai CBR

Rencana 40 didasari bahwa CBR 40 merupakan nilai rata-rata dari tiga nilai CBR rencana *subbase*.

Hasil perhitungan tebal masing-masing lapisan ditampilkan dalam Tabel 4.31. Dalam konversi satuan dilakukan pembulatan angka.

Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Perkerasan Lentur

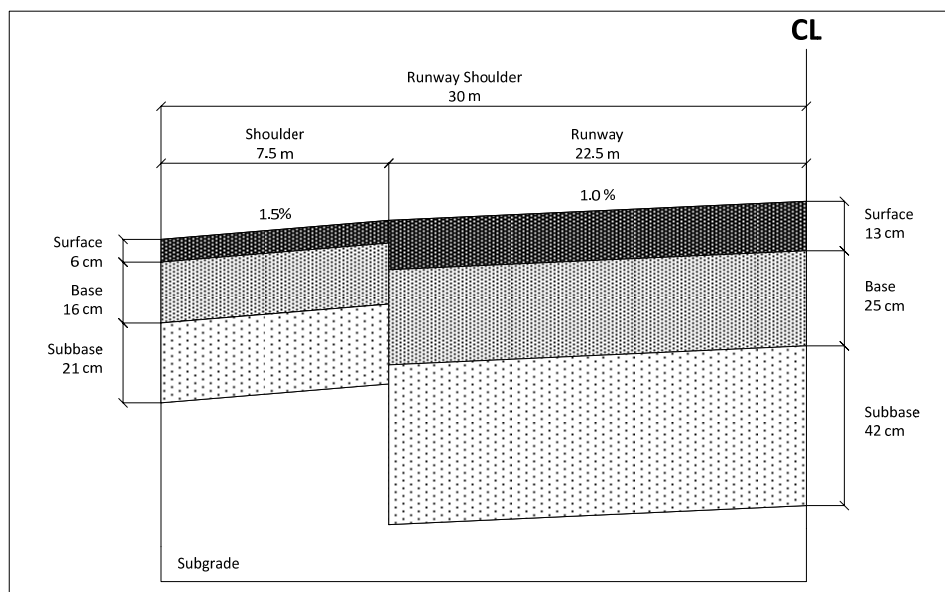
Lapisan	CBR (%)	Tebal Lapisan			
		Runway	Runway Shoulder	Taxiway	Taxiway Shoulder
<i>Subbase</i>	40	42 cm	21 cm	42 cm	21 cm
<i>Base</i>	100	25 cm (10 in)	16 cm (6 in)	16 cm (10 in)	16 cm (6 in)
<i>Surface</i>	100	13 cm (5 in)	6 cm (2 in)	10 cm (5 in)	6 cm (2 in)
KetebalanTotal		80 cm	43 cm	80cm	43 cm

Berdasarkan persyaratan dalam Tabel 2.18, ditentukan nilai CBR, LL, dan PI dari tiap lapisan material yang ditampilkan dalam Tabel 4.32.

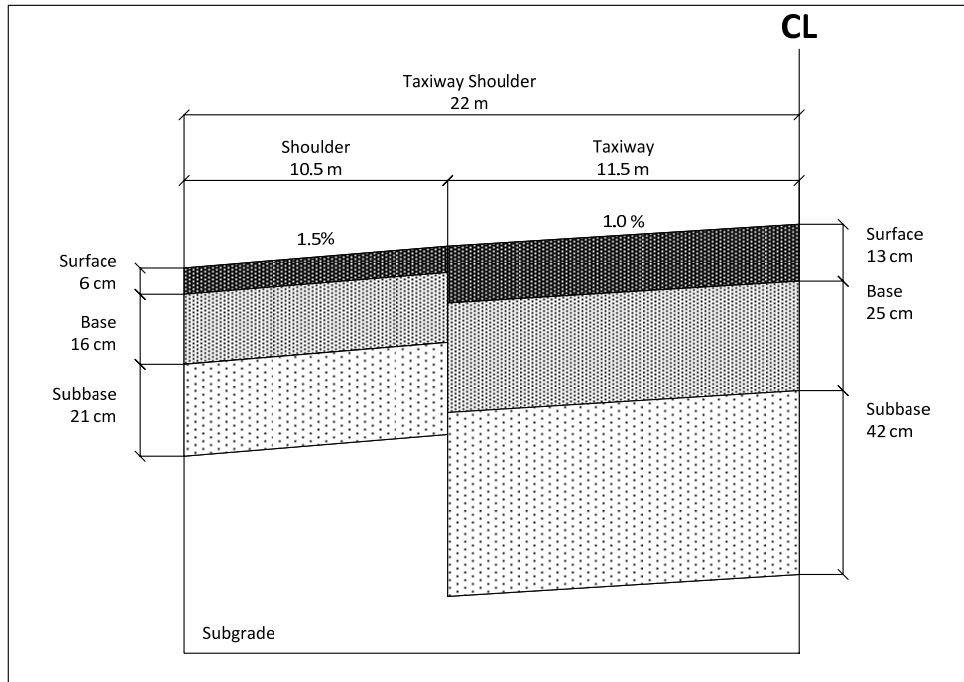
Tabel 4. 32 Persyaratan Lapisan Perkerasan

Material	Tes CBR (%)	% Lolos Saringan		LL	PI
		No.10	No.200		
<i>Subgrade (dipadatkan)</i>	10	-	-	>30	<30
<i>Subbase</i>	40	80	15	25	5
<i>Base</i>	Memenuhi persyaratan agregat batu pecah				
<i>Surface</i>	Memenuhi persyaratan campuran aspal panas				

Potongan melintang perkerasan lentur *runway* dan *taxiway* ditampilkan dalam Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Potongan Melintang Perkerasan Lentur *Runway*



Gambar 4. 4 Potongan Melintang Perkerasan Lentur *Taxiway*

Perhitungan volume perkerasan *runway* dan *taxiway* ditampilkan dalam Tabel 4.33 dan Tabel 4.34. Panjang dan lebar *runway*, *taxiway*, dan *shoulder* diperoleh dari perencanaan geometrik yang telah dilakukan sebelumnya. Volume perkerasan dihitung dengan cara mengalikan tebal perkerasan yang dicari dengan panjang dan lebar perkerasannya.

Karena material perkerasan *surface*, *base*, *subbase*, pada *runway*, *taxiway*, dan *shoulder* menggunakan material yang tipikal, maka untuk mempermudah perhitungan selanjutnya volume perkerasan *runway* dan *taxiway* untuk setiap lapisan dijumlahkan. Perhitungan ditampilkan dalam Tabel 4.35.

Tabel 4. 33 Volume Perkerasan *Runway*

Lapisan	<i>Runway</i> Lebar <i>Runway</i> = 45 m Panjang <i>Runway</i> = 3,750 m		<i>Shoulder</i> Lebar <i>Shoulder</i> = 15 m Panjang <i>Shoulder</i> = 3,750 m	
	Tebal Perkerasan (m)	Volume Perkerasan (m ³)	Tebal Perkerasan (m)	Volume Perkerasan (m ³)
<i>Surface</i>	0.13	21,937.50	0.06	3,375.00
<i>Base</i>	0.25	42,187.50	0.16	9,000.00
<i>Subbase</i>	0.42	70,875.00	0.21	11,812.50

Tabel 4. 34 Volume Perkerasan Taxiway

Lapisan	Taxiway		Shoulder	
	Lebar Taxiway = 23 m		Lebar Shoulder = 21 m	
	Panjang Taxiway = 10,766.6 m		Panjang Shoulder = 10,766.6 m	
	Tebal Perkerasan (m)	Volume Perkerasan (m ³)	Tebal Perkerasan (m)	Volume Perkerasan (m ³)
Surface	0.13	32,192.13	0.06	13,565.92
Base	0.25	61,907.95	0.16	36,175.78
Subbase	0.42	104,005.36	0.21	47,480.71

Tabel 4. 35 Total Volume Perkerasan Runway dan Taxiway Tiap Lapisan

Area	Volume pada Lapisan (m ³)		
	Surface	Base	Subbase
Runway	21,937.50	42,187.50	70,875.00
Runway Shoulder	3,375.00	9,000.00	11,812.50
Taxiway	32,192.13	61,907.95	104,005.36
Taxiway Shoulder	13,565.92	36,175.78	47,480.71
Volume Total	71,070.55	149,271.23	234,173.57

4.3.3 Perkerasan Apron

Struktur perkerasan pada *apron* direncanakan menggunakan perkerasan kaku. Perkerasan kaku yang akan digunakan adalah perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan. Perkerasan dengan menggunakan perkerasan kaku ini didasarkan pada alasan bahwa, dalam pemakaiannya struktur perkerasan kaku akan lebih cocok untuk jalan yang sering memikul beban statis. (Kosasih, 2003). Beban statis yang akan bekerja terhadap struktur perkerasan berupa beban parkir pesawat.

Dalam perencanaan perkerasan kaku, kekuatan beton tidak dinyatakan dalam kuat tekan (*compressive strength*) tapi dalam kuat tarik (*flexural strength*), yaitu kuat lentur tarik yang diperlukan untuk mengatasi tegangan yang diakibatkan oleh beban roda dari lalu lintas rencana; bentuk keruntuhan pada perkerasan kaku umumnya berupa retakan yang diakibatkan oleh tegangan lentur tarik berlebih. Kuat lentur beton ditentukan dengan pengujian terhadap pembebanan di tiga titik sesuai dengan ASTM C-87 terhadap benda uji berumur 28 hari. Kuat lentur tarik (M_R) pada umur 28 hari dianjurkan 40 kg/cm².

Kekuatan tanah dasar dalam perencanaan perkerasan kaku dinyatakan dalam modulus reaksi tanah dasar (*subgrade strength*), k . Harga k didapat dari pengujian *plate bearing* di lapangan, dalam keadaan terpaksa nilai k dapat ditentukan berdasarkan nilai CBR (Siswosubroto, 2006). Apabila kekuatan tanah dasar sangat buruk ($k < 2$ kg/cm³), tanah tersebut perlu diperbaiki sampai diperoleh peningkatan nilai k . Pada setiap konstruksi perkerasan kaku, lapisan pondasi bawah harus selalu ada, minimum 10 cm. Kecuali jika tanah dasar mempunyai mutu yang sama dengan material *subbase*.

Seperti yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya, kekuatan tanah dasar untuk desain struktur perkerasan kaku berdasarkan code ICAO dibagi dalam empat kategori dalam kode A, B, C, dan D (lihat Tabel 2.17). Dalam perencanaan ini, ditetapkan kriteria desain perkerasan kaku untuk BIJB adalah perkerasan kode B, yaitu kategori *medium strength*, dengan nilai k sebesar 80 MN/m^3 . Penetapan kriteria desain perkerasan kaku *apron* pada kode B dimaksudkan untuk menyeragamkan kelas kuat dengan perkerasan lentur pada *runway* dan *taxiway*nya.

Metode desain struktur perkerasan kaku landasan pesawat yang digunakan adalah metoda FAA (Yoder-Witczak, 1975). Metode FAA merupakan metode pendekatan desain berdasarkan pesawat desain kritis. Struktur perkerasan diperhitungkan hanya untuk memikul sejumlah repetisi beban sumbu roda ekivalen dari pesawat desain kritis tersebut selama masa layan rencana yang ditetapkan. Pengaruh dari jenis pesawat lainnya yang beroperasi terhadap kerusakan struktur perkerasan diperhitungkan dengan menggunakan faktor ekivalen repetisi beban. Untuk lalu lintas campuran, ada tiga faktor ekivalen repetisi beban, yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu:

- a. Faktor ekivalen konfigurasi sumbu roda (*FES*)
- b. Faktor ekivalen beban (*FEB*)
- c. Faktor repetisi beban (*LRF*)

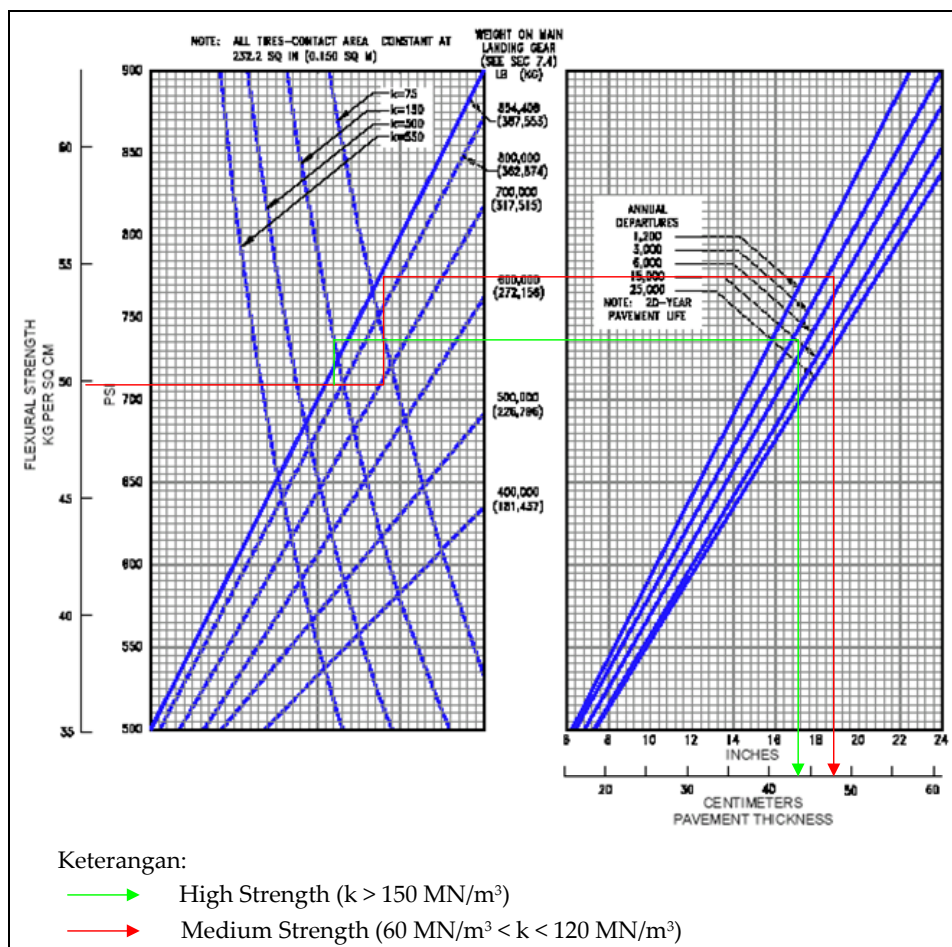
Kurva desain dari metode FAA untuk menentukan tebal perkerasan kaku dengan pesawat rencana B747-400 disajikan dalam Gambar 2.5. Data desain yang diperlukan untuk mendapatkan tebal perkerasan kaku dengan menggunakan kurva desain FAA adalah data *subgrade strength*, data tegangan lentur pelat beton yang akan digunakan, data beban sumbu utama pesawat, dan data keberangkatan tahunan pesawat.

Sesuai dengan yang telah diuraikan dalam studi pustaka, langkah-langkah perencanaan perkerasan kaku dengan metode FAA adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan ramalan keberangkatan tahunan setiap pesawat yang akan dilayani landasan pada Tabel 4.28.
- b. Pemeriksaan tipe roda pendaratan dan MTOW dari setiap pesawat pada Tabel 4.27.
- c. Penentuan pesawat desain kritis. Dari data karakteristik pesawat didapat beban sumbu utama terbesar diakibatkan oleh pesawat B747-400, yaitu sebesar 381,399.48 kg. Maka untuk perencanaan desain perkerasan digunakan B747-400 sebagai pesawat kritis.
- d. Perhitungan keberangkatan tahunan ekivalen seluruh pesawat ke pesawat desain kritis. Didapat keberangkatan tahunan ekivalen total sebesar 3,767 pesawat.
- e. Penentuan besar M_r material beton yang akan digunakan dan harga k tanah dasar. Tegangan lentur pelat beton yang akan digunakan adalah 50 kg/cm^2 (710 psi). Harga k yang akan digunakan adalah nilai wakil k untuk perkerasan kaku dengan kriteria desain kode B, yaitu sebesar 300 pci (80 MN/m^3).
- f. Perhitungan tebal perkerasan kaku dengan menggunakan kurva desain pada Gambar 2.6. dengan data M_r , k , MTOW pesawat desain kritis dan keberangkatan

tahunan ekivalen yang telah diperoleh memberikan ketebalan sebesar 48 cm. Ketebalan yang didapat adalah ketebalan slab beton diluar lapisan *subbase*. Perhitungan tebal perkerasan kaku untuk kode A dan B (sebagai perbandingan) ditampilkan dalam Gambar 4.5.

- g. Sesuai dengan persyaratan FAA, untuk perkerasan kaku yang direncanakan melayani pesawat dengan berat lebih dari 45,000 kg (100,000 lbs) harus terdapat lapisan *sub base* yang distabilisasi dengan tebal minimum 4 in (10 cm). Lapisan *subbase* yang akan digunakan adalah *subbase* yang distabilisasi dengan semen (*cement treated*). Sesuai rekomendasi FAA yang telah disebutkan dalam studi pustaka, *subbase* yang distabilisasi dengan semen harus mempunyai kuat tekan minimal 750 psi (51.8 kg/ cm²) pada umur 7 hari.



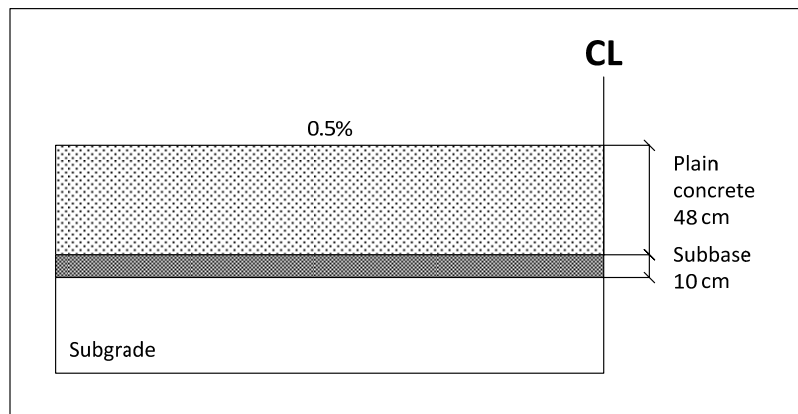
Gambar 4. 5 Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku dengan Menggunakan Kurva Desain Metode FAA

Potongan melintang perkerasan kaku *apron* ditampilkan dalam Gambar 4.6.

Perhitungan volume *apron* diperoleh dengan cara mengalikan luas area *apron* dengan ketebalan perkerasannya. Dari perencanaan geometrik, diperoleh luas area *apron* sebesar 227,708.7 m². Maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{Volume slab beton} &= \text{Tebal slab beton} \times \text{Luas area apron} \\ &= 0.48 \text{ m} \times 759,029 \text{ m}^2 = 364,333.92 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume subbase} &= \text{Tebal subbase} \times \text{Luas area apron} \\ &= 0.10 \text{ m} \times 759,029 \text{ m}^2 = 75,902.90 \text{ m}^3\end{aligned}$$



Gambar 4. 6 Potongan Melintang Perkerasan Kaku *Apron*

4.4 Perencanaan Saluran Drainase Runway

Drainase *runway* direncanakan berada di sepanjang *runway* dengan saluran drainase terbuat dari beton. Saluran drainase direncanakan berbentuk segi empat.

4.4.1 Penentuan Curah Hujan Regional

Penentuan curah hujan regional dilakukan dengan metode rata-rata, yaitu menjumlahkan curah hujan maksimum harian dari setiap stasiun hujan pada tahun tertentu dibagi dengan jumlah stasiun hujan. Hasil perhitungan penentuan hujan regional terdapat pada Tabel 4.36.

Contoh perhitungan Ch regional rata-rata tahun 1979:

$$\begin{aligned}Ch_{rata - rata} &= \frac{Ch_{pakumbahan} + Ch_{kadipaten} + Ch_{majalengka}}{3 \text{ stasiun}} \\ &= \frac{94 + 65 + 98}{3} \\ &= 86 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tabel 4. 36 Curah Hujan Regional dengan Metode Rata-Rata

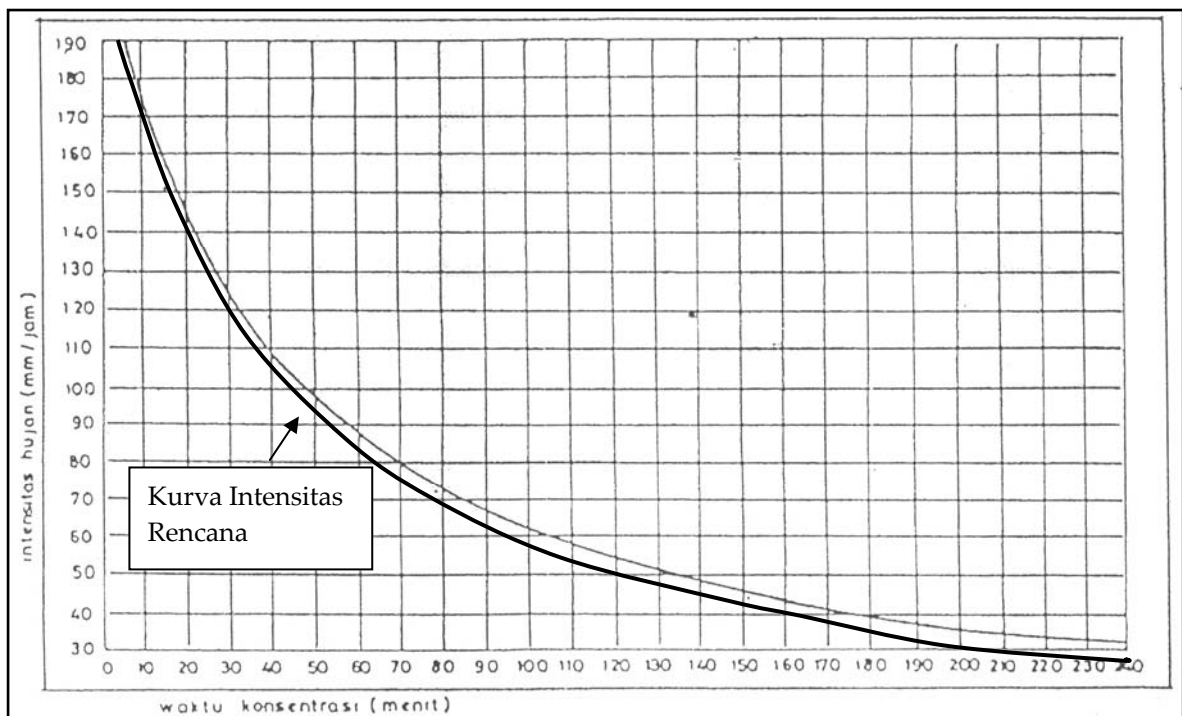
Tahun	Ch Maksimum (mm)			Ch rata-rata (mm)
	Pakumbahan	Kadipaten	Majalengka	
1979	94	65	98	86
1980	145	56	115	105
1981	128	150	122	133
1982	140	105	90	112
1983	77	91	90	86
1984	135	79	110	108
1985	64	99	115	93
1986	68	98	115	94
1987	69	102	131	101
1988	71	105	150	109

a. Kurva Intensitas Hujan

Penentuan Intensitas hujan rencana berdasarkan Rumus van Breen dimana curah hujan harian terkonsentrasi selama 4 jam dengan jumlah hujan sebesar 90% dari jumlah hujan selama 24 jam.

$$I = \frac{90\% \times X_{tr}}{4} = \frac{90\% \times 121,35}{4} = 27,3 \text{ mm}$$

Harga $I = 27,3$ mm diplotkan pada kurva intensitas basis pada waktu intensitas $t=240$ menit, tarik garis lengkung yang searah dengan garis lengkung intensitas basis. Kurva ini merupakan intensitas hujan rencana. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.7.

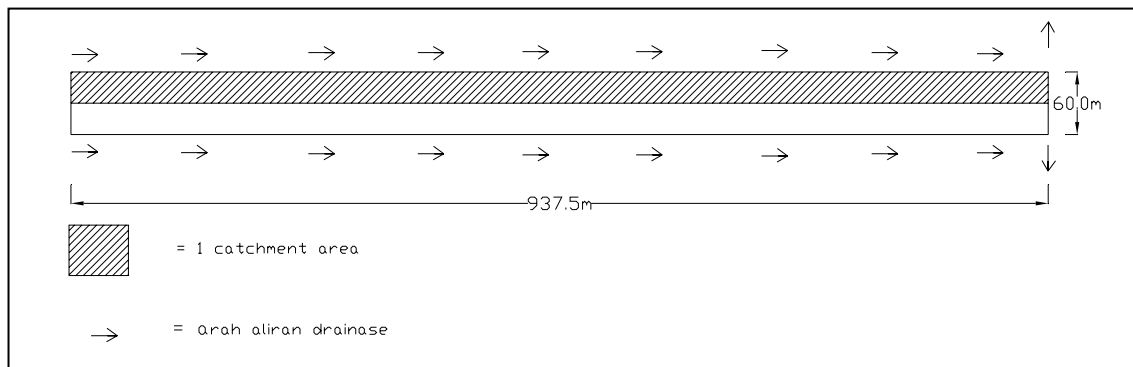


Gambar 4. 7 Kurva Intensitas Hujan

4.4.2 Perencanaan Dimensi Saluran Drainase

Perencanaan drainase pada *runway* dibagi menjadi beberapa *catchment area*. Air yang berasal dari tiap *catchment area* ini akan dialirkan menuju saluran drainase yang telah ditentukan dan akhirnya dari beberapa saluran ini akan bergabung menuju kolam penampungan.

Direncanakan pada *runway* dibagi menjadi 8 *catchment area*, setiap 1 *catchment area* mempunyai saluran di samping kiri atau kanan yang berdimensi sama besar. Luas untuk 1 *catchment area* adalah 28125 m². *Catchment area* diilustrasikan seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 *Catchment Area pada Runway*

Contoh perhitungan penentuan dimensi untuk 1 *catchment area*:

1. Data

$$A = 28,125 \text{ m}^2$$

$$nd = 0.013 \text{ (lihat Tabel 2.25)}$$

$$s = 0,02$$

$$v = 1,5 \text{ m/s (lihat Tabel 2.22)}$$

$$L = 3750 \text{ m} / 8 = 937.5 \text{ m (panjang saluran untuk satu catchment area)}$$

a. Perhitungan conduit time:

$$t_c = \left(\frac{2}{3} \cdot 3.28 \cdot L \cdot \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0.167} = \left(\frac{2}{3} \cdot 3.28 \cdot 937.5 \cdot \frac{0.013}{\sqrt{0.02}} \right)^{0.167} = 2.39 \text{ menit}$$

b. Penentuan besar intensitas hujan dari kurva intensitas hujan:

$$I = 190 \text{ mm/jam (didapat dari Gambar 4.7)}$$

c. Perhitungan besar debit saluran:

$$Q = \frac{1}{3600000} \cdot C \cdot I \cdot A = \frac{1}{3600000} \cdot 0.7 \cdot 190 \cdot 28125 = 1.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Perhitungan dimensi saluran (segi empat)

a. Perhitungan luas penampang:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{1.04}{1.5} = 0.69 \text{ m}^2 \quad \begin{aligned} A &= b \times d; b = 2d \\ A &= 2d^2 \end{aligned}$$

b. Perhitungan lebar dasar saluran (d) dan tinggi basah saluran (b):

$$0.69 = 2d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{0.69}{2}} = \sqrt{0.35} = 0.59 \text{ m}$$

$$b = 2d = 2 \cdot 0.59 = 1.18 \text{ m}$$

Nilai d dan b dibulatkan menjadi 0.60 m dan 1.20 m.

- c. Perhitungan tinggi jagaan (*freeboard*)

$$W = 0.3 * 0.59 = 0.18m$$

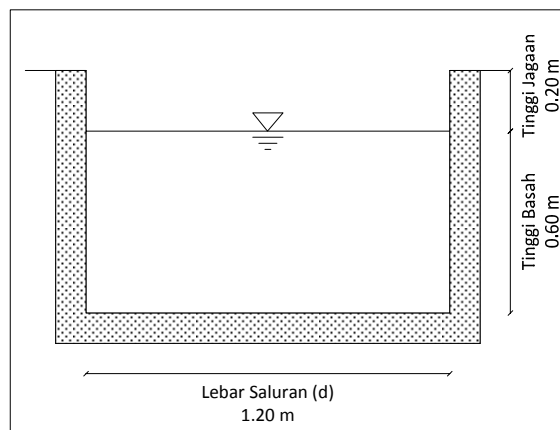
Nilai w dibulatkan menjadi 0.20 m.

- d. Perhitungan kemiringan saluran:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{bd}{2d + b} = \frac{1.18 * 0.59}{(2 * 0.59) + 1.18} = 0.295$$

$$S = \left(\frac{v * n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left(\frac{1.5 * 0.016}{0.295^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.01\%$$

Potongan melintang drainase *runway* ditampilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Potongan Melintang Drainase *Runway*

4.5 Perencanaan Geoteknik

Perencanaan pada bidang geoteknik meliputi:

- Interpretasi parameter tanah
- Perencanaan pengupasan (*stripping*)
- Perencanaan perataan (*land grading*)
- Perencanaan kompaksi

4.5.1 Interpretasi Parameter Tanah

Laporan penyelidikan tanah tidak memberikan data yang lengkap untuk keseluruhan lapisan. Maka, untuk perhitungan daya dukung dan konsolidasi dilakukan interpretasi parameter tanah pada titik-titik penyelidikan tanah di lokasi *runway*, *taxiway*, dan *apron*.

Titik penyelidikan tanah yang dipergunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- Titik penyelidikan tanah pada lokasi *runway* : BH-1, BH-2, BH-3, BH-4
- Titik penyelidikan tanah pada lokasi *taxiway* : BH-18
- Titik penyelidikan tanah pada lokasi *apron* : BH-11

Hasil interpretasi parameter dalam bentuk profil tanah untuk setiap *bore hole* disajikan dalam Gambar 4.10 sampai Gambar 4.12. Profil yang ditampilkan mengacu pada profil tanah dalam Laporan Penyelidikan Tanah.

Berdasarkan profil tanah di titik BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4, lapisan tanah di bawah rencana *runway* terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu:

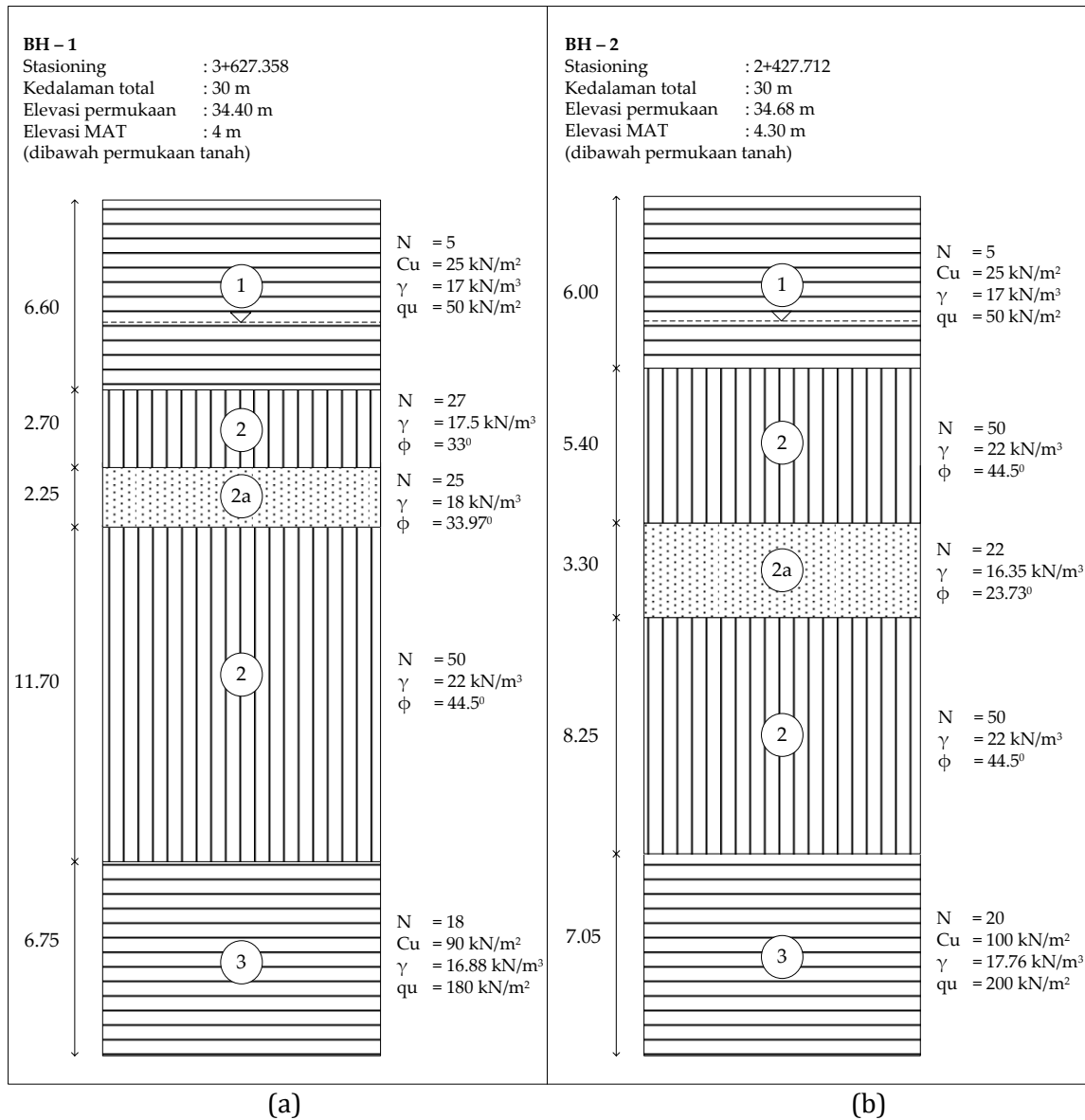
- a. Lapisan 1 : lempung lanauan dengan konsistensi *firm to very stiff*
- b. Lapisan 2 : pasir berbutir halus dengan konsistensi *friable to brittle*
- c. Lapisan 2a : lanau lempungan dengan konsistensi *stiff to very stiff*
- d. Lapisan 3 : lempung lanauan dengan konsistensi *very stiff*

Berdasarkan profil tanah di titik BH-11, lapisan tanah di bawah rencana *apron* terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu:

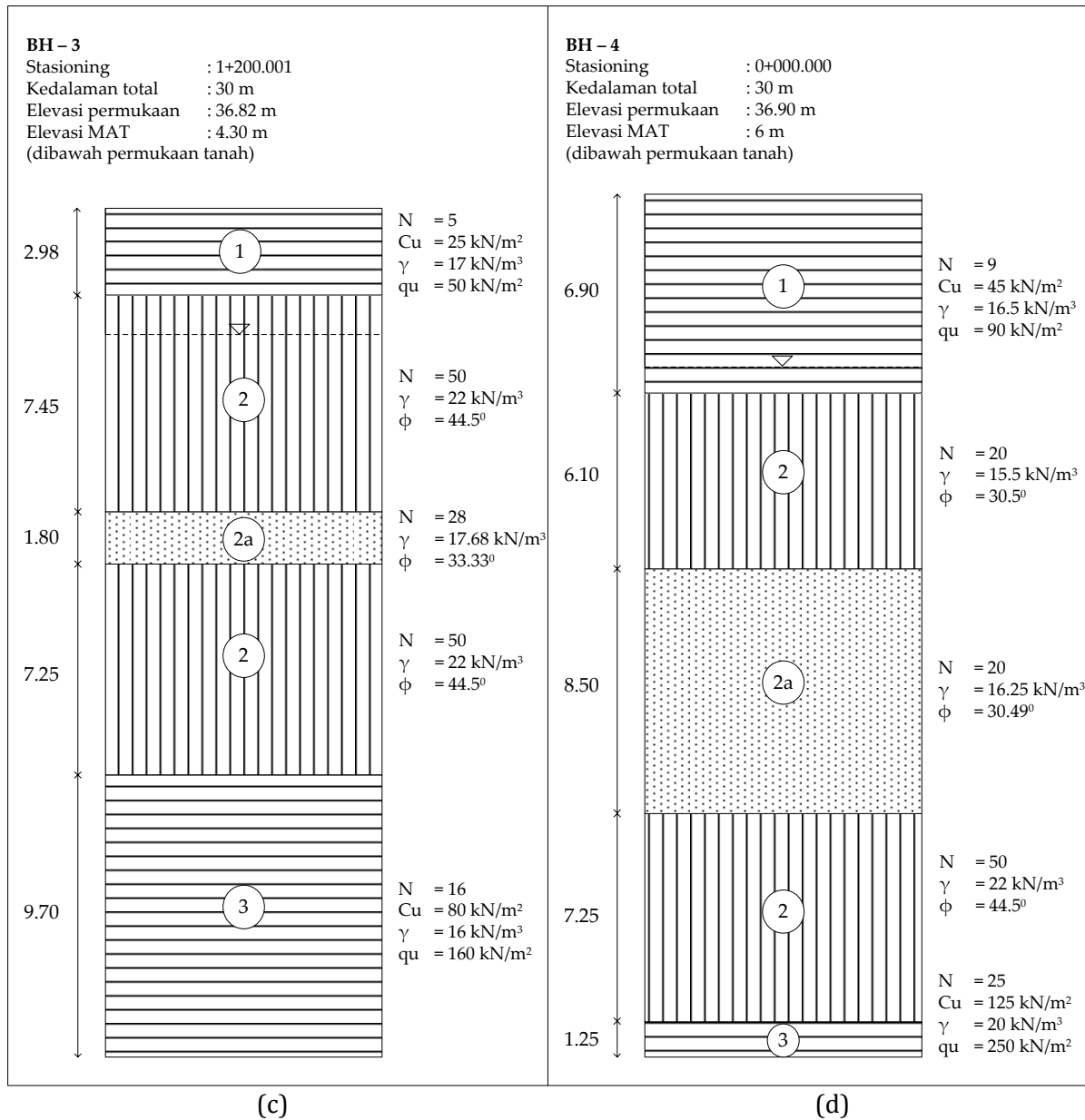
- a. Lapisan 1 : lempung lanauan dengan konsistensi *firm to very stiff*
- b. Lapisan 2 : pasir berbutir halus dengan konsistensi *friable to brittle*
- c. Lapisan 3 : lempung lanauan dengan konsistensi *very stiff*

Berdasarkan profil tanah di titik BH-18, lapisan tanah di bawah rencana *taxiway* terdiri dari dua lapisan utama, yaitu:

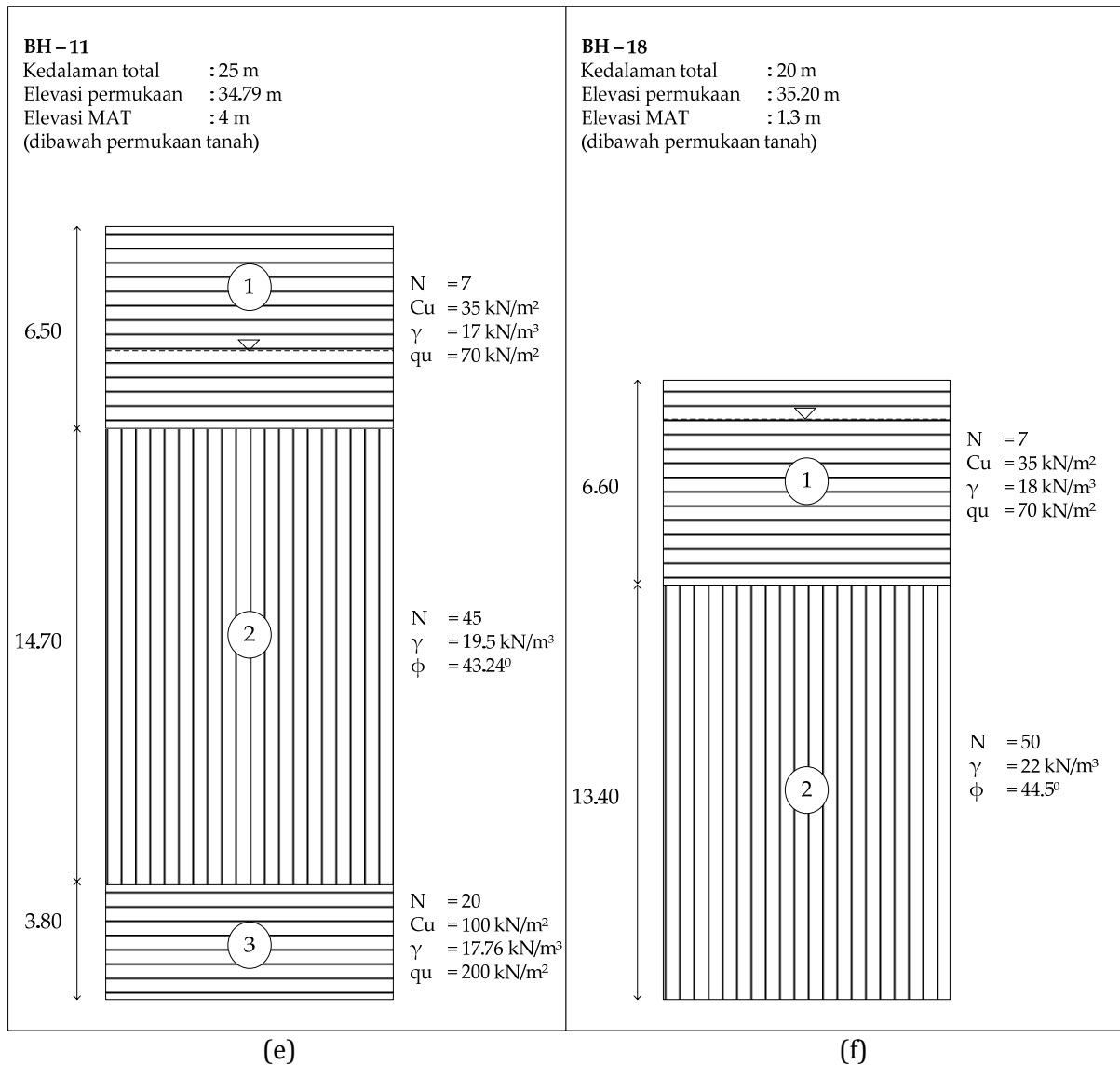
- a. Lapisan 1 : lempung lanauan dengan konsistensi *firm to stiff*
- b. Lapisan 2 : pasir berbutir halus dengan konsistensi *friable to brittle*



Gambar 4. 10 (a) Profil Tanah pada BH-1 (b) Profil Tanah pada BH-2



Gambar 4. 11 (c) Profil Tanah pada BH-3 (d) Profil Tanah pada BH-4



Gambar 4. 12 (e) Profil Tanah pada BH-11 (f) Profil Tanah pada BH-18

4.5.2 Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

4.5.2.1 Pengupasan

Lapisan teratas tanah di lokasi konstruksi seringkali berupa lapisan organik yang berasal dari pembusukan tumbuhan. Material ini tidak tepat untuk digunakan dalam konstruksi. Penanganan terhadap lapisan organik tersebut dapat dilakukan dengan cara pengupasan. Kedalaman pengupasan umumnya berkisar antara 0.2-0.5 m.

Pengupasan dilakukan di *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Pada lokasi *runway*, pengupasan dilakukan bersamaan dengan dilakukannya perataan.

Dalam perencanaan ini, ditetapkan tebal kupasan seragam sebesar 0.3 m (30 cm). Tanah kupasan akan dipindahkan ke tempat pembuangan sementara, tidak difungsikan sebagai tanah timbunan. Perhitungan volume pengupasan disajikan dalam Tabel 4.37.

Besar luas area yang ditampilkan merupakan hasil perhitungan area dengan menggunakan *software* Auto CAD.

Tabel 4. 37 Volume Pengupasan *Taxiway* dan *Apron*

Lokasi	Luas Area (m ³)	Tebal Pengupasan (m)	Volume Pengupasan (m ³)
<i>Runway</i>	1,125,000	0.3	337,500.00
<i>Taxiway</i>	1,022,827	0.3	306,848.10
<i>Apron</i>	759,029	0.3	227,708.70

4.5.2.2 Perataan

Perataan (land grading) dilakukan dengan tujuan memberikan permukaan yang datar untuk mempermudah pekerjaan kompaksi di atasnya. Dalam pelaksanaan *land grading*, permukaan tanah akan diratakan ke elevasi yang menghasilkan volume *cut* sama dengan atau mendekati volume *fill*. Karena keterbatasan data profil tanah, *land grading* dilakukan hanya pada lokasi *runway*. Lokasi *taxiway* dan *apron* diasumsikan memiliki elevasi permukaan yang seragam sesuai dengan elevasi *bore hole* terdekat.

Dari hasil *trial and error* ketinggian perataan, dengan bantuan *software* AutoCAD didapat bahwa pada perataan permukaan tanah dengan elevasi sekitar 36.2 m, volume *fill* yang dihasilkan hampir mendekati volume *cut*. Untuk mempermudah pelaksanaan di lapangan dan memperhitungkan adanya pengaruh susut dari tanah tanah timbunan, perataan permukaan tanah dilakukan pada elevasi 36 m. Volume *land grading* sepanjang lokasi *runway* disajikan dalam Tabel 4.38. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam bagian Lampiran.

Tabel 4. 38 Volume Land Grading *Runway*

Kegiatan	Volume (m ³)
<i>Cut</i>	835,014.70
<i>Fill</i>	766,910.13
Sisa tanah	68,104.57

4.5.3 Perencanaan Kompaksi

Tanah pada lokasi konstruksi tidak selalu mampu menahan beban dari struktur yang akan dibangun di atasnya. Tanah dalam kategori *very loose* memiliki kemungkinan akan mengalami penurunan elastik yang besar. Selain itu, tanah kedalaman awal biasanya berupa lapisan *soft saturated clay* (Das, 1998). Tebal lapisan *clay* dan besar beban rencana struktur akan mempengaruhi besar konsolidasi yang akan terjadi. Untuk kedua contoh kondisi di atas, diperlukan perlakuan khusus untuk membuat tanah lebih padat agar daya dukung tanah meningkat.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah kompaksi. Kompaksi adalah proses menaikkan berat jenis tanah dengan cara mendesak tanah dengan energi mekanis agar partikel solid pada tanah lebih memadat

dan menjadi kompak serta mengurangi partikel udara yang mengisi rongga pada massa tanah.

Pekerjaan kompaksi dimaksudkan untuk menaikkan daya dukung tanah agar dapat menahan beban yang diakibatkan oleh perkerasan dan lalu lintas pesawat di atasnya. Sesuai dengan kriteria desain yang telah ditetapkan dalam pekerjaan perkerasan, parameter pekerjaan kompaksi adalah sebagai berikut:

- a. Kekuatan tanah dasar area *runway* mencapai $\text{CBR} \geq 10\%$.
- b. Kekuatan tanah dasar area *taxiway* mencapai $\text{CBR} \geq 10\%$.
- c. Kekuatan tanah dasar area *apron* mencapai $k \geq 300 \text{ MN/m}^3$

Survey penyelidikan tanah yang dilakukan pada tahun 2005 memberikan nilai CBR yang telah ditampilkan pada Tabel 4.22.

Kompaksi dilakukan bertahap dengan ketebalan tertentu sampai mencapai ketebalan yang sesuai. Tebal lapisan tanah kompaksi adalah tebal antara elevasi tanah dasar yang telah diratakan dan elevasi perkerasan bagian bawah. Tebal lapisan tanah kompaksi dipengaruhi oleh dua hal, yaitu daya dukung lapisan tanah di bawah lapisan kompaksi dan besar konsolidasi yang terjadi di lapisan tanah *clay* di bawah lapisan kompaksi. Semakin besar tebal lapisan tanah kompaksi, semakin besar pula daya dukung yang harus dimiliki oleh lapisan tanah di bawah lapisan kompaksi tersebut. Dan dengan bergantung pada besar daya dukung tersebut, semakin besar tebal lapisan tanah kompaksi, konsolidasi yang terjadi akan semakin besar.

Sementara itu, sesuai dengan perencanaan geometrik yang telah dilakukan, elevasi sumbu *runway*, *taxiway*, dan *apron* adalah seragam, yaitu pada elevasi 38.96 m. Maka dengan memperhitungkan konsolidasi yang akan terjadi, elevasi sumbu *runway*, *taxiway*, dan *apron* harus dinaikkan setinggi konsolidasi yang akan terjadi agar elevasi setelah konsolidasi selesai sesuai dengan elevasi awal yang telah ditentukan.

Tanah yang akan digunakan untuk pekerjaan kompaksi adalah *cohesive soils (clay)*. Untuk *cohesive (clay) fills*, pemadatan dengan *sheepsfoot roller* akan memberikan hasil yang baik. Untuk memenuhi persyaratan 95% uji Proctor Standar dalam Tabel 2.21, diketahui bahwa tebal lapisan kompaksi alat *sheepsfoot roller* untuk adalah 6 in (15.24 cm) dengan jumlah lintasan untuk setiap pelapisan sebanyak 4-6 lintasan.

Perhitungan besar penurunan konsolidasi dilakukan terhadap lapisan tanah lempung di bawah lapisan tanah kompaksi. Tanah lempung di lokasi rencana *runway*, *taxiway*, dan *apron* diasumsikan *normally consolidated*. Besar penurunan akibat konsolidasi, s_c , untuk lempung *normally consolidated* akan ditentukan sesuai persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p_{av}}{p_0}$$

Seperti yang telah diuraikan dalam studi pustaka sebelumnya, daya dukung ultimit tanah ditentukan sesuai persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$q_u = 5.14 c \approx 5c$$

Perhitungan daya dukung tanah dan konsolidasi dilakukan di titik-titik pengujian yang telah ditampilkan dalam bagian 4.5.1. Untuk memperjelas, contoh perhitungan pada titik BH-3 dilakukan sebagai berikut:

a. Data

BH-3 (Stasioning 1+200)

$$\text{Elevasi permukaan asli, } H_1 = 36.82 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi setelah perataan, } H_2 = 36.00 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi rencana, } H_3 = 38.675 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi MAT} = 4.30 \text{ m di bawah elevasi tanah asli}$$

Propertis lapisan tanah *clay* di bawah lapisan kompaksi:

$$h_c = 2.16 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$Cc = 0.42$$

$$e_o = 0.78$$

Propertis beban perkerasan(q_p) dan lalu lintas (q_t):

$$q_p = \gamma_p \times \text{tebal perkerasan} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 0.86 \text{ m} = 18.92 \text{ kN/m}^2$$

$$q_t = 16.17 \text{ kN/m}^2$$

b. Perhitungan tebal lapisan kompaksi tanpa memperhitungkan konsolidasi

Perhitungan tebal lapisan kompaksi awal, h_k

$$h_k = H_3 - H_2 - h_p = 38.675 - 36.00 - 0.86 = 1.815 \text{ m}$$

Perhitungan beban kompaksi (q_k), beban perkerasan (q_p), dan beban lalu lintas (q_t)

$$q_k = \gamma_k \times h_k = 18 \times 1.815 = 32.67 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{total}} = q_k + q_p + q_t = 32.67 + 18.92 + 16.17 = 67.76 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan daya dukung tanah, q_{ult}

$$q_{\text{ult}} = 5c = 5 \times 25 = 125 \text{ kN/m}^2$$

$$SF = q_{\text{ult}} / q_{\text{total}} = 125 / 67.76 = 1.84$$

Perhitungan konsolidasi, Sc

$$P_o = \gamma_c \times h_c = 17 \times 2.16 = 36.72 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta P_{\text{av}} = q_{\text{total}} = 67.76 \text{ kN/m}^2$$

$$Sc = 0.2309 \text{ cm}$$

Perhitungan elevasi permukaan *runway* setelah konsolidasi selesai

$$H = H_3 - Sc = 38.675 - 0.2309 = 38.4441 \text{ m}$$

c. Perhitungan tebal lapisan kompaksi dengan memperhitungkan konsolidasi

Perhitungan tebal lapisan kompaksi awal, h_k

Sebagai *coverage* terhadap penurunan yang akan terjadi, tebal timbunan ditambah sebesar x meter. Besar x diiterasi sampai didapat x yang memberikan elevasi permukaan (setelah konsolidasi selesai) paling mendekati elevasi permukaan rencana.

Tebal penimbunan ditambah sebesar $x = 0.24$ m

$$h_k = H_3 - H_2 - h_p + 0.24 = 38.675 - 36.00 - 0.86 + 0.24 = 2.055 \text{ m}$$

Perhitungan beban kompaksi (q_k), beban perkerasan (q_p), dan beban lalu lintas (q_t)

$$q_k = \gamma_k \times h_k = 18 \times 2.055 = 36.99 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{total}} = q_k + q_p + q_t = 36.99 + 18.92 + 16.17 = 72.08 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan daya dukung tanah, q_{ult}

$$q_{\text{ult}} = 5c = 5 \times 25 = 125 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{SF} = q_{\text{ult}} / q_{\text{total}} = 125 / 72.08 = 1.73$$

Perhitungan konsolidasi, Sc

$$P_o = \gamma_c \times h_c = 17 \times 2.16 = 36.72 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta P_{\text{av}} = q_{\text{total}} = 72.08 \text{ kN/m}^2$$

$$Sc = 0.2390 \text{ cm}$$

Perhitungan elevasi permukaan runway setelah konsolidasi selesai

$$H = H_3 + 0.24 - Sc = 38.675 + 0.24 - 0.2390 = 38.676 \text{ m}$$

(Lebih tinggi 1 mm dari elevasi yang seharusnya)

Perhitungan untuk setiap *bore hole* dilakukan dengan cara yang sama. Hasil perhitungan ditampilkan dalam Tabel 4.39 berikut.

Tabel 4. 39 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tanah

<i>Bore hole</i>	q_{ult} (kN/m ²)	q_{total} (kN/m ²)	SF	
1	125	78.77	1.59	OK
2	125	66.71	1.86	OK
3	125	71.84	1.74	OK
4	225	82.37	2.70	OK
11	175	112.46	1.56	OK
18	175	103.97	1.68	OK

Ikhtisar hasil perhitungan penurunan konsolidasi untuk seluruh bore hole disajikan dalam Tabel 4.40.

Tanah timbunan akan dibangun dengan kemiringan talud 1 vertikal dan 2 horizontal. Ikhtisar tinggi dan talud timbunan untuk setiap *bore hole* disajikan dalam Tabel 4.41. Perhitungan jumlah lapisan pemadatan untuk setiap *bore hole* disajikan dalam Tabel 4.42. Perhitungan volume timbunan kompaksi *runway*, *taxiway*, dan *apron* dilakukan dengan menggunakan *software AutoCAD*. Perhitungan ditampilkan dalam Tabel 4. 43. Layout timbunan ditampilkan dalam Lampiran.

Tabel 4. 40 Hasil Perhitungan Konsolidasi

<i>Bore hole</i>	Stasioning	Elevasi Rencana (m)	Elevasi Konstruksi Selesai (m)	Penurunan, Sc (m)	Elevasi Setelah Konsolidasi (m)	Selisih Elevasi Ijin (m)	Selisih Elevasi yang Terjadi (m)
1	3+627	38.96	39.300	0.3500	38.95	0.01	0.01
2	2+428	38.325	38.650	0.3256	38.3244	0.01	0.0006
3	1+200	38.675	38.915	0.2390	38.676	0.01	0.001
4	0+000	38.96	39.530	0.5653	38.965	0.01	0.005
11	-	38.96	39.480	0.5169	38.963	0.01	0.003
18	-	38.96	39.600	0.6499	38.9500	0.01	0.01

Tabel 4. 41 Ikhtisar Tinggi Timbunan dan Talud

<i>Bore hole</i>	Vertikal:Horizontal	Tinggi Timbunan, m (Vertikal)	Lebar Timbunan, m (Horizontal)
1	1 : 2	2.50	5.00
2	1 : 2	1.80	3.60
3	1 : 2	2.20	4.40
4	1 : 2	2.70	5.40
11	1 : 2	4.20	8.40
18	1 : 2	3.90	7.80

Tabel 4. 42 Tinggi Timbunan dan Jumlah Lapisan Kompaksi

<i>Bore hole</i>	Tinggi Timbunan (cm)	Jumlah Lapisan Pemadatan	Jumlah Lintasan <i>Roller</i>
1	250	250/15 = 17	17*5 = 85
2	180	180/15 = 12	12*5 = 60
3	220	220/15 = 15	15*5 = 75
4	270	270/15 = 18	18*5 = 90
11	420	420/15 = 28	28*5 = 140
18	390	390/15 = 26	26*5 = 130

Tabel 4. 43 Volume Timbunan Kompaksi

Timbunan	Stasioning	Sub Volume Timbunan (m ³)	Volume Timbunan (m ³)	Sumber Tanah
Runway	0+000 sampai 0+600	486,000.00	2,583,750.00	Beli
	0+600 sampai 1+200	441,000.00		Beli
	1+200 sampai 1+825	375,000.00		Beli
	1+825 sampai 2+450	375,000.00		Beli
	2+450 sampai 3+100	419,250.00		Beli
	3+100 sampai 3+750	487,500.00		Beli
Apron	-	3,187,921.80	3,187,921.80	Beli
Taxiway	-	3,989,025.30	3,989,025.30	Beli
Total volume timbunan			9,760,697.10	

Spesifikasi tanah timbunan direncanakan sebagai berikut:

- a. Jenis tanah = *cohesive fills*
- b. Berat unit kering, γ_{dry} = 18 kN/m³
- c. Kohesi, c = 50 kN/m²
- d. Modulus elastisitas, E_s = 10,000 kN/m²
- e. Indeks plastisitas, PI < 30

Spesifikasi pemadatan :

- a. Berat unit kering (*field*), $\gamma_{\text{dry field}}$ = 18 kN/m³
- b. Berat unit kering (*lab*), $\gamma_{\text{dry lab}}$ = 19 kN/m³
- c. Peralatan pemadatan = *sheepsfoot roller*
- d. Tekanan ban = 200-400 psi
- e. Tebal lapisan pemadatan = 15 cm
- f. Lintasan *roller* per lapisan = 5 lintasan

4.5.3.1 Pengaruh Mineral terhadap Penentuan Jenis Tanah Timbunan

Perilaku tanah *clay* dipengaruhi oleh perilaku mineral-mineral yang terkandung di dalamnya. Tanah *clay* disusun oleh tiga mineral utama, yaitu:

a. **Montmorillonite (Smectite)**

Montmorillonite adalah mineral yang memberikan pengaruh terbesar terhadap aktivitas absorpsi dan kohesi tanah *clay*. *Montmorillonite murni* memiliki nilai IP (Indeks Plastisitas) yang sangat tinggi, yaitu lebih besar dari 150. Karena plastisitasnya yang tinggi, *montmorillonite* ideal digunakan dalam pengeboran untuk penyelidikan tanah dan sumur minyak.

b. **Illite**

Illite adalah mineral yang memberikan pengaruh sedang terhadap aktivitas absorpsi dan kohesi tanah *clay*. *Illite murni* memiliki nilai IP dalam kisaran 30-50.

c. **Kaolinite**

Kaolinite adalah mineral yang memberikan pengaruh paling kecil terhadap aktivitas absorpsi dan kohesi pada tanah *clay*. *Kaolinite murni* memiliki nilai IP dalam kisaran 15-20.

Sesuai dengan dengan spesifikasi tanah timbunan yang akan digunakan, yaitu IP lebih kecil dari 30, maka tanah timbunan yang akan digunakan adalah *clay* dengan kandungan *illite* yang dominan dan sedikit kandungan *kaolinite* dan *montmorillonite*.

4.5.4 Perhitungan Stabilitas Tanah Timbunan

Perhitungan stabilitas statis dan dinamis tanah timbunan dilakukan dengan menggunakan *software* analisis Plaxis. Dalam perhitungan stabilitas dinamis, pembebanan dinamis yang diperhitungkan adalah beban gempa.

4.5.4.1 Penentuan Zona Gempa, Percepatan Gempa, dan Jenis Tanah

Berdasarkan pedoman dari Standar Nasional Indonesia untuk Perencanaan Gempa (SNI 1726-2002) yang telah diuraikan dalam Bab 2, ditentukan lokasi BIJB berada pada Zona Gempa 4. Percepatan puncak batuan dasar untuk Zona Gempa 4 adalah 0.2g.

Jenis tanah lokasi BIJB ditentukan berdasarkan pedoman penentuan jenis tanah SNI 1726-2002 yang telah diuraikan dalam Tabel 2.35. Terdapat tiga parameter yang dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah, yaitu kecepatan gelombang geser rata-rata (v_s rata-rata), nilai hasil tes penetrasi standar rata-rata ($N_{rata-rata}$), dan kuat geser niralir rata-rata (S_u rata-rata). Karena tidak tersedianya data kecepatan gelombang geser dan kuat geser niralir, maka penentuan jenis tanah dilakukan berdasarkan data nilai hasil tes penetrasi standar (N-SPT).

Contoh perhitungan untuk BH-1 ditampilkan dalam Tabel 4.44. Perhitungan seluruh *bore hole* dapat dilihat dalam Lampiran.

Tabel 4. 44 Perhitungan Nilai Hasil Tes N-SPT untuk BH-1

Kedalaman	N-SPT	d_i	N_i	d_i/N_i
2.18	5	2.18	5	0.4360
2.70	14	0.52	14	0.0371
4.78	11	2.08	11	0.1891
6.60	47	1.82	47	0.0387
7.85	47	1.25	47	0.0266
9.30	25	1.45	25	0.0580
11.55	35	2.25	35	0.0643
15.90	50	4.35	50	0.0870
16.44	50	0.54	50	0.0108
18.78	50	2.34	50	0.0468
23.25	50	4.47	50	0.0894
27.30	30	4.05	30	0.1350
30.00	26	2.70	26	0.1038

Σd_i 30.00

$\Sigma d_i/N_i$ 1.3227

$\Sigma d_i/(\Sigma d_i/N_i)$ 22.68

Berdasarkan perhitungan dalam Tabel 4.44, didapat $N_{rata-rata}$ sebesar 22.68. Sesuai ketentuan dalam Tabel 2.37, tanah dengan $15 < N_{rata-rata} < 50$ termasuk dalam klasifikasi *site* tanah sedang. Secara umum, klasifikasi *site* seluruh bore hole adalah tanah sedang, namun bila dalam lapisan tanah tersebut terdapat satu lapisan tanah dengan $N-SPT \leq 5$ dengan tebal lapisan lebih dari 3 m, yaitu pada BH-3 (lihat Tabel 26 pada Lampiran), maka lapisan tanah tersebut diklasifikasikan sebagai tanah lunak.

Berdasarkan perhitungan penentuan klasifikasi *site*, dapat ditentukan percepatan puncak muka tanah, A_o . Besar A_o untuk klasifikasi tanah sedang dan tanah lunak pada Zona Gempa 4 masing-masing sebesar 0.28g dan 0.34g (Lihat Tabel 2.35). Hasil penentuan klasifikasi *site* dan A_o untuk seluruh *bore hole* dapat dilihat dalam Tabel 4.45.

Tabel 4. 45 Penentuan Klasifikasi Site

Bore Hole	Lokasi	N _{rata-rata}	Klasifikasi Site	Ao
1	Runway	22.68	Tanah Sedang	0.28g
2	Runway	26.09	Tanah Sedang	0.28g
3	Runway	16.87	Tanah Lunak	0.34g
4	Runway	22.73	Tanah Sedang	0.28g
11	Apron	20.01	Tanah Sedang	0.28g
18	Taxiway	17.55	Tanah Sedang	0.28g

4.5.4.2 Perhitungan Stabilitas dengan Menggunakan Software Plaxis

Analisis stabilitas statis dan dinamis dilakukan dengan menggunakan Plaxis. Tanah timbunan dimodelkan dengan bentang horizontal 10-20 meter agar perilaku tanah dapat lebih jelas terlihat. Ketinggian tanah timbunan dan besar talud sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam Tabel 4.41.

Tabel 4.46 memberikan data-data yang diinput dalam Plaxis untuk penyelidikan stabilitas pada masing-masing *bore hole*.

Tabel 4. 46 Input Data Plaxis

General Setting	
Model	Plane Strain
Elements	15-Node
x-acceleration	0.00 g
y-acceleration (statis)	0.00 g
y-acceleration (dinamis)	0.28 g (sedang) 0.34g (lunak)
Material Setting	
Material model	Mohr-Coulomb
Material type	Drained
General Properties	
γ_{dry}	Sesuai bore hole masing-masing
γ_{wet}	Sesuai bore hole masing-masing
Permeability	
k _x	Sesuai bore hole masing-masing
k _y	Sesuai bore hole masing-masing
Parameters	
Stiffness	
E _{ref}	Sesuai bore hole masing-masing
v	0.35 (clay) 0.3 (sand)
Strength	
c _{ref}	Sesuai bore hole masing-masing
ϕ (phi)	Sesuai bore hole masing-masing
Ψ (psi)	0.00

Tabel 4. 47 Parameter Tanah yang Digunakan

Bore Hole	N	Cu (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	qu (kN/m ²)
1	5	25	17	50
2	5	25	17	50
3	5	25	17	50
4	9	45	16.5	90
11	7	35	17	70
18	7	35	17	70

Dari hasil run software Plaxis, didapat besar angka keamanan, SF stabilitas tanah timbunan terhadap pembebanan statis dan dinamis seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 4.48 dan 4.49.

Tabel 4. 48 Hasil Perhitungan Plaxis: Stabilitas Statis Timbunan

Bore Hole	Lokasi	Tinggi Timbunan, m	SF terhadap Penimbunan
1	<i>Runway</i>	2.50	3.5637
2	<i>Runway</i>	1.80	4.7128
3	<i>Runway</i>	2.20	4.2792
4	<i>Runway</i>	2.70	5.5878
11	<i>Apron</i>	4.20	2.9751
18	<i>Taxiway</i>	3.90	1.7904

Keseluruhan perhitungan memberikan nilai faktor keamanan yang sesuai dengan yang disyaratkan untuk stabilitas lereng timbunan yaitu lebih besar dari 1.5.

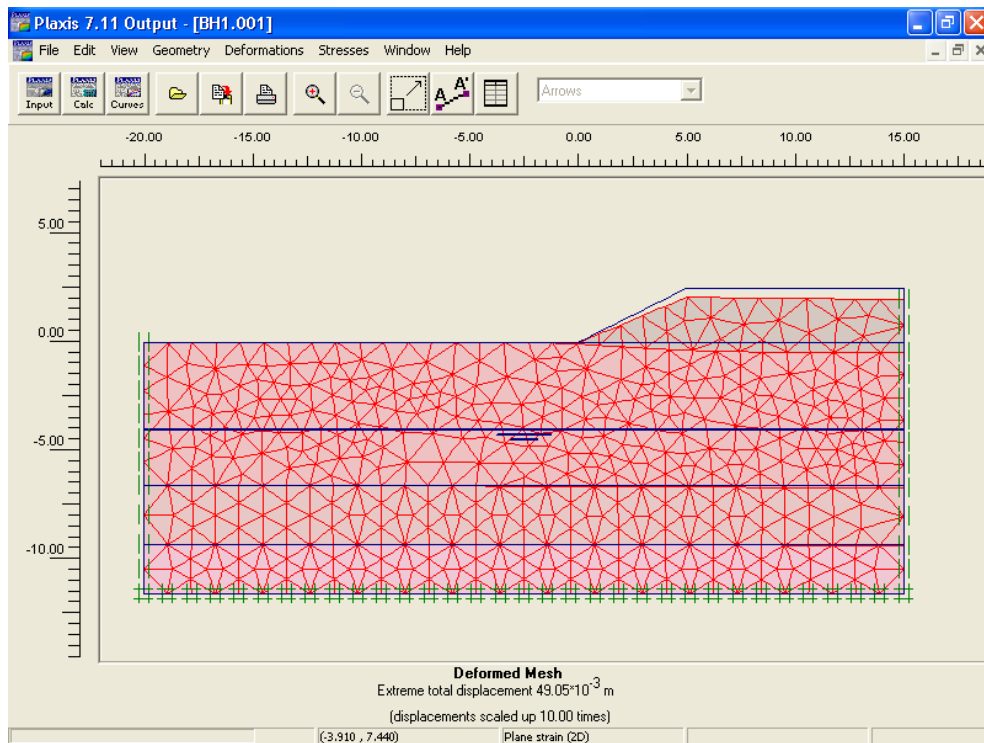
Tabel 4. 49 Hasil Perhitungan Plaxis: Stabilitas Dinamis Timbunan

Bore Hole	Lokasi	Tinggi Timbunan, m	SF terhadap Beban Gempa
1	<i>Runway</i>	2.50	2. 2196
2	<i>Runway</i>	1.80	2. 2040
3	<i>Runway</i>	2.20	2. 3749
4	<i>Runway</i>	2.70	4.2069
11	<i>Apron</i>	4.20	2.6140
18	<i>Taxiway</i>	3.90	1.1591

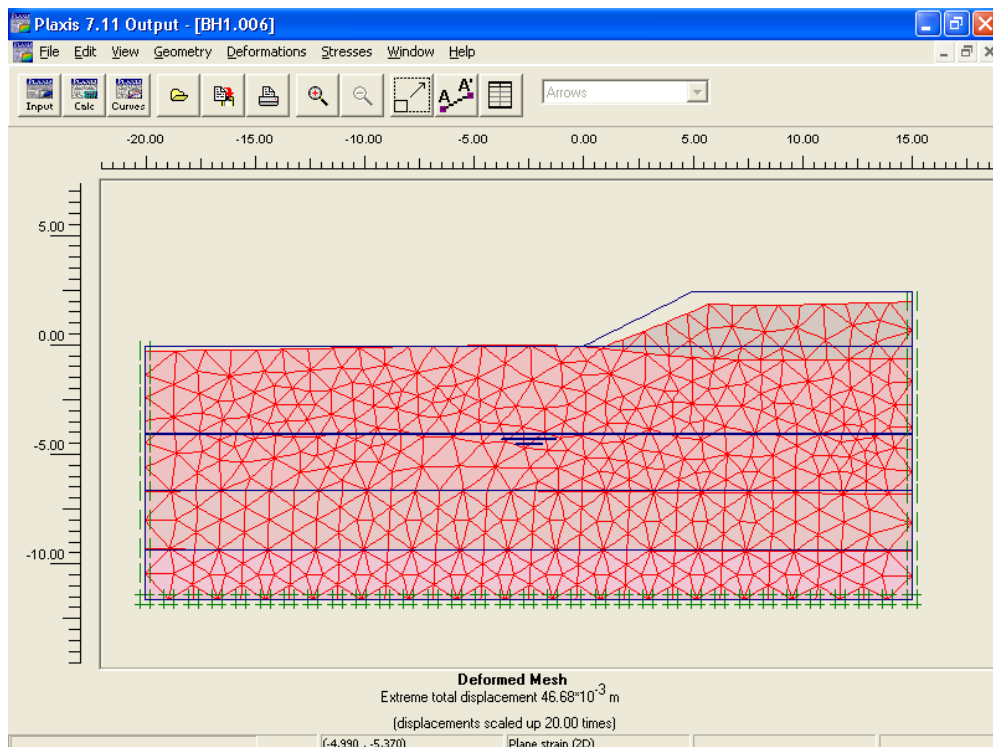
Keseluruhan perhitungan memberikan nilai faktor keamanan yang sesuai dengan yang disyaratkan untuk stabilitas lereng timbunan terhadap pembebanan gempa yaitu lebih besar dari 1.1. Beban gempa yang digunakan dalam perhitungan adalah sebesar 0.28g dan 0.34g.

Dari Tabel 4.48 dan 4.49 terlihat bahwa BH 4 memiliki nilai stabilitas paling tinggi. Hal ini dikarenakan lapisan tanah tepat di bawah lapisan timbunan di titik BH 4 memiliki parameter kekuatan geser tanah tertinggi diantara lima *bore hole* lainnya. Perbandingan parameter tanah diberikan dalam Tabel 4.47.

Dari Plaxis diperoleh output *deformed mesh* timbunan. Dari penggambaran deformed mesh ini dapat dilihat perilaku keruntuhan tanah. *Deformed mesh* akibat beban timbunan dan beban gempa untuk BH-1 ditampilkan dalam Gambar 4.13 dan 4.14. *Deformed mesh* untuk seluruh *bore hole* dapat dilihat dalam Lampiran.



Gambar 4. 13 Deformed Mesh BH 1 Akibat Timbunan

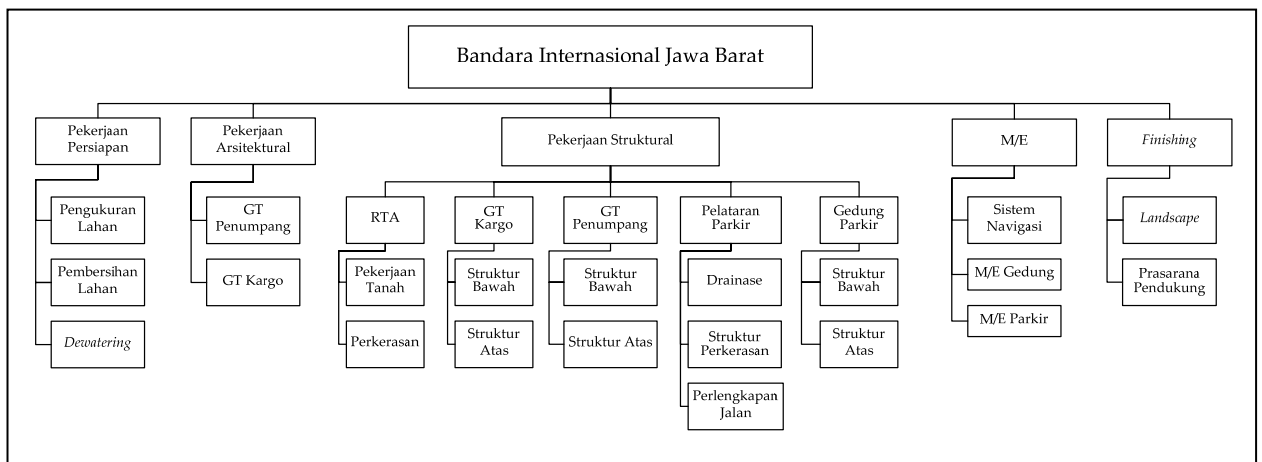


Gambar 4. 14 Deformed Mesh BH 1 Akibat Beban Gempa

4.6 Perencanaan Biaya

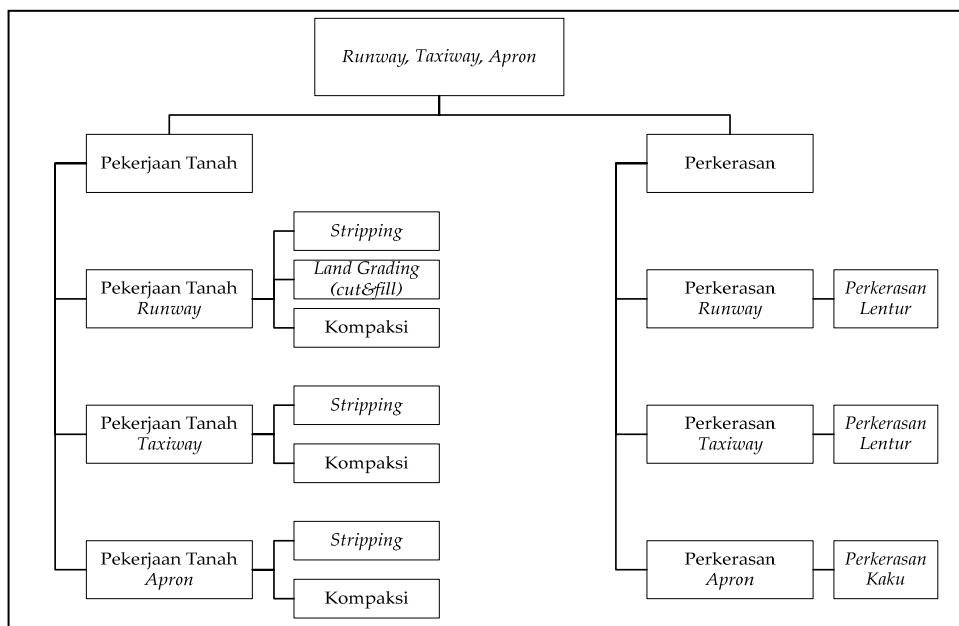
Perencanaan estimasi biaya dimulai dari pembuatan *work breakdown structure* (WBS). Untuk tugas akhir ini, dibuat dua buah WBS, yaitu WBS BIJB untuk lingkup pekerjaan sisi darat dan udara dan WBS yang lebih spesifik untuk sisi udara saja.

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat WBS untuk lingkup pekerjaan sisi darat dan udara BIJB. Pekerjaan yang akan dilakukan dibagi menjadi pekerjaan persiapan, pekerjaan arsitektural, pekerjaan struktural, pekerjaan *mechanical-electrical*, dan yang terakhir adalah pekerjaan *finishing*. Perencanaan biaya tugas akhir ini adalah perencanaan biaya pekerjaan struktural *runway*, *taxiway*, dan *apron* (RTA).



Gambar 4. 15 WBS BIJB

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat WBS untuk pekerjaan struktural RTA. Pekerjaan struktural untuk RTA dibagi lagi menjadi pekerjaan tanah dan perkerasan. Pekerjaan tanah dan perkerasan tersebut kemudian dipisah lagi menjadi pekerjaan untuk masing-masing *runway*, *taxiway* dan *apron*.



Gambar 4. 16 WBS Pekerjaan Struktural Runway, Taxiway, dan Apron

4.6.1 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah runway, taxiway, dan apron meliputi *stripping* (pengupasan) dan kompaksi. Pada runway terdapat pekerjaan tambahan yaitu *land grading* (perataan). *Land grading* dilakukan dengan meratakan permukaan runway pada elevasi 36.00 m melalui proses galian dan timbunan. Pekerjaan *land grading* di lokasi lokasi taxiway dan apron tidak dilakukan karena tidak ada data topografi pada lokasi tersebut. Taxiway dan apron diasumsikan memiliki elevasi seragam sesuai dengan elevasi *bore hole* masing-masing yaitu BH-11 (apron) dan BH-18 (taxiway).

4.6.1.1 Stripping

Stripping dilakukan dengan tujuan untuk membuang lapisan *top soil*. *Stripping* dilakukan menggunakan alat *selfloading scraper* untuk mengupas dan membuang tanah kupasan ke tempat pembuangan sementara. Jarak antara lokasi pembuangan sementara dari lokasi *stripping* diasumsikan sebesar ± 150 m ($\frac{1}{2}$ lebar runway strip). Tebal *stripping* adalah 30 cm.

Metode pekerjaan *stripping* adalah sebagai berikut:

1. *Stripping* dilakukan menggunakan *scraper*.
2. Tanah yang sudah dikupas dibawa dan dibuang ke lokasi pembuangan sementara.
3. Pengupasan dilakukan sejajar dengan sumbu runway.

4.6.1.2 Land Grading

Pekerjaan *land grading* mempunyai tujuan untuk menjadikan permukaan tanah di lokasi runway memiliki elevasi yang sama, yaitu pada elevasi 36.00 m. Persamaan elevasi ini akan memudahkan pekerjaan tanah selanjutnya, yaitu kompaksi. *Land grading* terdiri dari pekerjaan galian (*cut*) dan pekerjaan timbunan (*fill*). Pada pekerjaan *land grading*, tanah yang dipakai untuk *fill* adalah tanah asli dari hasil *cut*.

Alat yang digunakan untuk *land grading* adalah *scraper* dan *motor grader*. *Scraper* digunakan untuk pekerjaan pengambilan, pengangkutan, dan pembuangan tanah. *Motor grader* digunakan untuk pekerjaan penghamparan tanah.

Metode pekerjaan *land grading* adalah sebagai berikut:

1. Penggalian dilakukan menggunakan *scraper*. Penggalian sejajar dengan sumbu runway per *stasioning* 50 m.
2. Material galian dibawa ke lokasi yang memerlukan timbunan dengan menggunakan *scraper*.
4. Dilakukan *dumping* tanah hasil galian dari *scraper* di lokasi penimbunan.
5. Tanah tersebut kemudian dihamparkan dan diratakan menggunakan *motor grader*.
6. Tanah sisa *land grading* langsung dibawa dan dibuang ke tempat pembuangan sementara dengan menggunakan *scraper*.

Dari perhitungan didapat bahwa volume tanah galian berjumlah lebih banyak dari volume tanah yang harus ditimbun. Sisa tanah galian tersebut akan dibuang ke tempat

pembuangan sementara. Jarak antara lokasi pembuangan sementara dari lokasi *land grading* diasumsikan sebesar ± 150 m ($\frac{1}{2}$ lebar *runway strip*).

4.6.1.3 Kompaksi

Pekerjaan kompaksi pada *runway*, *taxiway*, dan *apron* dilakukan dengan tujuan untuk menaikkan daya dukung tanah. Sesuai dengan kriteria desain perkerasan yang telah ditetapkan sebelumnya, kompaksi pada *runway* dan *taxiway* dilakukan hingga tercapai parameter CBR tanah dasar 10 %, sedangkan kompaksi pada *apron* dilakukan hingga tercapai parameter k , (*subgrade strength*) tanah dasar k 300.

Tipikal spesifikasi tanah timbunan yang akan digunakan untuk kompaksi pada *runway*, *taxiway*, dan *apron* adalah sebagai berikut:

1. Jenis tanah = *cohesive soils (clay)*
2. Sumber tanah = beli
3. Berat unit kering *clay*, γ_{dry} = 18 kN/m³
4. Kohesi *clay*, c = 50 kN/m²
5. Modulus elastisitas *clay*, E_s = 10000 kN/m²
6. Indeks plastisitas *clay*, PI < 30
7. Diasumsikan bahwa tanah yang digunakan untuk kompaksi sudah sesuai dengan kriteria perencanaan dan sudah memenuhi kadar air optimum yang dibutuhkan, sehingga tidak perlu dilakukan pencampuran air di lokasi kompaksi.

Alat yang digunakan untuk pekerjaan kompaksi adalah *motor grader* dan *sheepsfoot roller*. *Motor grader* digunakan untuk menghamparkan tanah. *Sheepsfoot roller* digunakan untuk memadatkan tanah. Pemilihan alat *sheepsfoot roller* didasari bahwa *sheepsfoot roller* merupakan alat yang paling efektif pada pemadatan tanah lempung. *Sheepsfoot roller* memberikan *contact pressure* sebesar 1,380-6,900 kN/m².

Dalam pekerjaan kompaksi, diasumsikan biaya pembelian tanah sudah termasuk biaya pengantaran sampai ke lokasi kompaksi dan biaya *unload* tanah dari peralatan pengangkutan.

Metode pekerjaan kompaksi (tanah sudah di-*unload*):

1. Penghamparan tanah di lokasi kompaksi menggunakan *motor grader*.
2. Pemadatan tanah menggunakan *sheepsfoot roller*.
3. Pemadatan dilakukan per lapisan, dengan ketebalan tiap lapisan pemadatan 15 cm.
4. Berdasarkan perhitungan tinggi timbunan (lihat Tabel 4.42), jumlah lapisan penimbunan yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian yang diinginkan adalah sebagai berikut, yaitu:

a) Jumlah lapisan pemadatan pada *runway*

- | | |
|---|--------------|
| Lapisan pemadatan pada <i>bore hole</i> 1 | = 17 lapisan |
| Lapisan pemadatan pada <i>bore hole</i> 2 | = 12 lapisan |
| Lapisan pemadatan pada <i>bore hole</i> 3 | = 15 lapisan |
| Lapisan pemadatan pada <i>bore hole</i> 4 | = 18 lapisan |

- b) Jumlah lapisan pemadatan pada *taxiway* = 26 lapisan
- c) Jumlah lapisan pemadatan pada *apron* = 28 lapisan

Jumlah lintasan *sheepsfoot roller* per lapisan pemadatan adalah 5 lintasan. Jumlah lintasan *roller* adalah sebagai berikut:

- a) Jumlah lintasan *roller* pada *runway*
 - Lintasan *roller* pada *bore hole* 1 = 85 lintasan
 - Lintasan *roller* pada *bore hole* 2 = 60 lintasan
 - Lintasan *roller* pada *bore hole* 3 = 75 lintasan
 - Lintasan *roller* pada *bore hole* 4 = 90 lintasan
- c) Jumlah lintasan *roller* pada *taxiway* = 130 lintasan
- d) Jumlah lintasan *roller* pada *apron* = 140 lintasan

Penggilasan dilakukan searah sumbu lokasi (*runway/taxiway/apron*) dan diusahakan berlangsung terus tanpa berhenti sampai seluruh permukaan selesai digilas. Pemadatan dilakukan hingga tanah tercapai keadaan CBR 10 pada lokasi *runway* dan *taxiway*, dan *k* 300 pada lokasi *apron*.

4.6.2 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Perkerasan

4.6.2.1 Pekerjaan Perkerasan Lentur

Perkerasan pada *runway* dan *taxiway* didesain menggunakan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Ketebalan total lapisan perkerasan *runway* dan *taxiway* adalah 86 cm. Ketebalan total lapisan perkerasan *runway shoulder* dan *taxiway shoulder* adalah 42 cm.

Lapis perkerasan *runway* dan *taxiway* terdiri dari:

- a. *Surface course* (*asphaltic concrete*) tebal 13 cm
- b. *Base course* (*asphalt treated base* CBR 100) tebal 25 cm
- c. *Subbase* (agregat batu pecah CBR 40) tebal 42 cm

Lapis perkerasan *runway shoulder* dan *taxiway shoulder* terdiri dari:

- a. *Surface course* (*asphaltic concrete*) tebal 6 cm
- b. *Base course* (*asphalt treated base* CBR 100) tebal 16 cm
- c. *Subbase* (agregat batu pecah CBR 40) tebal 21 cm

Metode pekerjaan perkerasan lentur (tipikal):

1. Pekerjaan *subbase*

Material penyusun *subbase* adalah *agregat batu pecah*, yaitu agregat campuran dengan persyaratan CBR rencana 40. Agregat campuran dibawa ke lokasi dengan menggunakan *dump truck*. Selanjutnya dilakukan penghamparan dan perataan menggunakan *grader*. Penghamparan dan perataan dilakukan sampai ketebalan *subbase* yang telah ditentukan, yaitu 42 cm untuk lokasi *runway* dan *taxiway*, dan 21 cm untuk lokasi *shoulder* pada *runway* dan *shoulder* pada *taxiway*.

2. Pekerjaan *base course*

Material penyusun *base course* adalah *asphalt treated base (ATB)* dengan persyaratan CBR rencana 100. Penghamparan campuran ATB dilakukan sedikit demi sedikit. Setelah dihamparkan, campuran ATB dipadatkan dan diratakan dengan menggunakan *pneumatic tire roller*. Penghamparan dan perataan dilakukan sampai mendapatkan tebal *base course* yang telah ditentukan, yaitu 25 cm untuk lokasi *runway* dan *taxiway*, dan 16 cm untuk lokasi *shoulder* pada *runway* dan *shoulder* pada *taxiway*.

3. Pekerjaan *surface course*

Material penyusun *surface course* adalah *asphaltic concrete (AC)*. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan mesin AMP (*Asphalt Mixing Plant*). Hasil campuran kemudian dihamparkan dengan menggunakan *asphalt paver*. Pemadatan dan perataan campuran aspal dilakukan dengan menggunakan *smooth drum steel wheel roller*. Penghamparan dan pemadatan dilakukan sampai mendapatkan tebal *surface course* yang telah ditentukan, yaitu 13 cm untuk lokasi *runway* dan *taxiway*, dan 6 cm untuk lokasi *shoulder* pada *runway* dan *shoulder* pada *taxiway*.

Seluruh pekerjaan penghamparan dan pemadatan dilakukan searah dengan sumbu lokasi pekerjaan (*runway* atau *taxiway*).

4.6.2.2 Pekerjaan Perkerasan Kaku

Perkerasan pada *apron* didesain menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Pemilihan perkerasan kaku dilakukan karena *apron* harus menahan beban yang lebih berat daripada *runway* dan *taxiway*, yaitu beban parkir pesawat-pesawat. Tebal total lapisan perkerasan kaku yang ditentukan adalah 58 cm, terdiri dari 10 cm *sub base* (*cement treated base*) dan 48 cm *plain concrete* (material beton K-500 *slump* 12).

Merode pekerjaan perkerasan kaku pada *apron* :

1. Pekerjaan *subbase course*.

Material penyusun *subbase* adalah *cement treated base*, yaitu campuran antara semen dan agregat. Sesuai dengan persyaratan FAA yang telah disebutkan sebelumnya, campuran *sub base* harus mempunyai kuat tekan minimal 750 psi (51.8 kg/ cm²) pada umur 7 hari. Campuran tersebut kemudian dihamparkan di atas lokasi kemudian diratakan. Penghamparan dan perataan dilakukan dengan menggunakan *paver*. Penghamparan dan perataan dilakukan sampai menghasilkan ketinggian *sub base* yang diinginkan, yaitu 10 cm.

2. Pekerjaan *plain concrete*.

Material penyusun *plain concrete* adalah beton K-500 dengan *slump* 12. Pekerjaan pembuatan *plain concrete* dilakukan berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Pembuatan bekisting sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan. Bekisting untuk pekerjaan ini sebaiknya terbuat dari besi dan harus dalam kondisi baik. Pemasangan bekisting dilakukan setelah diadakan pengukuran untuk menentukan posisi bekisting secara benar. Pastikan bahwa kedudukan bekisting

- benar-benar kokoh, lurus, dan rata pada permukaannya serta mempunyai elevasi yang benar sesuai rencana.
- b. *Install* rel untuk mendudukkan alat *paver* maupun *spreader* di atasnya. Pastikan agar rel berdiri kokoh dan tidak bergoyang. Kegagalan pemasangan rel yang baik akan menyebabkan *paver* terguling atau macet.
 - c. Pemasangan alat (*paver* dan *spreader*) di rel. Pastikan alat tersebut dapat berjalan dari ujung ke ujung lainnya tanpa hambatan. Perhatikan terutama di sambungan rel.
 - d. Pengecoran beton. Beton dituangkan perlahan-lahan sampai diperkirakan cukup untuk area yang telah ditentukan sampai ketebalan yang direncanakan. Beton kemudian dihamparkan dan disebarakan menggunakan *paver*. Disarankan pengecoran dilakukan saat cuaca cerah dan tidak hujan. Untuk perataan beton ke seluruh permukaan *apron*, diperlukan *spreader* agar pelaksanaan menjadi lebih cepat karena *spreader* dapat meratakan dalam volume besar.
 - e. Pemadatan beton. Pemadatan dilakukan dengan menggunakan *vibrator*. *Vibrator* digunakan agar kepadatan beton optimum. Dapat digunakan *vibrator* yang langsung terpasang di bawah alat *paver* sehingga dapat bekerja bersamaan saat *paver* bekerja.
 - f. Perataan dan penghalusan permukaan beton dapat digunakan menggunakan jidar. Hasil permukaannya akan menjadi lebih halus.
 - g. Pekerjaan *grooving* atau pemberian tekstur permukaan. Pekerja yang melaksanakan *grooving* harus pekerja terampil yang sudah mengenal tingkat kekerasan beton. Beton yang sudah terlalu keras tidak dapat dibentuk *texture*-nya, sedangkan beton yang belum mengeras kurang baik bila dilakukan *grooving* karena tekstur menjadi tidak rapi.
 - h. Pemotongan beton. Pemotongan dilakukan pada *joint-joint* yang sudah diberi tanda. Pemotongan dilakukan dengan mesin pemotong khusus (*cutter beton*) yang digerakkan dengan mesin. Pemotongan dilakukan pada saat beton masih cukup lunak namun belum keras sekali atau kira-kira jam ke-12 sampai jam ke-18. Setelah beton dipotong, lubang hasil potongan perlu diisi dengan *joint sealant*, yang merupakan campuran karet dan aspal. Pengisian dilakukan sedemikian rupa hingga memenuhi seluruh lubang yang telah dipotong.
 - i. Pekerjaan *curing*. *Curing* dilakukan untuk melindungi beton dari retak-retak rambut akibat terlalu cepatnya susut beton. Perawatan dilakukan dengan menutup permukaan beton dengan karung goni. *Curing* dilakukan selama ± 1 minggu.

4.6.3 Estimasi Biaya

Perancangan desain akan dilengkapi dengan perhitungan estimasi biaya secara detail untuk setiap lingkup pekerjaannya. Dari setiap lingkup pekerjaan, dipilih satu jenis pekerjaan yang akan memperhitungkan koefisien dari setiap item pekerjaan. Untuk

Perencanaan *runway*, *taxiway* dan *apron* akan dipilih mengenai pekerjaan *land grading*, yang terdiri dari pekerjaan *cut* dan *fill*. Untuk jenis pekerjaan yang lainnya, koefisien didapatkan dari referensi, baik literatur maupun proyek lain yang mempunyai pekerjaan sejenis.

Langkah pertama yang harus dilakukan ketika akan membuat estimasi biaya suatu pekerjaan adalah menentukan volume pekerjaan tersebut. Volume pekerjaan yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya ditabelkan dalam BoQ.

Pada Tabel 4.50 diuraikan BoQ dari perencanaan *runway*, *taxiway* dan *apron* BIJB. Perhitungan harga satuan yang digunakan dalam perencanaan biaya untuk pembangunan *runway*, *taxiway*, dan *apron* didasarkan pada data yang tertera dalam Tabel 4.51.

Tabel 4. 50 BoQ Perencanaan *Runway*, *Taxiway*, dan *Apron*

No	Item	Unit	Volume
I Pekerjaan Tanah			
1 Runway	Stripping	m ³	337500.00
	Land Grading (Cut)	m ³	835014.70
	Land Grading (Fill)	m ³	766910.13
	Disposing	m ³	405604.57
	Kompaksi	m ³	2583750.00
2 Taxiway	Stripping	m ³	306848.10
	Disposing	m ³	306848.10
	Kompaksi	m ³	3989025.30
3 Apron	Stripping	m ³	227708.70
	Disposing	m ³	227708.70
	Kompaksi	m ³	3187921.80
II Pekerjaan Perkerasan			
1 Runway	Subbase	m ³	70875.00
	Base Course	m ³	42187.50
	Surface Course	m ³	21937.50
	Runway Shoulder		
	Subbase	m ³	11812.5
	Base Course	m ³	9000
	Surface Course	m ³	3375
	2 Taxiway		
	Subbase	m ³	104005.36
	Base Course	m ³	61907.95
	Surface Course	m ³	32192.13
Taxiway Shoulder	Subbase	m ³	47480.71
	Base Course	m ³	36175.78
	Surface Course	m ³	13565.92
3 Apron	Subbase	m ³	75902.90
	Plain Concrete	m ³	364333.92

Tabel 4. 51 Daftar Harga Satuan Bahan, Peralatan, dan Upah Pekerja

No	Uraian	Harga	Satuan	Harga Satuan
1	Bahan Tanah Kompaksi	Rp 15,200	m ³	Rp 15,200 /m ³
2	Ready Mix K-500 Slump 12	Rp 650,200	m ³	Rp 650,200 /m ³
3	Scraper	Rp 225,000	jam	Rp 225,000 /jam
4	Motor Grader	Rp 150,000	5 jam/hari	Rp 30,000 /jam
5	Sheepsfoot Roller	Rp 250,000	jam	Rp 250,000 /jam
6	Dump Truck	Rp 400,000	4 jam/hari	Rp 100,000 /jam
7	Pneumatic Tire Roller	Rp 285,000	5 jam/hari	Rp 57,000 /jam
8	Asphalt Paver	Rp 100,000	8 jam/hari	Rp 12,500 /jam
9	Smooth Drum Steel Wheel Roller	Rp 275,000	8 jam/hari	Rp 34,375 /jam
10	AMP	Rp 275,000	8 jam/hari	Rp 34,375 /jam
11	Mandor	Rp 31,000	1 org/hr/8 jam	Rp 3,875 /jam
12	Pekerja	Rp 21,000	1 org/hr/8 jam	Rp 2,625 /jam
13	Operator Alat Berat	Rp 41,000	1 org/hr/8 jam	Rp 5,125 /jam
14	Mekanik	Rp 35,000	1 org/hr/8 jam	Rp 4,375 /jam

Sumber : Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi, dan Interior (2006)

4.6.3.1 Pendetailan Produktivitas Pekerjaan *Land Grading (Cut) Runway*

Pada pekerjaan *land grading* yang terdiri dari penggalian dan penimbunan, dilakukan penentuan koefisien alat, bahan, serta upah pekerja untuk masing-masing pekerjaan. Berikut pada Tabel 4.52 dijabarkan mengenai pendetailan produktivitas pekerjaan *land grading (cut)* pada *runway*. Koefisien serta asumsi yang diambil berdasarkan referensi.

Peralatan yang digunakan dalam pekerjaan *land grading (cut) runway* adalah Scraper (Caterpillar 631 E) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Mesin : flywheel power 450 hp
 Transmisi : semiotomatis, 8 kecepatan
 Kapasitas scraper : 21 yd³ (struck) 31 yd³ (heaped)
 Empty weight distribution : 67% (drive axle) 33% (rear axle)
 Loaded weight distribution : 53% (drive axle) 47% (rear axle)
 Operating weight : 96,880 lb (empty)
 Rated load : 75,000 lb
 Top speed : 33 mph (loaded)
 Load time : 0.9 menit
 Dump time : 0.3 menit
 Turning time : 0.3 menit

Dari perhitungan pada Tabel 4.52 dapat diketahui koefisien produktivitas scraper adalah 0.02 jam/m³. Tenaga yang terlibat dalam pekerjaan ini adalah satu orang operator alat berat dan satu orang mekanik untuk setiap satu scraper dengan koefisien produktivitasnya masing-masing 0.0175 hari/m³ dan 0.0175 hari/m³. Pekerjaan diawasi oleh 1 orang mandor untuk setiap lima scraper dengan koefisien produktivitas 0.0035 hari/m³.

4.6.3.2 Pendetailan Produktivitas Pekerjaan *Land Grading (Fill) Runway*

Berikut pada Tabel 4.53 dijabarkan mengenai pendetailan produktivitas pekerjaan *land grading (fill)* pada *runway*.

Dari perhitungan pada Tabel 4.53 dapat diketahui bahwa alat yang digunakan dalam pekerjaan *land grading (fill)* pada *runway* ini adalah *scraper* dan *grader*, dengan koefisien produktivitas masing-masing adalah 0.02 jam/m³ dan 0.002 jam/m³. Untuk peralatan *scraper*, tenaga yang terlibat dalam pekerjaan ini adalah satu orang operator alat berat dan satu orang mekanik untuk setiap satu *scraper* dan *grader* dengan koefisien produktivitasnya masing-masing 0.018 hari/m³ dan 0.018 hari/m³. Dalam pekerjaan *fill*, produktivitas *scraper* menjadi faktor yang menentukan jumlah peralatan yang digunakan. Dari perhitungan, diketahui pekerjaan optimal pada jumlah satu buah *grader* untuk setiap sepuluh *scraper*. Pekerjaan diawasi oleh 1 orang mandor untuk setiap lima *scraper* dan ½ *grader* dengan koefisien produktivitas 0.004 hari/m³.

Tabel 4. 52 Pendetailan Produktivitas Pekerjaan *Land Grading (Cut) Runway*

JENIS PEKERJAAN : LAND GRADING (CUT) RUNWAY
SATUAN PEMBAYARAN : M³

No	Uraian	Kode	Koef.	Satuan	Ket
I	Asumsi				
1	Tanah yang akan digali bersih, bebas dari akar pohon, brangkal dan batuan				
2	Alat yang digunakan untuk menggali adalah <i>scraper</i>				
3	Alat yang digunakan untuk mengangkut tanah adalah <i>scraper</i>				
4	Bahan bakar, pelumas, operator serta supir belum termasuk kepada biaya sewa peralatan				
5	Jam kerja per hari	Tk	8	jam	
II	Urutan Kerja				
1	Menentukan lokasi dan kedalaman galian				
2	Melakukan persiapan alat				
3	Melakukan penggalian menggunakan <i>scraper</i>				
4	Pengangkutan tanah hasil galian ke lokasi penimbunan				
III	Bahan, Alat & dan Tenaga yang digunakan				
1 Bahan					
-					
2 Alat					
2.1 Scraper					
	Produksi per siklus (q)				
-	Kapasitas Alat (Heaped)	q'	18.9	m ³	
-	Faktor <i>Heaped</i>	K	0.98	-	
		q	18.522	m ³	
	Travel Time				
	Haul Time (77963.46 kg)				
	50 m akselerasi	0.2 menit =	12 detik		
	2050 m travelling	2.9 menit =	174 detik		
	50 m deselerasi	0.2 menit =	12 detik		
	Return Time (43945 kg)				
	50 m akselerasi	0.3 menit =	18 detik		
	2050 m travelling	5.6 menit =	336 detik		
	50 m deselerasi	0.3 menit =	18 detik		
	Total Travel Time	9.5 menit =	570 detik		
	Waktu Siklus (Ts)				
-	Travel Time	T1	570	dtk	
-	Load Time	T2	54	dtk	
-	Dump Time	T3	18	dtk	
-	Turn Time Fill	T4	18	dtk	
-	Turn Time Cut	T5	18	dtk	
		Ts1	678	dtk	
	Efisiensi Kerja	E	0.58		
	Kapasitas Produksi / jam = (q*3600*E)/Ts1	Q1	57.04	m ³ /jam	1 scraper
	Koefisien Alat / m ³ = (1:Q1)		0.02	jam/m ³	
3 Tenaga					
	Produksi yang menentukan : Scraper				
	Produksi Galian / hari = Tk*Q1	Qt	456.33	m ³ /hari	
	Kebutuhan Tenaga				
	Mandor	M	0.2	orang	
	Operator Alat Berat	Op	1	orang	
	Mekanik	Mk	1	orang	
	Koefisien Tenaga/m ³				
	Mandor = (Tk*M)/Qt		0.0035	hari/m ³	
	Pekerja = (Tk*Op)/Qt		0.0175	hari/m ³	
	Mekanik = (Tk*Mk)/Qt		0.0175	hari/m ³	
IV	Waktu Pelaksanaan yang Diperlukan				
1	Volume pekerjaan	Vp	835014.70	m ³	
2	Masa Pelaksanaan = Vp / Qt	Mp	1829.85	hari	
V	Scraper yang Diperlukan untuk Pelaksanaan 180 Hari				
	Masa Pelaksanaan	Mp	180.00	hari	
	Volume Pekerjaan / hari	Qt	4638.97	m ³ /hari	
	Jumlah Scraper/hari	n	10		

Tabel 4. 53 Pendetailan Produktivitas Pekerjaan *Land Grading (Fill) Runway*

JENIS PEKERJAAN : LAND GRADING (FILL) RUNWAY
SATUAN PEMBAYARAN : M³

No	Uraian	Kode	Koef.	Satuan	Ket
I	Asumsi				
1	Tanah yang penimbun bersih, bebas dari akar pohon, brangkal dan batuan				
2	Muka timbunan di atas muka air tanah				
3	Tanah hasil galian langsung dibawa ke lokasi penimbunan oleh scraper				
4	Alat yang digunakan untuk menghamparkan tanah adalah <i>grader</i>				
5	Bahan bakar, pelumas, operator serta supir belum termasuk kepada biaya sewa peralatan				
6	Jam kerja per hari	Tk	8		
II	Urutan Kerja				
1	Menentukan lokasi dan kedalaman galian				
2	Melakukan persiapan alat				
3	Tanah hasil galian <i>didumping</i> dari <i>scraper</i>				
4	Tanah tersebut dihampar dan diratakan dengan menggunakan <i>grader</i>				
III	Bahan, Alat & dan Tenaga yang digunakan				
1	Bahan				
-					
2	Alat				
2.1	Scraper				
-	Produksi per siklus (q)				
-	Kapasitas Alat (Heaped)	q'	18.90	m ³	
-	Faktor <i>Heaped</i>	K	0.98	-	
-		q	18.52	m ³	
-	Travel Time				
-	Haul Time (77963.46 kg)				
-	50 m akselerasi		0.2 menit =	12 detik	
-	2050 m travelling		2.9 menit =	174 detik	
-	50 m deselerasi		0.2 menit =	12 detik	
-	Return Time (43945 kg)				
-	50 m akselerasi		0.3 menit =	18 detik	
-	2050 m travelling		5.6 menit =	336 detik	
-	50 m deselerasi		0.3 menit =	18 detik	
-	Total Travel Time		9.5 menit =	570 detik	
-	Waktu Siklus (Ts)				
-	Travel Time	T1	570	dtk	
-	Load Time	T2	54	dtk	
-	Dump Time	T3	18	dtk	
-	Turn Time Fill	T4	18	dtk	
-	Turn Time Cut	T5	18	dtk	
-		Ts1	678	dtk	
-	Efisiensi Kerja	E	0.58		
-	Kapasitas Produksi / jam	=	(q*3600*E)/Ts1		
-		Q1	57.04	m ³ /jam	1 scraper
-	Koefisien Alat / m ³	=	(1:Q1)		
-			0.02	jam/m ³	
2.2	Grader				
-	Panjang Hamparan	Lh	450	m	
-	Lebar Efektif Kerja blade	b	2.40	m	
-	Faktor Efisiensi Alat	Fa	0.60		
-	Kecepatan Rata - Rata Levelling	v1	5.9	km/jam	
-	Jumlah Lintasan Levelling	n1	2	lintasan	
-	Kecepatan Rata - Rata Finishing	v2	9.4	km/jam	
-	Jumlah Lintasan Finishing	n2	2	lintasan	
-	Waktu Siklus (Ts)				
-	Levelling 3 kali lintasan	=	(Lh*b*t*Fa*60)/(v1*1000)		
-	Finishing 3 kali lintasan	=	(Lh*b*60)/(v2*1000)		
-	Waktu Pengambilan Posisi	=			
-		T1	9.15	menit	
-		T2	5.74	menit	
-		T3	1	menit	
-		Ts2	15.90	menit	
-	Kapasitas Produksi / jam	=	(Lh*b*t*Fa*60)/(n*Ts3)		
-	Kapasitas Produksi / hari	=	(Q3/8)		
-		Q2	447.27	m ³ /jam	1 grader
-			3578.17	m ³ /hari	
-	Koefisien Alat / m ³	=	(1:Q3)		
-			0.0022	jam/m ³	
3	Tenaga				
-	Produksi yang menentukan : Scraper				
-	Produksi Timbunan / hari	=	Tk*Q2		
-		Qt	456.33	m ³ /hari	
-	Kebutuhan Tenaga				
-	Mandor	M	0.2	orang	
-	Operator Alat Berat	Op	1	orang	
-	Mekanik	Mk	1	orang	
-	Koefisien Tenaga/m ³				
-	Mandor	=	(Tk*M)/Qt		
-			0.004	hari/m ³	
-	Operator Alat Berat	=	(Tk*Op)/Qt		
-			0.018	hari/m ³	
-	Mekanik	=	(Tk*Mk)/Qt		
-			0.018	hari/m ³	
IV	Waktu Pelaksanaan yang Diperlukan				
1	Volume pekerjaan	Vp	766910.13	m ³	
2	Masa Pelaksanaan = Vp / Qt	Mp	1680.61	hari	
V	Waktu Pelaksanaan untuk Penggunaan 10 Scraper				
-	Jumlah Scraper/hari	n	10		
-	Volume Pekerjaan / hari	Qt	4563.30	m ³ /hari	
-	Masa Pelaksanaan	Mp	169.00	hari	
-	Jumlah Motor Grader/hari		1	buah	

4.6.3.3 Analisis Harga Satuan

Analisis Harga Satuan (AHS) yang tertera pada Tabel 4.54 adalah AHS untuk pekerjaan yang didetailkan, yaitu pekerjaan *land grading* pada *runway*. Koefisien yang tercantum berkaitan dengan produktivitas masing-masing bahan/peralatan/upah terhadap satu jenis pekerjaan. Dalam perhitungan pada AHS, koefisien yang dicantumkan telah mewakili banyaknya unit bahan/peralatan/pekerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap satuan volume pekerjaan. Untuk mendapatkan total AHS, koefisien yang telah didapatkan dikali dengan harga satuan bahan/peralatan/upah yang dibutuhkan.

Contoh:

Pekerjaan *land grading (cut)*

Koefisien operator = 0.018 hari/ m³

Harga satuan upah operator = Rp 41,000

Total upah operator (per 1 m³ pekerjaan) = 0.016 x Rp 41,000
= Rp 719

Perhitungan untuk *item* pada pekerjaan lainnya sama seperti yang dicontohkan. Setelah dilakukan perhitungan pada semua item yang terlibat dalam pekerjaan tersebut perhitungan dijumlahkan untuk mendapatkan total biaya pekerjaan untuk satuan volume pekerjaan.

Tabel 4. 54 AHS Detail untuk *Land Grading Runway*

2	Land Grading	Cut	0.004	hari	Mandor	Rp 31,000			Rp 109	Rp 109
			0.018	hari	Operator Alat Berat	Rp 41,000			Rp 719	Rp 719
			0.018	hari	Mekanik	Rp 35,000			Rp 614	Rp 614
			0.018	jam	Scraper	Rp 225,000	Rp 3,945		Rp 3,945	Rp 3,945
										Rp 5,386
		Fill	0.004	hari	Mandor	Rp 31,000			Rp 109	Rp 109
			0.018	hari	Operator Alat Berat	Rp 41,000			Rp 719	Rp 719
			0.018	hari	Mekanik	Rp 35,000			Rp 614	Rp 614
			0.002	jam	Grader	Rp 150,000	Rp 335		Rp 335	Rp 335
										Rp 1,776
									Total	Rp 7,162

Pada Tabel 4.54 dapat diketahui bahwa biaya pekerjaan *land grading runway* untuk setiap 1m³ *cut-fill* menghabiskan biaya sebesar Rp 7,162.

Dalam Tabel 4.55 ditampilkan hasil perhitungan akhir AHS untuk setiap pekerjaan. Perhitungan AHS detail untuk pekerjaan lain dicantumkan pada Lampiran.

Tabel 4. 55 AHS Runway, Taxiway, dan Apron BIJB

ANALISIS HARGA SATUAN (1M³)			
No	Jenis Pekerjaan	Harga Satuan Unit Pekerjaan	
RUNWAY			
1	Stripping	Rp	2,177
2	Land Grading		
	a. Cut	Rp	5,386
	b. Fill	Rp	1,776
3	Disposing	Rp	2,619
4	Kompaksi (timbunan bahan terpilih)	Rp	33,946
5	Perkerasan Runway		
	a. Subbase	Rp	71,000
	b. Base Course	Rp	885,000
	c. Surface Course	Rp	1,053,000
6	Perkerasan Runway Shoulder		
	a. Subbase	Rp	35,500
	b. Base Course	Rp	566,000
	c. Surface Course	Rp	486,000
	Total	Rp	3,142,404
TAXIWAY			
1	Stripping	Rp	1,979
2	Disposing	Rp	1,980
3	Kompaksi (timbunan bahan terpilih)	Rp	43,315
4	Perkerasan Taxiway		
	a. Subbase	Rp	21,941
	b. Base Course	Rp	566,331
	c. Surface Course	Rp	810,236
5	Perkerasan Taxiway Shoulder		
	a. Subbase 2	Rp	13,582
	b. Base Course	Rp	566,331
	c. Surface Course	Rp	486,142
	Total	Rp	2,511,837
APRON			
1	Stripping	Rp	1,469
2	Disposing	Rp	1,469
3	Kompaksi (timbunan bahan terpilih)	Rp	37,974
4	Perkerasan		
	3a. Subbase	Rp	10,500
	3b. Plain Concrete	Rp	949,000
	Total	Rp	1,000,411
	Total	Rp	6,655,000

4.6.3.4 Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan Anggaran Biaya (RAB) pada Tabel 4.56 merupakan RAB untuk pekerjaan yang didetailkan, yaitu pekerjaan *land grading runway*. Dalam penyusunan RAB dapat diketahui biaya total pekerjaan yang akan dilakukan. Total biaya didapatkan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan bahan/peralatan/upah yang dibutuhkan. RAB detail untuk pekerjaan lain dicantumkan pada lampiran tugas akhir.

Contoh:

Pekerjaan *land grading (cut)*

Volume pekerjaan operator = 835,014.70 m³

Harga satuan upah operator (1 m³ pekerjaan) = Rp 291

Total upah operator = 835,014.70 m³ x Rp 291
= Rp 242,587,799

Tabel 4.56 menunjukkan bahwa biaya total untuk keseluruhan volume pekerjaan *land grading* pada *runway* sebesar Rp 5,947,889,786. Hasil perhitungan tersebut kemudian dijumlahkan dengan hasil perhitungan RAB pada pekerjaan lainnya untuk mendapatkan total estimasi biaya pada pekerjaan *runway*, *taxiway*, dan *apron* BIJB ini.

Tabel 4. 56 RAB Detail untuk *Land Grading Runway*

2	Land Grading	Cut	Mandor	835014.70	Rp	44	Rp	36,684,009		
			Operator Alat Berat	835014.70	Rp	291	Rp	242,587,799		
			Mekanik	835014.70	Rp	248	Rp	207,087,145		
			Scraper	835014.70	Rp	1,594	Rp	1,331,274,505		
									Rp	1,817,633,457
		Fill	Mandor	766910.13	Rp	109	Rp	83,358,038		
			Operator Alat Berat	766910.13	Rp	719	Rp	551,238,638		
			Mekanik	766910.13	Rp	614	Rp	470,569,569		
			Grader	766910.13	Rp	3,945	Rp	3,025,090,085		
									Rp	4,130,256,329
							Total	Rp	5,947,889,786	

Setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan estimasi biaya untuk pekerjaan *runway*, *taxiway*, dan *apron* BIJB sebesar Rp 901,503,065,304 (sembilan ratus satu milyar, lima ratus tiga juta, enam puluh lima ribu, tiga ratus empat rupiah) seperti yang tercantum pada Tabel 4.57.

Pada perhitungan RAB total dimasukkan dua komponen biaya tambahan, yaitu *overhead* (biaya tidak langsung) sebesar 10% dari total biaya dan *contingency* (biaya tak terduga) sebesar 5% dari total biaya. Biaya *overhead* dan *contingency* masing-masing sebesar Rp 90,150,306,530 dan Rp 45,075,153,265. Dengan memperhitungkan *overhead* dan *contingency*, total estimasi biaya untuk pekerjaan *runway*, *taxiway*, dan *apron* BIJB menjadi Rp 1,036,728,526,000 (satu trilyun, tiga puluh enam milyar, tujuh ratus dua puluh delapan juta, lima ratus dua puluh enam ribu rupiah).

Perhitungan RAB secara detail terdapat pada Lampiran.

Tabel 4. 57 RAB Runway, Taxiway, dan Apron BIJB**RANCANGAN ANGGARAN BIAYA**

No	Jenis Pekerjaan	Volume (m ³)	Harga Satuan Unit Pekerjaan		Total Biaya
RUNWAY					
1	Stripping	337,500			
2	Land Grading				
	a. Cut	835014.70	Rp 5,386	Rp	4,497,038,981
	b. Fill	766910.13	Rp 1,776	Rp	1,362,362,438
3	Disposing	405604.57	Rp 2,619	Rp	1,062,278,369
4	Kompaksi (timbunan bahan terpilih)	2583750	Rp 33,946	Rp	87,707,771,547
5	Perkerasan Runway				
	a. Subbase	70875.00	Rp 71,000	Rp	5,032,125,000
	b. Base Course	42187.50	Rp 885,000	Rp	37,335,937,500
	c. Surface Course	21937.50	Rp 1,053,000	Rp	23,100,187,500
6	Perkerasan Runway Shoulder				
	a. Subbase	11812.50	Rp 35,500	Rp	419,343,750
	b. Base Course	9000.00	Rp 566,000	Rp	5,094,000,000
	c. Surface Course	3375.00	Rp 486,000	Rp	1,640,250,000
Total Pekerjaan Runway					Rp 168,074,442,725
TAXIWAY					
1	Stripping	306848.10	Rp 1,979	Rp	607,274,838
2	Disposing	306848.10	Rp 1,980	Rp	607,423,208
3	Kompaksi (timbunan bahan terpilih)	3989025.30	Rp 43,315	Rp	172,784,323,018
4	Perkerasan Taxiway				
	a. Subbase	104005.36	Rp 21,941	Rp	2,281,981,604
	b. Base Course	61907.95	Rp 566,331	Rp	35,060,391,231
	c. Surface Course	32192.13	Rp 810,236	Rp	26,083,222,643
5	Perkerasan Taxiway Shoulder				
	a. Subbase	11812.50	Rp 13,582	Rp	160,437,375
	b. Base Course	9000.00	Rp 566,331	Rp	5,096,979,000
	c. Surface Course	3375.00	Rp 486,142	Rp	1,640,729,250
Total Pekerjaan Taxiway					Rp 265,151,928,688
APRON					
1	Stripping	227708.70	Rp 1,469	Rp	334,424,170
2	Disposing	227708.70	Rp 1,469	Rp	334,424,170
3	Kompaksi (timbunan bahan terpilih)	3187921.80	Rp 37,974	Rp	121,057,975,021
4	Perkerasan				
	3a. Subbase	75902.90	Rp 10,500	Rp	796,980,450
	3b. Plain Concrete	364333.92	Rp 949,000	Rp	345,752,890,080
Total Pekerjaan Apron					Rp 468,276,693,890
TOTAL					Rp 901,503,065,304
Overhead 10%					Rp 90,150,306,530
Contingency 5%					Rp 45,075,153,265
SUBTOTAL					Rp 1,036,728,526,000