



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

PROYEK AKHIR TERAPAN – RC146599

**PERENCANAAN SISI UDARA
BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI
SEMARANG**

MOCHAMMAD YUSUF HILMAN
NRP. 3113.041.036

Dosen Pembimbing
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114 198903 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

PROYEK AKHIR TERAPAN – RC146599

**PERENCANAAN SISI UDARA
BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI
SEMARANG**

MOCHAMMAD YUSUF HILMAN
NRP. 3113.041.036

Dosen Pembimbing
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114 198903 1 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA 2017**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

PROYEK AKHIR TERAPAN – RC146599

**DESIGN OF AIR SIDE AT
AHMAD YANI INTERNATIONAL AIRPORT
SEMARANG**

MOCHAMMAD YUSUF HILMAN
NRP. 3113.041.036

Supervisor
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114 198903 1 001

DEPARTEMEN DIPLOMA FOUR OF CIVIL
INFRASTRUCTURE ENGINEERING
VOCATION FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN SISI UDARA BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI SEMARANG

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Terapan Pada

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 17 Juli 2017

Disusun Oleh :
MAHASISWA



MOCHAMMAD YUSUF HILMAN

NRP : 3113 041 036

Disetujui Oleh :

DOSEN PEMBIMBING

21 JUL 2017



H. RACHMAD BASUKI, MS.

NIP : 19641114 198903 1 001



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7/5/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Airside Bandara Internasional Ahmad Yani, Semarang		
Nama Mahasiswa	M. Yusuf Hilman	NRP	3113041036
Dosen Pembimbing 1	Ir. Rachmad Basuki, MS. NIP 19641114 198903 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> ✓ - Judul : Airside → diganti Sisi Udara. ✓ - Batasan masalah ditambahkan terkait arah runway ✓ - RAB tidak dibatasi → tulis dibatasannya masalah ✓ - Nomor persamaan belum ada ✓ - Keterangan grafik diperjelas (hal 157 dst) ✓ - Gambar, Tabel, diberi sumber 	 Amalia Firdaus M, ST. MT. NIP 19770218 200501 2 002
<ul style="list-style-type: none"> ✓ - Cek h kritis utl. humpunan ✓ - Rencana material humpunan 	 Ir. Djoko Sulistiono, MT. NIP 19541002 198512 1 001
<ul style="list-style-type: none"> ✓ - Abstrak diperbaiki ✓ - Pengaruh cuaca hujan bagaimana thp L runway ✓ - Sistem drainage secara menyeluruh. 	 Ir. Dunat Indratmo, MT. NIP 19530323 198502 1 001
	- NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Amalia Firdaus M, ST. MT. NIP 19770218 200501 2 002	 Ir. Djoko Sulistiono, MT. NIP 19541002 198512 1 001	 Ir. Dunat Indratmo, MT. NIP 19530323 198502 1 001	 Ir. Rachmad Basuki, MS. NIP 19641114

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Rachmad Basuki, MS. NIP 19641114 198903 1 001	- NIP -



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 MOCH .YUSUF . Hilman 2
NRP : 1 313 041 036 2
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN AIRSIDE BANDARA INTERNASIONAL
 AHMAD YANI SEMARANG
Dosen Pembimbing : Ir. Rachmad Basumi, M.S

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
				B	C	K
1	10/Februari/2017	* Regresi thn 2011 - 2015 ditulis data saja (Data asli) * Regresi Satu" Perpesawat * diharapokasi Pesawat yg baru keluar 2015	M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	24/feb/2017	* Keberangkatan tahunan * Forecast 2015 Annual Yptk -san (yg paling besar) (Lanjut Perkerasan)	M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	23/mar/2017	* 767 annual? * Cek tinggi timbunan * Uddu < 1 m Pauai bina murgu	M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	31/mar/2017	* Pauai Forecast untuk Pengon- -bangan Apron * Perkerasan Pauai data 2016 karna sudah rencana 20thn Grafiknya * Pembuatan laporan Sampai dgn Perkerasan	M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 M. YUSUF. Hilman 2
NRP : 13113 091 036 2
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN AIRSIDE BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI SEMARANG
Dosen Pembimbing : IR. Rachmad Basuki, M.S

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan								
5	13/APR/2017	* Regresi dicek lagi selam Linear → excel nya. * Cek Peak hours > 60 → butuh holding apron * Perencanaan 2036 dipakai & 2016 dipakai juga * Sambungan di benarkan	M /	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>B</td> <td>C</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		B	C	K		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B	C	K									
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
6	10/Mei/2017	* Perbaikan tanah coba Pakai preloading & PVD * lapisan tanah 6 = 18 m - 31 m data dianggap sama Penurunan sampai 31 m di hitung	M /	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>B</td> <td>C</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		B	C	K		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B	C	K									
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
7	18/Mei/2017	* Perhitungan konsolidasi ada yg salah diperbaiki * PVD dipilih / ditentukan berapa bulan dulu baru dihitung * T_c → dicek kembali * Luas catchment Area → total R20 → sbg input pd intensitas hujan mononok	M /	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>B</td> <td>C</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		B	C	K		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	B	C	K									
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

KATA PENGANTAR

Puji syukur terpanjatkan kehadirat Allah S.W.T. atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad S.A.W. sehingga laporan proyek akhir ini dapat terselesaikan.

Tersusunnya proyek akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu begitu banyak ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua serta saudara tercinta, sebagai penyemangat dan telah memberikan banyak dukungan moril maupun materil, serta doa.
2. Bapak Dr. Machsus ST., MT., selaku kepala koordinator Program Studi Diploma Sipil ITS sekaligus sebagai dosen wali.
3. Bapak Ir. Rachmad Basuki, M. S, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
4. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan proyek akhir ini terdapat masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proyek akhir ini.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR SYMBOL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Persamaan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penulisan	3
1.6. Lokasi Studi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum.....	7
2.2. Karakteristik Pesawat Terbang.....	7
2.2.1. Berat	8
2.2.2. Susunan Landing Gear	10
2.3. Peramalan Pertumbuhan Lalu Lintas Udara Metode Regresi Linear Sederhana.....	11

2.4.	Perhitungan Peak Hour Rencana	12
2.5.	Bagian/Fasilitas <i>Air Side</i> Lapangan Terbang	13
2.5.1.	Landas Pacu (<i>Runway</i>)	13
2.5.2.	Landas Hubung (<i>Taxiway</i>)	36
2.5.3.	Tempat Parkir Pesawat (<i>APRON</i>)	45
2.6.	Metode Perencanaan Perkerasan	49
2.5.4.	Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>) Metode FAA	50
2.5.5.	Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>) Metode FAA	58
2.7.	Perbaikan Tanah	69
2.7.1.	Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>)	70
2.7.1.1.	Lempung <i>Normally Consolidated</i> dan <i>Over- Consolidated</i>	71
2.7.1.2.	Waktu Penurunan Tanah	72
2.7.2.	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	74
2.8.	Perencanaan Drainase	78
2.7.3.	Penentuan Hujan Rencana	78
2.7.4.	Penentuan Debit Banjir Rencana	80
2.7.5.	Penentuan Penampang Drainase	84
2.9.	Perencanaan Kolam Tampung	87
2.10.	Metode Pelaksanaan	87
2.11.	Pemilihan Alat	88
BAB III METODOLOGI		95
3.1.	Umum	95

3.2.	Bagan Alir Metodologi.....	98
BAB IV PENGUMPULAN & PENGOLAHAN DATA.....		101
4.1.	Peramalan/ <i>Forecasting</i> Pergerakan Pesawat.....	101
4.1.1.	Analisis Pergerakan Pesawat Eksisting	101
4.1.2.	Analisis Prakiraan/ <i>Forecasting</i> Pergerakan Pesawat	102
4.1.3.	Perhitungan Peak Hours Rencana	110
4.2.	Analisis Geometrik Fasilitas Sisi Udara (<i>Airside</i>) Bandar Udara Internasional Ahmad Yani	116
4.2.1.	Analisis Landas Pacu/ <i>Runway</i>	116
4.2.2.	Analisis Landas Hubung/ <i>Taxiway</i>	128
4.2.3.	Analisis Tempat Parkir Pesawat/ <i>Apron</i>	138
4.3.	Analisis Perkerasan pada Pengembangan Fasilitas Sisi Udara	144
4.3.1.	Analisis Perkerasan Landas Pacu/ <i>Runway</i>	144
4.3.2.	Analisis Perkerasan Landas Hubung/ <i>Taxiway</i>	154
4.3.3.	Analisis Perkerasan Landas Parkir/ <i>Apron</i>	163
4.3.4.	Perencanaan Sambungan Perkerasan Kaku.....	172
4.3.5.	Perencanaan Tulangan Perkerasan Beton.....	176
4.4.	Perhitungan Perbaikan Tanah.....	180
4.4.1.	Analisis Penurunan Tanah/ <i>Settlement</i>	182
4.4.2.	Analisis Pemasangan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD)	197
4.5.	Analisis Drainase.....	220
4.5.1.	Uji Statistik Data Curah Hujan.....	220
4.5.2.	Analisis Curah Hujan Maksimum Periode 20 tahun Menggunakan Metode Gumbel	227
4.5.3.	Analisis Debit Banjir Rencana	230

4.5.4.	Analisis Penampang Saluran Drainase	236
4.6.	Analisis Kolam Tampung.....	237
BAB V	METODE PELAKSANAAN.....	241
5.1.	Umum.....	241
5.2.	Metode Pekerjaan	241
5.2.1.	Perencanaan Site Plan	241
5.2.2.	Pekerjaan Persiapan.....	242
5.2.3.	Pekerjaan Perbaikan Tanah	249
5.2.4.	Pekerjaan <i>Rigid Pavement</i>	255
5.2.5.	Pekerjaan <i>Flexible Pavement</i>	264
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN.....	271
6.1.	Kesimpulan.....	271
6.2.	Saran.....	274
DAFTAR PUSTAKA	275
DAFTAR LAMPIRAN	277
BIODATA PENULIS	279

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 : Karakteristik Pesawat Komersil	9
Tabel 2. 2 : Kode Referensi Aerodrome	19
Tabel 2. 3 : Lebar Minimum Runway	20
Tabel 2. 4 : Kemiringan Melintang Runway	23
Tabel 2. 5 : Clearance Minimum Runway	28
Tabel 2. 6 : Lebar Runway Strip yang Ditambah	31
Tabel 2. 7 : Lebar Runway Strip untuk Runway Non-Precision	31
Tabel 2. 8 : Lebar Runway Strip untuk Runway Precision	32
Tabel 2. 9 : Lebar Minimum Taxiway	37
Tabel 2. 10 : Clearance Minimum Taxiway	39
Tabel 2. 11 : Radius Kurva Taxiway	39
Tabel 2. 12 : Dimensi Fillet Taxiway	40
Tabel 2. 13 : Radius Fillet	41
Tabel 2. 14 : Pengklasifikasian Kelas Pesawat Terbang	47
Tabel 2. 15 : Jarak Bebas Antar Pesawat Di Apron	48
Tabel 2. 16 : Klasifikasi Tanah Berdasarkan Peraturan FAA	50
Tabel 2. 17 : Hubungan antara harga CBR dengan Klasifikasi Subgrade Berdasarkan FAA	51
Tabel 2. 18 : Konversi Tipe Roda Pesawat	56
Tabel 2. 19 : Konversi Tipe Roda Pesawat	61
Tabel 2. 20 : Tebal Total Perkerasan untuk Annual Departure > 25.000	64
Tabel 2. 21 : Rekomendasi Jarak Sambungan Perkerasan Kaku Dengan atau Tanpa Perbaikan Pondasi Bawah	67
Tabel 2. 22 : Spesifikasi Dowel Menurut FAA	69
Tabel 2. 23 : Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Square	80
Tabel 4. 1 : Data Pergerakan Tahun 2011-2016	101
Tabel 4. 2 : Tabel Perhitungan Metode Regresi Linear Sederhana	103

Tabel 4. 3 : Hasil Forecasting Metode Regresi Linear	106
Tabel 4. 4 : Hasil Forecasting Metode Regresi Linear	107
Tabel 4. 5 : Rekap Nilai R^2 serta Nilai Forecast perpesawat....	108
Tabel 4. 6 : Hasil Perhitungan Average Monthly PerPesawat..	113
Tabel 4. 7 : Hasil Perhitungan Average Daily Passanger PerPesawat	114
Tabel 4. 8 : Hasil Perhitungan Peak Daily Flow PerPesawat ...	115
Tabel 4. 9 : Tabel Kebutuhan Panjang Runway Tiap Pesawat.	117
Tabel 4. 10 : Data Suhu Semarang Tahun 2016.....	119
Tabel 4. 11 : Rekap Ketinggian dan Kemiringan Runway Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang	121
Tabel 4. 12 : Lebar dan Panjang Clearway.....	124
Tabel 4. 13 : Kode Referensi Aerodrome Pesawat.....	125
Tabel 4. 14 : Lebar Runway berdasarkan KP no 29 Tahun 2014	126
Tabel 4. 15 : Lebar Runway Strip.....	127
Tabel 4. 16 : Minimum Clearance pada Runway Turn Pad	128
Tabel 4. 17 : Lebar Minimum Taxiway.....	129
Tabel 4. 18 : Clearance Minimum Tepian Taxiway	129
Tabel 4. 19 : Ukuran Taxiway Curve dalam meter	130
Tabel 4. 20 : Dimensi Fillet.....	132
Tabel 4. 21 : Radius Fillet	132
Tabel 4. 22 : Data Pesawat Boeing 737-400	134
Tabel 4. 23 : Jarak Threshold ke Awal Marka	135
Tabel 4. 24 : Lokasi Exit taxiway Siku-siku Berdasarkan Tipe Pesawat.....	136
Tabel 4. 25 : Jarak Pemisah Minimum Taxiway antara Garis Tengah Taxiway dengan Runway, serta Apron	137
Tabel 4. 26 : Hasil Perhitungan Jumlah Gate/Gate	140
Tabel 4. 27 : Hasil Perhitungan Dimensi Gate/Gate Tiap Pesawat	141

Tabel 4. 28 : Kebutuhan Ukuran Landas Parkir/Apron Tahun 2017.....	142
Tabel 4. 29 : Kebutuhan Dimensi Landas Parkir 2017-2036 ...	143
Tabel 4. 30 : Pergerakan Pesawat Tahun 2036.....	145
Tabel 4. 31 : Rekap Beban Roda Perpesawat.....	146
Tabel 4. 32 : Faktor Pengkali	147
Tabel 4. 33 : Nilai Equivalent Annual Departure (R1).....	149
Tabel 4. 34 : Rekap Tebal Perkerasan Runway Tahun 2036....	154
Tabel 4. 35 : Pergerakan Pesawat Tahun 2036.....	155
Tabel 4. 36 : Rekap Beban Roda Perpesawat.....	156
Tabel 4. 37 : Faktor Pengkali	157
Tabel 4. 38 : Nilai Equivalent Annual Departure (R1).....	159
Tabel 4. 39 : Rekap Tebal Perkerasan <i>Taxiway</i> Tahun 2036 ...	163
Tabel 4. 40 : Pergerakan Pesawat 2036.....	164
Tabel 4. 41 : Rekap Beban Roda Perpesawat.....	165
Tabel 4. 42 : Faktor Pengkali	166
Tabel 4. 43 : Nilai Equivalent Annual Departure (R1).....	168
Tabel 4. 44 : Rekap Tebal Perkerasan Apron Tahun 2036.....	172
Tabel 4. 45 : Rekomendasi Jarak Sambungan Perkerasan Kaku Dengan atau Tanpa Perbaikan Pondasi Bawah	175
Tabel 4. 46 : Rekap Tulangan Memanjang & Melintang Perkerasan Kaku.....	178
Tabel 4. 47 : Data Tanah Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang	180
Tabel 4. 48 : Data Tanah Timbunan.....	180
Tabel 4. 49 : Hasil Perhitungan Tanah	181
Tabel 4. 50 : Rekap Perhitungan Penurunan Tanah Akibat Preloading.....	184
Tabel 4. 51 : Rekap Lama Waktu Konsolidasi.....	186
Tabel 4. 52 : Rekap Perhitungan Irisan	196
Tabel 4. 53 : Rekap Nilai $F(n)$ dengan Jarak (s) berbeda-beda 200	

Tabel 4. 54 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1 meter.....	201
Tabel 4. 55 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,25 meter.....	201
Tabel 4. 56 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,5 meter.....	203
Tabel 4. 57 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,75 meter.....	204
Tabel 4. 58 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 2 meter.....	206
Tabel 4. 59 : Rekap Lama Waktu Konsolidasi pada Jarak (S) yang berbeda-beda.....	208
Tabel 4. 60 : Rekap Nilai F(n) dengan Jarak (s) berbeda-beda	211
Tabel 4. 61 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1 meter.....	212
Tabel 4. 62 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,25 meter.....	213
Tabel 4. 63 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,5 meter.....	214
Tabel 4. 64 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,75 meter.....	215
Tabel 4. 65 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 2 meter.....	217
Tabel 4. 66 : Rekap Lama Waktu Konsolidasi pada Jarak (S) yang berbeda-beda.....	219
Tabel 4. 67 : Data Curah Hujan tahun 2006 - 2015.....	220
Tabel 4. 68 : Rekap Hasil Pengurutan R_{Maks}	221
Tabel 4. 69 : Rekap Nilai Data Tabel Parameter Statistik.....	222
Tabel 4. 70 : Tabel Parameter Statistik Distribusi.....	224
Tabel 4. 71 : Rekap Nilai X_n^2	227
Tabel 4. 72 : Nilai Kritis Untuk Chi-Square.....	227
Tabel 4. 73 : Nilai Standart Deviation (S_n).....	229

Tabel 4. 74 : Nilai Reduced Mean (Y_n)	230
Tabel 4. 75 : Nilai Koeffisien Penyebaran Hujan (β)	233
Tabel 4. 76 : Nilai Koeffisien Pengaliran (C).....	233
Tabel 4. 77 : Rekap Perhitungan Debit Banjir Rencana Tiap Saluran.....	235
Tabel 4. 78 : Persamaan Pehitungan Penampang Segiempat..	236
Tabel 4. 79 : Ukuran Penampang Tiap-tiap Rencana Saluran..	236
Tabel 4. 80 : Data Hidrograf.....	238

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2. 1 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Single Wheel	53
Grafik 2. 2 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Dual Wheel.....	54
Grafik 2. 3 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Dual Tandem Gear	55
Grafik 2. 4 : Tebal Minimum Base Coarse yang diperlukan	58
Grafik 2. 5 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Single Wheel Gear.....	62
Grafik 2. 6 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Wheel Gear.....	63
Grafik 2. 7 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Tandem Gear	63
Grafik 2. 8 : Time Factor	73
Grafik 4. 1 : Grafik Pergerakan Pesawat Tahun 2011-2016	102
Grafik 4. 2 : <i>Rekap Nilai Forecasting 20 Tahun Mendatang</i> ...	109
Grafik 4. 3 : Taxiway Group Design Graphic.....	130
Grafik 4. 4 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Dual Wheel.....	150
Grafik 4. 5 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Dual Wheel.....	151
Grafik 4. 6 : Grafik Tebal Base Coarse Minimum.....	153
Grafik 4. 7 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Wheel	160
Grafik 4. 8 : Disain Tebal Stabilized Subbase	162
Grafik 4. 9 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Wheel	169
Grafik 4. 10 : Disain Tebal Stabilized Subbase	171
Grafik 4. 11 : Time Factor (T_v)	185

Grafik 4. 12 : Hubungan antar Derajat Konsolidasi dengan Lama Waktu Konsolidasi Tanpa PVD187

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 : Lokasi Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang	4
Gambar 1. 2 : Peta Pengembangan Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang	5
Gambar 2. 1 : Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Tradisional/Simpel	11
Gambar 2. 2 : Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Komplek/Rumit	11
Gambar 2. 3 : Konfigurasi Landas Pacu Tunggal	14
Gambar 2. 4 : Konfigurasi Landas Pacu Sejajar	15
Gambar 2. 5 : Konfigurasi Landas Pacu Bersilang/Berpotongan	16
Gambar 2. 6 : Konfigurasi Landas Pacu V-Terbuka	16
Gambar 2. 7 : Titik Persimpangan/Intersection Point	23
Gambar 2. 8 : Declared Distance	26
Gambar 2. 9 : Tata Letak Umum Turn Pad	27
Gambar 2. 10 : Komposisi Runway Strip	30
Gambar 2. 11 : Kurva Taxiway (Taxiway Curves)	40
Gambar 2. 12 : Fillet Taxiway	42
Gambar 2. 13 : Radius Fillet	42
Gambar 2. 14 : Rapid Exit taxiway	45
Gambar 2. 15 : Struktur Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)	52
Gambar 2. 16 : Struktur Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)	59
Gambar 2. 17 : Expansion Joint	65
Gambar 2. 18 : Contruction Joint Memanjang	65
Gambar 2. 19 : Contruction Joint Melintang	66
Gambar 2. 20 : Contraction Joint Memanjang	66
Gambar 2. 21 : Contraction Joint Melintang	67

Gambar 2. 22 : Drainasi 2 Arah.....	73
Gambar 2. 23 : Drainasi 1 Arah.....	74
Gambar 2. 24 : Denah Pemasangan Drainase Vertikal.....	76
Gambar 2. 25 : Hidrograf satuan sintetis Nakayasu	82
Gambar 2. 26 : Ekskavator	89
Gambar 2. 27 : Bulldozer	90
Gambar 2. 28 : Loader.....	90
Gambar 2. 29 : Diesel Hammer	91
Gambar 2. 30 : Dump Truck.....	92
Gambar 2. 31 : (A) Tandem Roller, (B) Tire Roller, (C) Vibrator Roller.....	93
Gambar 2. 32 : Asphalt Finish.....	93
Gambar 4. 1 : Profil Ketinggian Runway Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang.....	120
Gambar 4. 2 : Taxiway Curve	131
Gambar 4. 3 : Sistem Parkir Nose-In.....	139
Gambar 4. 4 : Penampang Melintang Landasan	161
Gambar 4. 5 : Penampang Melintang Landasan	170
Gambar 4. 6 : Isolation Joint (Type A-Doweled)	172
Gambar 4. 7 : Longitudinal Construction Joint (Type E-Hinged)	173
Gambar 4. 8 : Tranverse Construction Joint (Type D-Doweled)	173
Gambar 4. 9 : Longitudinal Constraction Joint (Type G-Hinged)	174
Gambar 4. 10 : Tranverse Construction Joint (Type F-Doweled)	174
Gambar 4. 11 : Posisi Sambungan pada Tepi Perkerasan	175
Gambar 4. 12 : Permodelan Pembebanan Tanah Preloading ..	182
Gambar 4. 13 : Permodelan Perhitungan Tekanan Overburden (Po).....	183

Gambar 4. 14 : Model Sliding (Method Of Slice)	187
Gambar 4. 15 : Bidang Irisan 1.....	188
Gambar 4. 16 : Bidang Irisan 2.....	189
Gambar 4. 17 : Bidang Irisan 3.....	191
Gambar 4. 18 : Bidang Irisan 4.....	192
Gambar 4. 19 : Bidang Irisan 5.....	194
Gambar 4. 20 : Bidang Irisan 6.....	195
Gambar 4. 21 : Penampang Segiempat.....	236
Gambar 4. 22 : Diagram Hidrograf.....	238
Gambar 5. 1 : Pembersihan Lahan dengan Bulldozer	243
Gambar 5. 2 : Pengambilan Sampah oleh Ekskavator.....	244
Gambar 5. 3 : Pengukuran Lapangan	245
Gambar 5. 4 : Penimbunan Area Tambak	246
Gambar 5. 5 : Penumpukan Material Tanah Timbunan	247
Gambar 5. 6 : Pengamparan Tanah Timbunan dengan Bulldozer	248
Gambar 5. 7 : Pemadatan Tanah Timbunan	249
Gambar 5. 8 : Pemasangan Geotextile Non Woven	251
Gambar 5. 9 : Penggelaran Sand Blanket Sebagai PHD	252
Gambar 5. 10 : Penghamparan Sand Blanket dengan Bulldozer	252
Gambar 5. 11 : Prefabricated Vertical Drain	253
Gambar 5. 12 : Pemasangan PVD dengan Hydraulic Rig.....	253
Gambar 5. 13 : Penyambungan Geotextile antara Lapis 1 dan Lapis 2	254
Gambar 5. 14 : Contoh Pembagian Panel Pengecoran	256
Gambar 5. 15 : Pembuatan Bekisting Panel	257
Gambar 5. 16 : Penggelaran CTB Tebal 21 cm.....	258
Gambar 5. 17 : Pemasangan Tulangan dan Sambungan.....	259
Gambar 5. 18 : Pembuatan Alur Pada Permukaan Beton	260
Gambar 5. 19 : Pembongkaran Bekisting	260

Gambar 5. 20 : Pemotongan Slab Beton.....	261
Gambar 5. 21 : Pengecatan Marka Menggunakan Cetakan Matras.....	262
Gambar 5. 22 : Pembuatan Garis Marka	263
Gambar 5. 23 : Penggunaan Marka	263
Gambar 5. 24 : Pembersihan Permukaan Beton dengan menggunakan Air Compressor.....	265
Gambar 5. 25 : Penyemprotan Prime Coat pada Lapisan Permukaan Beton	265
Gambar 5. 26 : Proses Penggelaran Binder Course	266
Gambar 5. 27 : Pembersihan Lapis Binder Course dengan Air Compressor.....	267
Gambar 5. 28 : Penyemprotan Take Coat dengan Asphalt Sprayer	267
Gambar 5. 29 : Pemasokan AMP pada Asphalt Finisher	268
Gambar 5. 30 : Penggelaran Wearing Course dengan Asphalt Finisher.....	268
Gambar 5. 31 : Proses Break down dengan Tandem Roller....	269
Gambar 5. 32 : Proses Intermediate dengan Tire Roller.....	269
Gambar 5. 33 : Proses Final Rolling dengan Tandem Roller..	270

DAFTAR NOTASI

Ft	= Faktor Koreksi Suhu (Metric)
T	= Temperatur dilapangan terbang (C)
Fe	= Faktor Koreksi Ketinggian (Metric)
h	= Tinggi / Elevasi Lapangan Terbang
Fs	= Faktor Koreksi Kemiringan (Metric)
S	= Kemiringan Kemiringan
ARFL	= Aeroplane Reference Field Length, landas pacu minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas pada maximum sertifikated take off weight, elevasi muka laut, kondisi standart atmosfir, keadaan tanpa ada angin bertiup, dan landas pacu tanpa kemiringan. (m)
Lr ₀	= Panjang Runway Terkoreksi (m)
TORA	= Take Off Run Available (m)
TODA	= Take Off Distance Available (m)
CWY	= Clearway (m)
SWY	= Stopway (m)
ASDA	= Accelerate-Stop Distance Available (m)
LDA	= Landing Distance Available (m)
RESA	= Runway End Safety Area (m)
D2	= Jarak dari Touchdown ke titik A
S1	= Kecepatan Touchdown (m/s)
S2	= Kecepatan Awal Ketika Meninggalkan Landasan (m/s)
a	= Perlambatan (m/s ²)
G	= Jumlah Gate (Buah)
V	= Volume Rencana Untuk Kedatangan atau Keberangkatan (Gerakan/jam)
T	= Gate Occupancy Tune (Jam)
U	= Faktor Pemakaian Gate
R	= Radius Putar Pesawat (ft)
C	= Jarak Pesawat dan Pesawat ke Gedung Terminal
L	= Panjang Pesawat (ft)

W	= Lebar Taxilane (ft)
R2	= Annual Departure Pesawat Campuran (Pergerakan)
W2	= Beban Roda Pesawat Bukan Rencana (lbs)
MTOW	= Berat Maksimum Pesawat (lbs)
N	= Jumlah Roda pada Main Gear
W1	= Beban Roda Pesawat Rencana (lbs)
R1	= Equicalent Annual Departure Pesawat Rencana
S _T	= Penurunan Total (m)
S _c	= Penurunan Akibat Konsolidasi (m)
ρ _i	= Penurunan Segera (m)
C _c	= Indeks Pemampatan
e ₀	= Angka Pori
H	= Tebal Lapisan Tanah (m)
P ₀	= Tekanan Efektif Overburden (kN/m ²)
Δ _P	= Tambahan Tegangan Akibat Beban Fondasi (kN/m ²)
t	= Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi
T _v	= Faktor Waktu Penurunan
C _v	= Koefisien Konsolidasi Vertikal (m ² /s)
H _t	= Tebal Lapisan Terkonsolidasi Pengaruh Drainage (m)
d _w	= Diameter Equivalen (m)
a	= Lebar Penampang PVD (mm)
b	= Tebal Penampang PVD (mm)
D	= Diameter Pengaruh (m)
Ch	= Koefisien Konsolidasi Horizontal (m ² /s)
F(n)	= Faktor Hmabatan Akibat Jarak Antar PVD
U	= Derajat Konsolidasi Akibat Aliran Vertikal dan Radial
U _v	= Derajat Konsolidasi Vertikal
U _h	= Derajat Konsolidasi Radial
S _d	= Standar Deviasi
C _v	= Koefisien Variasi
C _s	= Koefisien Kemencengan
C _k	= Koefisien Ketajaman
Q	= Debit Banjir Rencana pada Periode Ulang Tertentu (m ³ /s)

β	= Koefisien Penyebaran Hujan
C	= Koefisien Pengaliran
I _t	= Intensitas Hujan pada Periode Ulang Tertentu (mm/jam)
A	= Luas Daerah (km ²)
t ₀	= Overland Flow Time (Inlet Time)
t _f	= Channel Flow Time
L ₀	= Jarak Mengalirnya Air Hujan diatas Permukaan sampai Inlet (km)
I ₀	= Kemiringan Rata-rata dari daerah aliran
n	= Kekerasan Daerah
L	= Panjang Saluran (km)
V	= Kecepatan Air pada Saluran (km/jam)
Δh	= Beda Tinggi antara titik terjauh dihilu dengan titik pengamatan (km)
Q _p	= Debit Puncak Banjir
R _c	= Curah Hujan Efektif (mm)
T _p	= Waktu dari Permulaan Banjir Sampai Puncak Hidrograf Banjir (Jam)
T _{0,3}	= Waktu dari puncak bajir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (Jam)
t _g	= Waktu Konsentrasi
T _r	= Satuan Waktu dari Curah Hujan (Jam)
α	= Koefisien Karaktersitik DAS
L	= Panjang Sungai Utama (km)

PERENCANAAN SISI UDARA BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI, SEMARANG

Nama Mahasiswa : Mochammad Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036
Jurusan : D-IV Teknik Infrastruktur Sipil
Dosen Pembimbing I : Ir. Rachmat Basuki, MS

ABSTRAK

Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang mengalami peningkatan kebutuhan akan angkutan udara setiap tahunnya, dimana kapasitas sudah tidak memadai dari sisi darat maupun dari sisi udara, sehingga perlu dilakukan pengembangan bandara Ahmad Yani, yang direncanakan pada sisi utara runway Bandara sesuai Master Plan Bandara Ahmad Yani Semarang pada tahun 2014.

Perhitungan rencana pengembangan sisi udara untuk 20 tahun kedepan tahun 2036, diawali dengan peramalan pergerakan pesawat untuk 20 tahun yang akan datang hingga tahun 2036. Hasil dari peramalan digunakan untuk mengetahui jenis pesawat rencana. Pesawat rencana tersebut dijadikan sebagai acuan untuk analisis geometrik sisi udara yaitu landas pacu, landas hubung, dan landas parkir, dalam perencanaan perkerasan pesawat rencana ditentukan dari pesawat yang memiliki beban yang paling besar pada roda pesawat, jenis perkerasan yang digunakan adalah perkerasan kaku pada landas parkir dan landas hubung serta perkerasan lentur pada landas pacu. Perencanaan perkerasan menggunakan metode FAA (Federal Aviation Administration). Perbaikan struktur tanah dibutuhkan guna memperbaiki struktur tanah dasar dari pada bandara dan digunakan preloading + PVD

(Prefabricated Vertical Drain) guna mempercepat terjadinya settlement.

Berdasarkan perhitungan didapatkan panjang dan lebar runway adalah 3000 m x 45 m, dengan bahu landasan juga stopway sebesar 60 m x 45 m, RESA (Runway End Safety Area) dimensi 240 m. Lebar Taxiway total adalah 35 m dengan lebar bahu 17, sedangkan letak Exit Taxiway sudut 90° berada pada STA 1+200, 1+725, dan 3+000. Untuk luas Apron tahun 2017 adalah 81.287 m² dan tahun 2036 adalah 187.985 m². Total tebal perkerasan lentur untuk tahun 2036 pada runway area kritis adalah 99,06 cm, area non kritis adalah 93,06 cm, pada taxiway tebal perkerasan area kritis adalah 72,82 cm, area non kritis adalah 72,58 cm dan pada apron area kritis adalah 62,81 cm, area non kritis adalah 63,58 cm, dan untuk perencanaan pemasangan PVD (Prefabricated Vertical Drain) dengan jarak 1 m per PVD dan menggunakan pola segiempat dengan kurun waktu penurunan 2,5 bulan mencapai penurunan U 90% atau penurunan 2,8m

Kata Kunci : Airside, FAA, ICAO, KP no 29 Tahun 2014, Runway, Taxiway, Apron, Struktur Perkerasan

DESIGN OF AIR SIDE AT AHMAD YANI INTERNATIONAL AIRPORT, SEMARANG

Nama Mahasiswa : Mochammad Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036
Jurusan : D-IV Teknik Infrastruktur Sipil
Dosen Pembimbing I : Ir. Rachmat Basuki, MS

ABSTRACT

Demand of air transport of Ahmad Yani Internasional Airport Semarang always increase every years, but capacity of airport is not sufficient from the land side and air side as well, so it needs to do Airport development, that have planned on air side according to the master plan of Ahmad Yani Internasional Airport Semarang on 2014.

Calculation of air side development plan for 20 year ahead in 2036 is begin with the forecast of aircraft movement for the next 20 years till 2036, the resul of the forecast being used to know the plan of the aircraft for airside geometric analysis such as runway, taxiway, and apron, for planing the pavement the plan of the aircraft is being choosen from the aircraft that have the maximum weight on the wheel, the type of the pavement that being used is rigid pavement on taxiway and apron, and flexible pavement on runway. The plan for the pavement is using FAA method (Federal Aviation Administration). Improvement of soil structure is needed for improve the subgrade value of the airport, the method that used is preloading + PVD (Prefabricated Vertical Drain) for speed up the settlement.

Based on calculation, obtained runway length and width is 3000 m x 45 m , with runway shoulder and stopway size is 60 m x 45 m, RESA (Runway End Safety Area) lenght 240m. Total taxiway width is 35 m with shoulder width 17 m, while the location of exit taxiway 90 degree at STA 1+200, 1+725 AND 3+000. Wide of

Apron in 2017 is 81.287 m² and for 2036 is 187.985 m². Total flexible pavement thickness for 2036 on the critical runway area is 99,06 cm, and non critical area is 93,06 cm, on taxiway thickness of the pavement for critical area is 72,82 cm, and non critical area is 72,58 cm. on Apron thickness of the pavement for critical area is 62,81 cm, and non critical area is 63,58 cm, and for panning installation of PVD (Prefabricated Vertical Drain) with 1 m distance between each of PVD and using square configuration with the settlement period is 2,5 month reaching settlement of U 90% or settlement 2,8 m

Key Word : Airside, FAA, ICAO, KP number 29 - 2014, Runway, Taxiway, Apron, Struktur Perkerasan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di dunia yang kurang lebih sekitar 2/3 dari total luas wilayah Indonesia atau berkisar 70% (termasuk ZEE) dan untuk menempuh semua pulau maupun daerah yang berada di Indonesia dibutuhkan moda transportasi, moda transportasi dibagi menjadi 3 yaitu : moda transportasi darat, laut dan udara, akan tetapi dari ketiga transportasi yang ada para penduduk di Indonesia lebih memilih transportasi udara sebagai moda transportasi guna berpergian antar pulau maupun antar daerah yang jaraknya relatif jauh hal itu terjadi dikarenakan kelebihan- kelebihan yang dimilikinya, antara lain : tarif yang kompetitif, pelayanan, kecepatan, ketepatan, kelancaran, dan kenyamanan maupun daya jangkauan yang lebih efektif. Maka dari itu kebutuhan akan moda transportasi ini dari tahun ke tahun meningkat pesat,

hal serupa juga di alami oleh kota Semarang. Kota Semarang dengan Bandar Udara Ahmad Yani yang berada di pusat kota sejak tahun 1995, dari tahun ke tahun mengalami peningkatan jumlah pengguna moda transportasi udara, selain dikarenakan tempat kota Semarang yang strategis untuk dijadikan sebagai transit point dalam berbagai penyelenggaraan kegiatan berskala lokal, regional maupun nasional, juga karena adanya perubahan status bandara dari domestic menjadi internasional pada tahun 2004 setelah maskapai Garuda Indonesia membuka rute Semarang Singapura, dan tercatat bahwa sekitar 2.663.666 orang penumpang telah dilayani oleh bandara internasional Ahmad Yani dalam kurun waktu 2 tahun yaitu pada tahun 2012-2013. (Dinas perhubungan Komunikasi dan Informatika Kota Semarang, 2016) akibatnya Bandar Udara Internasional Ahmad Yani dikhawatirkan akan mengalami *lacking of capacity* (kekurangan kapasitas bandara) untuk beberapa tahun mendatang. Pada saat ini kapasitas Bandar Udara Internasional

Ahmad Yani pada sisi udara meliputi *runway* yang mempunyai panjang landasan 2.680 meter, sebuah *taxiway* yang menghubungkan antar *apron* dengan *runway* dan kapasitas *apron* yang hanya menampung 8 pesawat (6 *narrow body* dan 2 pesawat perintis),

maka dari itu dibutuhkan suatu pengembangan kapasitas air side guna mengatasi masalah *lacking of capacity* yang rencananya Bandar Udara Internasional Ahmad Yani yang baru dapat beroperasi tahun 2018 mendatang, hal ini mendorong penulis untuk melakukan perencanaan dalam pengembangan sisi air side Bandar Udara Internasional Ahmad Yani yang direncanakan oleh pihak bandara yaitu pada sisi utara *runway* bandara eksisting.

1.2. Persamaan Masalah

Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan permasalahan yang terjadi di bandara internasional ahmad yani saat ini adalah :

1. Berapa ukuran panjang, lebar yang dibutuhkan dalam perencanaan *Airside (apron, taxiway, dan runway)* untuk pengembangan Bandar Udara Internasional Ahmad Yani sampai dengan 20 tahun kedepan tahun 2036
2. Berapa kebutuhan struktur perkerasan yang diperlukan dalam perencanaan *Airside (apron, taxiway, dan runway)* untuk pengembangan Bandar Udara Internasional Ahmad Yani sampai dengan 20 tahun kedepan tahun 2036

1.3. Tujuan Penulisan

Studi ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui permasalahan yang ada di Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang yang ditimbulkan karna meningkatnya permintaan kebutuhan untuk setiap tahunnya

Sedangkan tujuan studi perencanaan sisi udara pengembangan Bandar Udara Internasional Ahmad Yani adalah:

1. Mengetahui kebutuhan panjang, lebar yang dibutuhkan dalam perencanaan *airside* (*apron, taxiway, dan runway*) untuk pengembangan Bandar Udara Internasional Ahmad Yani sampai dengan 20 tahun kedepan tahun 2036
2. Mengetahui kebutuhan struktur perkerasan yang diperlukan dalam perencanaan *airside* (*apron, taxiway, dan runway*) untuk pengembangan Bandar Udara Internasional Ahmad Yani sampai dengan 20 tahun kedepan tahun 2036

1.4. Batasan Masalah

Agar tidak terjadi penyimpangan pembahasan permasalahan dan topik yang diambil mengingat kompleksnya permasalahan bandara yang ada, maka penyusunan Proyek Akhir ini memakai batasan masalah meliputi :

- a. Tidak membahas mengenai Halangan Sekeliling (*Surrounding Obstruction*)
- b. Tidak membahas mengenai Analisis Angin dan arah runway
- c. Tidak menghitung struktur terminal
- d. Tidak membahas tentang RAB (Rencana Anggaran Biaya)
- e. Membahas Perbaikan Tanah.
- f. Perencanaan bandara dilakukan dengan berdasarkan pada peraturan KP no 29 tahun 2014, FAA, dan ICAO
- g. Perencanaan struktur perkerasan *runway, taxiway, dan apron* menggunakan metode FAA
- h. Membahas sistem drainase terkait

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat dari penulisan Proyek Akhir ini adalah diharapkan menjadi referensi pengembangan sisi udara terkait dengan rencana pengembangan di Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang. Dan diharapkan agar bisa dimanfaatkan untuk rencana design dari komponen-komponen sisi udara bandara yang lain.

1.6. Lokasi Studi

Daerah Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang yang baru berada di bagian utara *runway* bandara eksisting. Dan berikut adalah gambar lokasi studi :



Gambar 1.1 : Lokasi Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang
(Sumber : www.google.com)



Gambar 1. 2 : Peta Pengembangan Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang
(Sumber : www.skyscrapercity.com)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Pengembangan Bandara merupakan tindakan yang dilakukan untuk meningkatkan kuantitas/ kapasitas tampung dari bandara tersebut maupun kualitas jasa pelayanan yang ada di bandara tersebut, sehingga terciptanya kelancaran operasional penerbangan pada saat ini maupun pada masa yang akan datang. Ruang lingkup pengembangan yang dilakukan dalam Proyek Akhir ini meliputi *airside* bandara yaitu : *runway, taxiway, exit taxiway* dan juga *apron*

Metode yang digunakan dalam perencanaan pengembangan Bandara Internasional Ahmad Yani adalah berdasarkan pada Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara yaitu KP 29 tahun 2014 tentang Manual Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, serta digunakan referensi-referensi lain yang menunjang untuk penyelesaian masalah seperti ICAO, buku heru basuki, dll, akan tetapi dalam perencanaan struktur perkerasan digunakan peraturan FAA (*Federal Aviation Administration*).

Data yang diperlukan dalam perencanaan pengembangan bandara tersebut antara lain : data kontur bandara, data suhu, data arah angin, data pergerakan pesawat 10 tahun terakhir, data penumpang dan barang pertahun, dan juga data tanah pada setiap daerah yang akan direncanakan pembangunannya.

2.2. Karakteristik Pesawat Terbang

Sebelum kita merancang sebuah lapangan terbang lengkap dengan fasilitasnya, dibutuhkan pengetahuan sifat-sifat pesawat terbang secara umum untuk merencanakan prasarannya. Adapun karakteristik pesawat terbang adalah

2.2.1. Berat

Berat pesawat dan komponen-komponen berat adalah yang paling menentukan dalam menghitung panjang landas pacu dan kekuatan perkerasan. terdapat 6 macam pengertian berat pesawat yaitu :

- a. Berat Kosong Operasi (*Operating Weight Empty*), Beban utama pesawat, termasuk awak pesawat dan konfigurasi roda pesawat tetapi tidak termasuk muatan (*payload*) dan bahan bakar (*fuel*).
- b. Muatan (*Payload*), Beban pesawat yang diperbolehkan untuk diangkut oleh pesawat sesuai dengan persyaratan angkut pesawat. Beban muatan menghasilkan pendapatan (beban yang dikenai biaya). Secara teoritis beban maksimum ini merupakan perbedaan antara berat bahan bakar kosong dan berat kosong operasi.
- c. Berat Bahan Bakar Kosong (*Zero Fuel Weight = ZFW*)
Beban maksimum yang terdiri dari berat operasi kosong, beban penumpang, dan barang.
- d. Berat Ramp Maksimum (*Maximum Ramp Weight*)
Beban maksimum untuk melakukan gerakan atau berjalan dari parkir pesawat menuju landas pacu. Selama melakukan gerakan ini, maka akan terjadi pembakaran bahan bakar sehingga pesawat kehilangan berat.
- e. Berat Maksimum Lepas Landas (*Maximum Take Off Weight = MTOW*)
Beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan. Beban ini meliputi berat kosong operasi, bahan bakar dan cadangan (tidak termasuk bahan bakar yang digunakan untuk melakukan gerakan awal), dan muatan.
- f. Berat Maksimum Pendaratan (*Maximum Landing Weight = MLW*)
Beban maksimum pada saat roda pesawat menyentuh perkerasan landas pacu sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

Tabel 2.1 : Karakteristik Pesawat Komersil

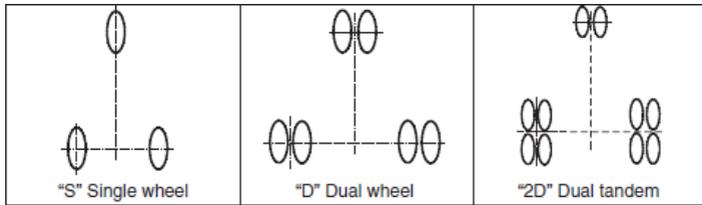
JENIS PESAWAT	REF CODE	KARAKTERISTIK PESAWAT UDARA						TP (Kpa) TP (Kpa)
		ARFL (m) ARFL (m)	WINGSPAN (m) Lebar sayap (m)	OMGWS (m) OMGWS (m)	Length (m) Panjang (m)	MTOW (kg) MTOW (kg)		
Airbus A319	3C		34.1		33.84	64000	1070	
Airbus A320	3C		34.2		37.57	73500	1140	
CESSNA CAR-206	1A	274	10.9	2.6	8.6	1639		
DASH 6	1B	695	19.8	4.1	15.8	5670	220	
CN-235-300	1C	633	25.81	7.0	21.40	16500		
DASH 7	1C	689	28.4	7.8	24.6	19505	626	
C 208								
H 900 XP								
CASSA 212-300	2B	866	20.3	3.6	16.1	8100		
Dornier 328-100	2B	1088	21		21.3	13.988		
Dornier 328-300								
ATR 42-500	2C	1165	24.57	4.10	22.67	18600	790	
DASH 8 (300)	2C	1122	27.4	8.5	25.7	18642	805	
MA 60	2C	1100	29.2		24.71	21800		
Challenger 605	3B	1780	19.61		20.85	21900		
Snort 330-200	3B	1310	22.76		17.69	10387		
ATR 72-500	3C	1290	27.05	4.10	27.16	22500		
ATR 72-600								
Bombardier Global Express	3C	1774	28.7	4.9	30.3	42410	1150	
CN-235-100	3C		25.81		21.40	16500		
Embraer EMB 120	3C	1420	19.8	7.3	20	11500	828	
Fokker F100	3C	1695	28.1	5.0	35.5	44450	920	
Fokker F27-500	3C	1670	29.0	7.9	25.1	20412	540	
Fokker F28-4000	3C	1640	25.1	5.8	29.6	32205	779	
Fokker F50	3C	1760	29.0	8.0	25.2	20820	552	
McDonnell Douglas DC-3	3C	1204	28.8	5.8	19.6	14100	358	
McDonnell Douglas DC9-20	3C	1551	28.5	6.0	31.8	45360	972	
RJ-200	3C	1600	26.34	4.72	30.99	44226		
SAAB SF-340	3C	1220	21.4	7.5	19.7	12371	655	
Airbus A300 B2	3D	1676	44.8	10.9	53.6	142000	1241	
ATP	3D	1540	30.6	9.3	26	22930	720	

C 130 H (Hercules)	3D	1783	40.4	4.3	29.8	70300	95
EMB 145 LR	4B	2269	20	4.1	29.87	22000	999.74
Airbus A320-200	4C	2058	33.9	8.7	37.6	72000	1360
Boeing B717-200	4C	2130	28.4	6.0	37.8	51710	1048
Boeing B737-200	4C	2295	28.4	6.4	30.6	52390	1145
Boeing B737-300	4C	2749	28.9	6.4	30.5	61230	1344
Boeing B737-400	4C	2499	28.9	6.4	36.5	63083	1400
Boeing B737-500	4C	2470	28.9	5.2	31	60560	
Boeing B737-600	4C	1750	34.3	5.72	31.2	65090	
Boeing B737-700	4C	1600	34.3	5.72	33.6	70143	
Boeing B737-800	4C	2256	35.8	6.4	39.5	70535	1470
Boeing B737-900	4C	2240	34.3	7	42.1	66000	1470
Bombardier CRJ 1000 NextGen	4C	1996	26.2	-	29.1	40824	1060
Bombardier CRJ 1000 NextGen EL	4C	1882	26.2	-	29.1	38995	1060
Bombardier CRJ 1000 NextGen ER	4C	2079	26.2	-	29.1	42640	1060
ATR 72-600							
Bombardier Global Express	3C	1774	28.7	4.9	30.3	42410	1150
CN-235-100	3C		25.81		21.40	16500	
Embraer EMB 120	3C	1420	19.8	7.3	20	11500	828
Fokker F100	3C	1695	28.1	5.0	35.5	44450	920
Fokker F27-500	3C	1670	29.0	7.9	25.1	20412	540
Fokker F28-4000	3C	1640	25.1	5.8	29.6	32205	779
Fokker F50	3C	1760	29.0	8.0	25.2	20820	552
McDonnell Douglas DC-3	3C	1204	28.8	5.8	19.6	14100	358
McDonnell Douglas DC9-20	3C	1551	28.5	6.0	31.8	45360	972
RJ-200	3C	1600	26.34	4.72	30.99	44226	
SAAB SF-340	3C	1220	21.4	7.5	19.7	12371	655
Airbus A300 B2	3D	1676	44.8	10.9	53.6	142000	1241
ATP	3D	1540	30.6	9.3	26	22930	720
Boeing B757-200	4D	2057	38.0	8.7	47.3	108860	1172
Boeing B767-200ER	4D	2499	47.6	10.8	48.5	156500	1310
Boeing B767-300ER	4D	2743	47.6	10.8	54.9	172365	1310
Boeing B767-400ER	4D	3130	51.9	10.8	61.9	204120	1262
Lockheed L1011-100/200	4D	2469	47.3	12.8	54.2	211378	1207

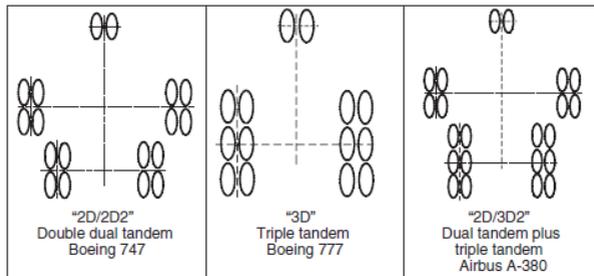
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

2.2.2. Susunan Landing Gear

Susunan landing gear berpengaruh dalam menentukan ketebalan aspal. *The Equivalent Single Wheel Load (ESWL) concept* adalah konsep yang bertujuan dimana single wheel load dianggap setara atau sama nilainya dengan multiple wheel load.



Gambar 2. 1 : Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Tradisional/Simpel
(Sumber : Horonjeff, 2010)



Gambar 2. 2 : Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Komplek/Rumit
(Sumber : Horonjeff, 2010)

2.3. Peramalan Pertumbuhan Lalu Lintas Udara Metode Regresi Linear Sederhana

Teknik ini digunakan untuk pola permintaan yang menunjukkan suatu hubungan linear historis dengan perubahan waktu. Hubungan yang mendasarinya mungkin diamati konstan atau berubah dalam pola teratur, musiman atau siklus. Model ini biasa dinamai dengan metode “Regresi Linear Sederhana” atau sering disingkat dengan SLR (*Simple Linear Regression*).

Berikut ini merupakan Model Persamaan Regresi Linear Sederhana :

$$Y = a + bX \dots\dots\dots \text{Pers 1}$$

Dimana :

Y = Variabel response atau variabel akibat (*Dependent*)

X = Variabel predictor atau variabel faktor penyebab
(*Independent*)

a = Konstanta

b = Koefisien regresi (kemiringan); besaran *response* yang ditimbulkan oleh *predictor*

Nilai a dan b didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$a = \frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \quad \text{.....Pers 2}$$

$$b = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \quad \text{.....Pers 3}$$

2.4. Perhitungan Peak Hour Rencana

Perhitungan peramalan pertumbuhan data historis volume lalu lintas udara dalam bentuk tahunan, menghasilkan olahan data berupa jumlah pergerakan pesawat dan penumpang terbanyak yang dihasilkan dari volume per jam disebut dengan volume pada jam puncak. Konversi data volume tahunan menjadi volume pada jam puncak dapat dilakukan dengan beberapa tahap tertentu sesuai dengan jenis data yang dimiliki sebagai berikut :

- a. Persentase volume pergerakan bulanan maksimum tiap tahun terhadap volume pergerakan tahunan dengan mengambil persentase bulanan sebesar 85% dari persentase kumulatif data yang ada sebagai persentase bulanan maksimum rencana.

$$\text{Avg monthly} = 0,08417 \times \text{Annual Passenger flow} \quad \text{.....Pers 4}$$

- b. Volume harian rata-rata (*average day*), dimana *peak month* di bagi dengan jumlah rata-rata dalam satu bulan (31 hari)

$$\text{Volume harian rata-rata} = 0,03226 \times \text{Avg monthly} \quad \text{.....Pers 5}$$

- c. Volume harian maksimum (*peak day movement*) yang merupakan besarnya volume pergerakan terbanyak dalam (satu) hari tertentu.

Volume harian maksimum = $1,26 \times \text{average day}$ Pers 6

- d. Volume pada jam puncak (*peak hour*) yang merupakan pergerakan terbanyak pada jam tertentu dalam 1 jam dimana *peak hour* ini memiliki nilai pergerakan sebesar 12% - 15% dari *peak day*.

Volume jam puncak = $0,0917 \times \text{peak daily flow}$ Pers 7

(Sumber : Ashford, 1989)

2.5. Bagian/Fasilitas *Air Side* Lapangan Terbang

2.5.1. Landas Pacu (*Runway*)

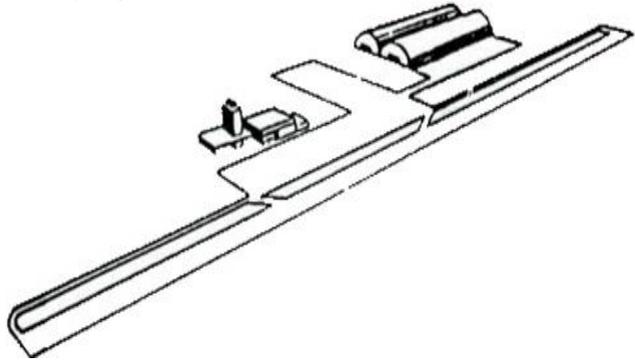
Runway adalah bagian dari lapangan terbang dimana dataran berbentuk persegi panjang dan diperkeras untuk keperluan *landing* dan *take off*. Jumlah *runway* sangat bergantung pada volume lalu lintas, dan orientasi *runway* yang tergantung pada arah angin dominan. *Runway* juga sangat dipengaruhi oleh penghubungnya yaitu *taxiway* dan *exit taxiway*.

2.5.1.1. Konfigurasi Landas Pacu (*Runway*)

Terdapat berbagai macam tipe konfigurasi yang sudah digunakan / dipakai pada bandara- bandara yang ada di dunia, akan tetapi pada dasarnya tipe-tipe konfigurasi yang digunakan mengacu pada beberapa bentuk konfigurasi dasar, yaitu :

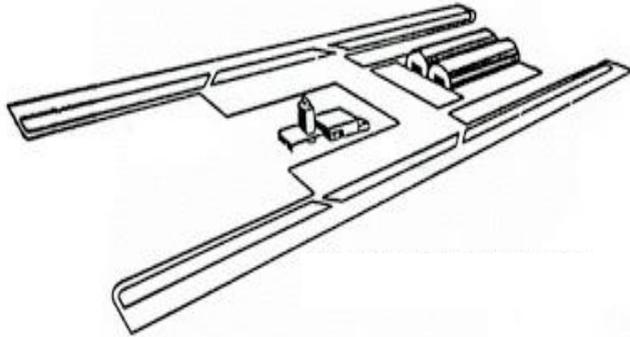
- a. Landasan Pacu Tunggal merupakan konfigurasi yang paling sederhana seperti terlihat pada gambar 2.3. telah diduga bahwa kapasitas landasan pacu tunggal dalam kondisi VFR adalah berkisar diantara 50 sampai 100 operasi perjam, sedangkan dalam konfisi IFR, kapasitas ini berkurang menjadi 50 sampai 70 operasi, tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang dan alat-alat

bantu navigasi yang tersedia. VFR (*Visual Flight Rules*) merupakan kondisi dimana penerbang dengan keadaan cuaca yang sedemikian rupa sehingga pesawat terbang dapat mempertahankan jarak pisah yang aman dengan cara-cara visual, sedangkan kondisi IFR (*Instrument Flight Rules*) merupakan kondisi dimana penerbangan memiliki jarak penglihatan atau batas penglihatan berada dibawah yang ditentukan oleh VFR.



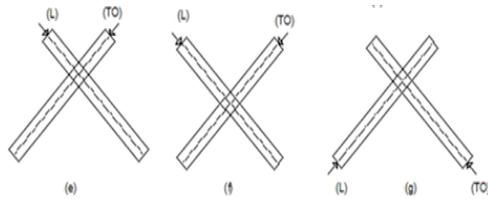
Gambar 2. 3 : Konfigurasi Landas Pacu Tunggal
(Sumber : www.google.com)

- b. Landasan Pacu Sejajar, kapasitas sistem ini sangat tergantung pada jumlah landasan pacu dan jarak diantaranya. Jarak diantara landasan –landasan pacu sangat bervariasi dan dibagi menjadi 3 jarak yaitu : rapat, menengah, dan renggang, Dalam kondisi IFR kapasitas perjam landasana pacu sejajar berjarak rapat berkisar antara 50 sampai 60 operasi perjam tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang, untuk berjarak menengah berkisar antara 60 sampai 75 operasi perjam dan ntuk berjarak renggang antara 100 sampai 125 operasi perjam.



Gambar 2.4 : Konfigurasi Landas Pacu Sejajar
(Sumber : www.google.com)

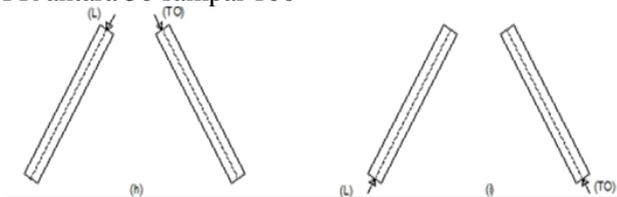
- c. Landasan Pacu Bersilang/ Berpotongan merupakan bandara yang mempunyai dua atau lebih landas pacu yang arahnya berbeda dan saling berpotongan. Landasan ini diperlukan/ dibuat apabila terdapat angin yang relatif kuat yang bertiup lebih dari satu arah, yang mengakibatkan angin sisi (*cross-wind*) yang berlebihan apabila hanya satu landasan pacu yang disediakan. Kapasitas dua landasan pacu ini sangat tergantung pada letak perpotongan dan pada cara pengopreasian landasan pacu yang disebut strategi lepas landas atau mendarat. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 2.5e sampai dengan Gambar 2.5g, untuk konfigurasi pada Gambar 2.5e kapasitas per jam adalah dari 60 sampai 70 operasi dalam kondisi IFR dan dari 70 sampai 175 operasi dalam kondisi VFR, yang tergantung pada campuran pesawat, untuk konfigurasi pada Gambar 2.5f kapasitas per jam dalam kondisi IFR adalah dari 45 sampai 60 dan dalam kondisi VFR dari 60 sampai 100, dan untuk konfigurasi pada Gambar 2.5g kapasitas per jam dalam kondisi IFR adalah dari 40 sampai 60 dan dalam kondisi VFR adalah dari 50 sampai 100.



Gambar 2. 5 : Konfigurasi Landas Pacu Bersilang/Berpotongan

(Sumber : www.google.com)

- d. Landasan Pacu V-Terbuka merupakan landasan yang arahnya memencar (*divergen*) tetapi tidak berpotongan, seperti halnya landasan pacu yang berpotongan, landasan pacu V-terbuka akan berubah seolah-olah sebagai landasan pacu tunggal apabila angin bertiup kuat dari satu arah, apabila tiupan angin lemah, kedua landasan pacu dapat digunakan bersamaan. Kapasitas dari landasan pacu ini juga tergantung atas strategi lepas landas atau mendarat yang dipilih seperti pada Gambar 2.6h dan i, untuk konfigurasi pada Gambar 2.6h kapasitas per jam dalam kondisi IFR berkisar antara 50 sampai 80 operasi tergantung pada campuran pesawat terbang dan kondisi VFR antara 60 sampai 180, untuk konfigurasi pada Gambar 2.6i kapasitas per jam dalam kondisi IFR berkisar antara 50 sampai 60 operasi tergantung pada campuran pesawat terbang dan kondisi VFR antara 50 sampai 100



Gambar 2. 6 : Konfigurasi Landas Pacu V-Terbuka

(Sumber : www.google.com)

2.5.1.2. Perhitungan Panjang Landas Pacu (*Runway*) Akibat Pengaruh Kondisi Eksisting Lapangan Terbang

Kondisi eksisting dari lapangan terbang dapat mempengaruhi panjang landas pacu, berdasarkan ICAO perhitungan panjang *runway* harus mengikuti suatu standart *Aeroplance Reference Field Length* (ARFL) yaitu *runway* minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas pada *maximum take off weight*, elevasi muka air laut, kondisi atmosfer standart, keadaan tanpa angin bertiup, *runway* tanpa kemiringan (kemiringan = 0). Setiap pesawat mempunyai ARFL lain-lain dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya.

2.5.1.3. Koreksi Terhadap Temperatur Lapangan Terbang

Pada temperatur yang lebih tinggi dibutuhkan landasan yang lebih panjang, sebab temperatur tinggi density udara rendah, menghasilkan output daya dorong yang rendah. Sebagai standart temeoratur dipilih temperatur diatas muka laut sebesar $59^{\circ} \text{F} = 15^{\circ} \text{C}$. Menurut ICAO panjang landasan harus terkoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C atau 0,56% setiap 1°F , sedangkan untuk setiap kenaikan 1000 m dari muka laut rata-rata temperatur turun $6,5^{\circ} \text{C}$ atau setiap naik 1000 feet temperatur berkurang $3,566^{\circ} \text{F}$ dengan dasar ini ICAO merekomendir hitungan koreksi temperatur Ft (faktor koreksi temperatur).

Metric

$$F_t = 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065 h)) \dots\dots\dots \text{Pers 8}$$

Imperial

$$F_t = 1 + 0,0056 (T - (59 - 0,0036 h)) \dots\dots\dots \text{Pers 9}$$

Dimana :

Ft = Faktor Terkoreksi.

T = Temperatur di lapangan terbang.

2.5.1.4. Koreksi Terhadap Ketinggian Lapangan Terbang

Kembali rekomendasi ICAO, bahwa ARFL bertambah sebesar 7% setiap kenaikan 300 m (1000 ft) dihitung dari ketinggian muka laut. Maka persamaannya adalah F_e (faktor koreksi elevasi)

$$F_e = 1 + 0,07 \frac{h}{300} \text{ Metric.} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 10}$$

$$F_e = 1 + 0,07 \frac{h}{1000} \text{ Imperial.} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 11}$$

Dimana :

F_t = Faktor Terkoreksi.

T = Temperatur di lapangan terbang.

2.5.1.5. Koreksi Terhadap Kemiringan Landasan (*Runway Gradient*)

Kembali rekomendasi ICAO, bahwa ARFL bertambah sebesar 7% setiap kenaikan 300 m (1000 ft) dihitung dari ketinggian muka laut. Maka persamaannya adalah F_e (faktor koreksi elevasi)

$$F_s = 1 + 0,1 S \text{ Metric atau Imperial} \quad \dots\dots \text{Pers 12}$$

Dimana :

S = Kemiringan

2.5.1.6. Perencanaan Panjang Landas Pacu (*Runway*) Terkoreksi

Setelah dilakukan faktor koreksi terhadap temperatur, ketinggian, dan kemiringan lapangan terbang maka hasil dari koreksi tersebut dilalukan perhitungan dari data pesawat rencana untuk mencari panjang *runway* setelah dikoreksi, yaitu :

$$\text{ARFL} = \frac{L_{r_0}}{F_e \times F_t \times F_s} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 13}$$

Dimana :

ARFL = *Aeroplane Reference Field Length* (untuk

- pesawat rencana)
- Lr_0 = Panjang *runway* terkoreksi
- Fe = Koreksi ketinggian
- Ft = Koreksi temperatur
- Fs = Koreksi kemiringan (*gradient efektif*)

2.5.1.7. Perencanaan Lebar *Runway*

Lebar *runway* didapat dari *code letter* yang terdapat pada KP no 29 tahun 2014 yang dimana *code letter* ini merupakan standart yang telah diadopsi dari peraturan ICAO, dalam penggunaan sistem kode ini dikenal sebagai Kode Referensi Bandara (*Aerodrome Reference Code*), untuk menetapkan standar untuk masing-masing fasilitas bandara yang cocok untuk digunakan oleh pesawat terbang dalam suatu rentang kinerja atau ukuran. Kodanya tersusun dari dua elemen: elemen 1 adalah kode nomor yang berkaitan dengan referensi panjang landas pacu untuk digunakan pesawat udara; dan elemen 2 adalah kode huruf yang berkaitan dengan lebar sayap (*wingspan*) dan jarak antara roda-roda utama terluar (*outer main gear wheel span*). Suatu spesifikasi berhubungan dengan mana yang lebih sesuai dari kedua elemen kode atau kombinasi yang sesuai dari kedua elemen kode. Kode huruf atau nomor dalam suatu elemen yang digunakan untuk tujuan perancangan berhubungan dengan karakteristik pesawat udara kritis yang untuk siapa fasilitas tersebut disediakan.

Tabel 2. 2 : Kode Referensi Aerodrome

Kode Referensi Aerodrome				
Kode elemen 1		Kode elemen 2		
Kode Nomor	Referensi Panjang Landas Pacu untuk digunakan Pesawat Udara	Kode Huruf	Lebar Sayap	Lebar jarak antara roda-roda utama Terluar
1	Kurang dari 800 m	A	Sampai dan kurang dari 15 m	Sampai dan kurang dari 4,5 m
2	800 m dan kurang dari 1.200 m	B	Sampai 15 m dan kurang dari 24 m	Sampai 4,5 m dan kurang dari 6 m

3	1.200 m dan kurang dari 1.800 m	C	24 m dan kurang dari 36 m	6 m dan kurang dari 9 m
4	1.800 m dan lebih	D	36 m dan kurang dari 52m	9 m dan kurang dari 14m
		E	52 m dan kurang dari 65 m	9 m dan kurang dari 14 m
		F	65 m dan kurang dari 80 m	14 m dan kurang dari 16 m

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

Dan dengan melihat pada kode referensi pesawat rencana maka lebar dari sebuah *runway* harus tidak kurang dari yang telah ditentukan dalam Tabel 2.3

Tabel 2. 3 : Lebar Minimum *Runway*

Code number	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
1 ^a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m
<p>Catatan:</p> <p>^a Jika sebuah Code Number precision approach runway adalah 1 atau 2, maka lebar landas pacu (<i>runway</i>) tidak boleh kurang dari 30 m.</p>						

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

2.5.1.8. Perencanaan Kemiringan *Runway*

Kemiringan *runway* dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Kemiringan Memanjang *Runway* (*Longitudinal Slopes*)
- b. Kemiringan Melintang *Runway* (*Transverse Slopes*)

Berikut ini akan dijelaskan ketentuan-ketentuan untuk menghitung kemiringan memanjang maupun melintang *runway* berdasarkan KP no 29 tahun 2014.

a. Kemiringan Memanjang *Runway* (*Longitudinal Slope*)

Kemiringan memanjang *runway* secara keseluruhan, ditentukan dengan cara membagi selisih antara elevasi maksimum dan minimum disepanjang garis tengah *runway* dengan panjang *runway*, hasilnya harus tidak lebih dari :

- a. 1% jika *code number runway* adalah 3 atau 4; atau
- b. 2% jika *code number runway* adalah 1 atau 2.

Kemiringan memanjang (*longitudinal slope*) di sepanjang bagian-bagian dari *runway* tidak boleh lebih dari :

- a. 1,25% jika *code number runway* adalah 4; atau
- b. 1,5% jika *code number runway* adalah 3; atau
- c. 2% jika *code number runway* adalah 1 atau 2.
- d. Jika *code number runway* adalah 4 kemiringan memanjang di sepanjang seperempat bagian pertama dan terakhir dari *runway* tidak boleh lebih dari 0,8%

Dalam sebuah kemiringan (*slope*) yang seragam paling sedikit sepanjang 300 m harus disediakan di masing-masing ujung *runway*, dan untuk bandara yang dioperasikan untuk pesawat jet ukuran besar (4D, 4E, 4F), jarak ini harus ditingkatkan paling sedikit menjadi 600 m

a.1. Perubahan Kemiringan Memanjang (*Longitudinal Slope*)

Jika *code number* untuk *runway* adalah 3 dan merupakan pendekatan presisi (*precision approach*) pada *runway* kategori II atau kategori III, kemiringan memanjang (*logitudinal slope*) di sepanjang seperempat

bagian pertama dan terakhir dari *runway* tidak boleh lebih dari 0,8% , dan pada pasal 6.2.7.2 dikatakan bahwa jika perubahan kemiringan tidak dapat dihindari, maka perubahan kemiringan memanjang antara dua bagian yang berdekatan dari *runway* harus tidak lebih dari :

- a. Jika *code number runway* adalah 3 atau 5 - 1,5%; atau
- b. Jika *code number runway* adalah 1 atau 2 -2%

Transisi dari satu kemiringan memanjang (*longitudinal slope*) ke kemiringan memanjang (*longitudinal slope*) lainnya harus bisa dicapai dengan jalur vertikal, dengan tingkat perubahan tidak lebih dari :

- a. Jika *code number runway* adalah 4 - 0,1% untuk setiap 30 m (radius lengkungan minimum sebesar 30.000 m); atau
- b. Jika *code number runway* adalah 3 - 0,2% untuk setiap 30 m (radius lengkungan minimum sebesar 15.000 m); atau
- c. Jika *code number runway* adalah 1 atau 2 - 0,4% untuk setiap 30 m (radius lengkungan minimum sebesar 7500 m)

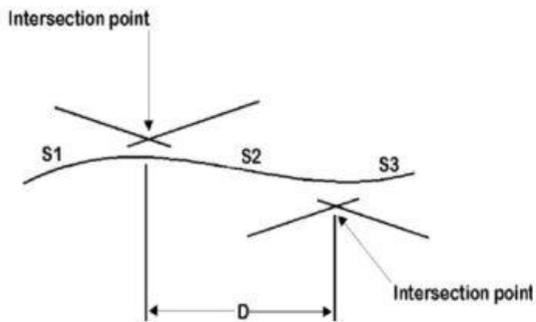
Dan jarak antara titik potong dari perubahan dua kemiringan memanjang (*longitudinal slope*) yang berurutan tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari berikut ini :

- a. 45 m; atau
- b. Jarak diukur dalam meter, dihitung menggunakan persamaan :

$$D = k (|S1 - S2| + |S2 - S3|)/100 \quad \text{Pers 14}$$

Dimana “k” adalah :

- Jika *code number* untuk *runway* adalah 4 – 30.000 m; atau
- Jika *code number* untuk *runway* adalah 3 – 15.000 m; atau
- Jika *code number* untuk *runway* adalah 1 atau 2 – 5000 m; dan ‘S1’, ‘S2’ dan ‘S3’ adalah tiga buah kemiringan berurutan yang diekspresikan dalam nilai persentase.



Gambar 2.7 : Titik
Persimpangan/Intersection Point
(Sumber KP no 29 Tahun 2014)

- Kemiringan Melintang Runway (Transverse Slope)*
Kemiringan melintang dari *runway* harus memadai untuk mencegah genangan air dan harus sesuai dengan yang terdapat pada Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 : Kemiringan Melintang *Runway*

	Code letter	
	A atau B	C, D, E atau F
Kemiringan (<i>slope</i>) maksimum	2.5 %	2.0 %
Kemiringan (<i>slope</i>) yang lebih disukai	2.0 %	1.5 %

Kemiringan (<i>slope</i>) minimum	1.5 %	1.0 %
Catatan: Standar ini mungkin saja tidak dapat diterapkan pada persimpangan-persimpangan dimana standar mengalami variasi karena tuntutan desain		

(Sumber KP no 29 Tahun 2014)

2.5.1.9. Perencanaan *Declared Distance*

Panjang *runway* yang diperhitungkan berdasarkan pada Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara yaitu KP 29 tahun 2014 tentang Manual Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, harus cukup untuk memenuhi persyaratan operasional pesawat udara yang direncanakan. Jarak operasional tersebut merupakan jarak yang diberitahukan kepada penerbangan untuk tujuan *take-off*, landing atau pembatalan *take-off* dengan aman yang disebut juga sebagai *Declared Distances*. Jarak ini digunakan untuk menentukan apakah *runway* cukup untuk *take-off* atau *landing* seperti yang diinginkan atau untuk menentukan beban maksimum yang diijinkan untuk *landing* atau *take-off*.

Declared distance terdiri dari beberapa jarak yang disajikan dalam satuan meter dan harus ditentukan untuk masing-masing arah *runway*, yaitu :

- a. *Take-off run available* (TORA), Didefinisikan sebagai panjang *runway* tersedia bagi pesawat udara untuk meluncur di permukaan pada saat *take off*. Pada umumnya ini adalah panjang keseluruhan dari *runway*; tidak termasuk SWY (*Stop Way*) atau CWY (*Clear Way*)

TORA = Panjang RWY (*Runway*) ..Pers 15

- b. *Take-off distance available* (TODA), Didefinisikan sebagai jarak yang tersedia bagi pesawat udara untuk menyelesaikan *ground run*, *lift off* dan *initial climb* hingga 35 ft. Pada umumnya ini adalah panjang keseluruhan *runway* ditambah panjang CWY. Jika tidak

ada CWY yang ditentukan, bagian dari *runway strip* antara ujung *runway* dan ujung *runway strip* dimasukkan sebagai bagian dari TODA. Setiap TODA harus disertai dengan *gradient take off* bebas hambatan (*obstacle clear take-off gradient*) yang dinyatakan dalam persen.

$$\text{TODA} = \text{TORA} + \text{CWY} \quad \dots\dots\text{Pers 16}$$

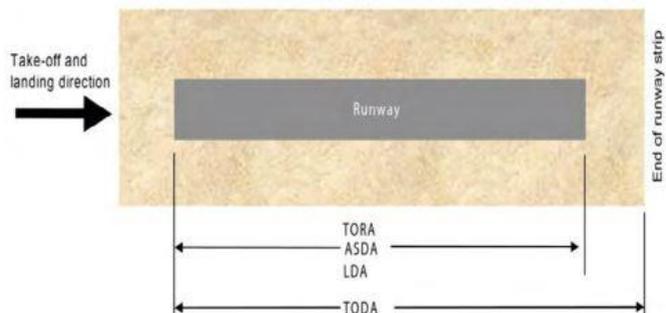
- c. *Accelerate-stop distance available* (ASDA), Didefinisikan sebagai panjang jarak meluncur *take off* yang tersedia (*length of the take-off run available*) ditambah panjang SWY. CWY tidak termasuk didalamnya.

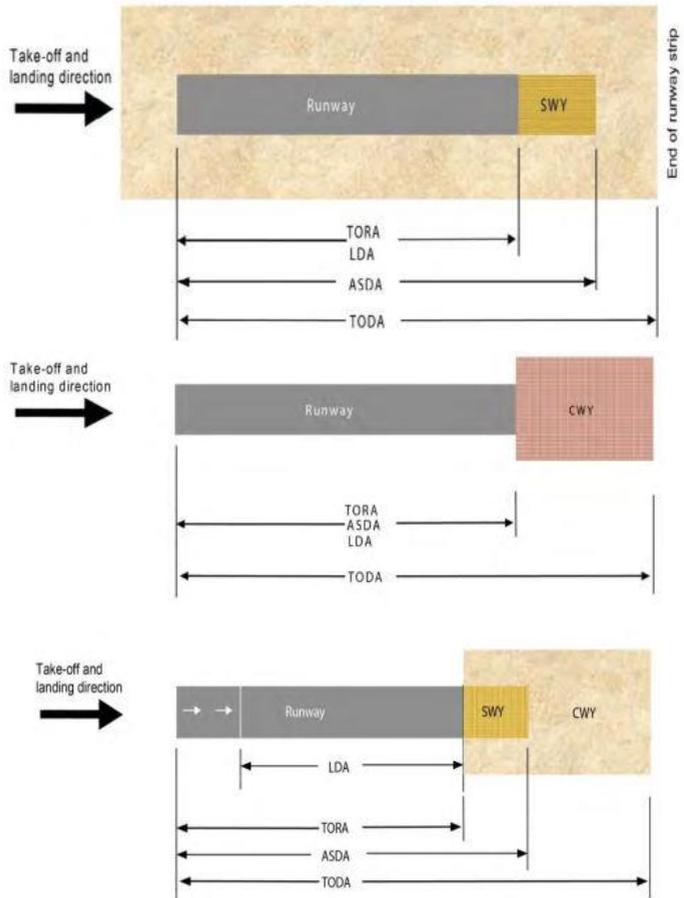
$$\text{ASDA} = \text{TORA} + \text{SWY} \quad \dots\dots\text{Pers 17}$$

- d. *Landing distance available* (LDA), Didefinisikan sebagai panjang dari *runway* yang tersedia untuk meluncur pada saat pendaratan pesawat udara. LDA dimulai dari *runway threshold*. Baik SWY maupun CWY tidak termasuk didalamnya.

$$\text{LDA} = \text{Panjang RW} \quad \dots\dots\dots\text{Pers 18}$$

(jika *threshold* tidak digantikan)





Gambar 2. 8 : Declared Distance
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

2.5.1.10. Perencanaan Elemen Dasar *Runway*

Selain merencanakan panjang dan lebar *runway* tentu terdapat beberapa elemen dasar dari *runway* yang harus di desain agar dalam operasional nantinya tidak terdapat suatu kesalahan

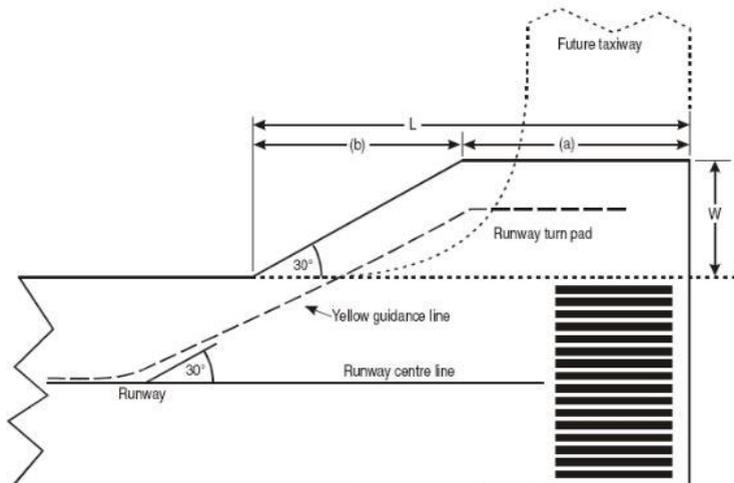
fatal yang dapat mengakibatkan kecelakaan, berikut adalah elemen dasar *runway* antara lain :

- a. *Runway Turn Pad*
- b. *Bahu Runway*
- c. *Runway Strip*
- d. *Runway End Safety Area (RESA)*
- e. *Clearway*
- f. *Stopway*

Berikut ini akan di bahas secara mendetail tentang syarat-syarat berdasarkan pada KP no 29 tahun 2014.

a. *Runway Turn Pad*

Adalah sebuah daerah pada *aerodrome* yang terletak disamping *runway* yang ditujukan sebagai tempat pesawat udara melakukan putaran 180 derajat pada sebuah *runway*.



Gambar 2. 9 : Tata Letak Umum Turn Pad
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

Pada pasal 6.2.4.2 pada KP no 29 Tahun 2014 dikatakan bahwa sudut perpotongan dari turn pad dan *runway* tidak boleh lebih dari 30° , lebar keleuruhan turn pad dan *runway* harus sedemikian rupa sehingga sudut roda depan pengendali (*nose wheel steering*) pesawat udara yang akan berputar diturn pad tidak akan melebihi 45° , saat kokpit pesawat udara berada diatas marka turn pad jarak clearance tepian roda ke perkerasaan (*the wheel-to-pavement edge clearance*) tidak boleh kurang dari yang telah disebutkan dalam annex 14, vol I, dan pada pasal 6.2.4.3 dikatankan bahwa jika sebuah trun pad tersedia di sembarang titik pada sebuah *runway*, lebar dari turn pad itu harus sedemikian rupa sehingga clearance diantara roda gigi utama terluar (*outer main gear wheels*) dari pesawat udara yang menggunakan *runway* dengan tepi dari turn pad, pada titik itu, tidak kurang dari jarak yang ditentukan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 : Clearance Minimum *Runway*

Code Letter	Minimum Clearance
A	1.5 m
B	2.25 m
C	4.5 *m
D, E or F	4.5 m
* Jika <i>turn pad</i> atau kurva itu hanya dipergunakan untuk melayani pesawat udara dengan jarak antara roda depan dan roda belakang (<i>wheelbase</i>) kurang dari 18 m, <i>clearance</i> minimumnya sebesar 3,0 m.	
Catatan : Titik berputar secara normal harus terletak di sisi kiri <i>runway</i> kecuali apabila <i>runway</i> digunakan oleh pesawat udara pada sirkuit sisi kanan (<i>right hand circuits</i>).	

Tabel 6.2-2: *Clearance* minimum antara *outer main gear wheels* dan sisi dari *turn pad* pada *runway* dimana terjadi kondisi cuaca yang sangat buruk dan mengakibatkan penurunan karakteristik perlindungan friksi terhadap permukaan, harus tersedia jarak roda-ke-sisi (*wheel-to-edge clearance*) yang lebih besar yaitu sebesar 6 m, apabila Code Letter E atau F.

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

Kemiringan memanjang maupun melintang sebuah turn pad *runway* harus cukup untuk mencegah adanya akumulasi

air di permukaan dan untuk mempercepat aliran pembuangan air dari permukaan, dan minimal kemiringan tersebut harus sama seperti dengan permukaan perkerasan *runway* disebelahnya.

b. Bahu *Runway*

Karakteristik bahu *runway* harus memenuhi kriteria dibawah ini yaitu :

- Memiliki lebar yang sama dikedua sisi
- Miring ke arah bawah dan menjauh dari permukaan *runway*
- Tahan terhadap erosi semburan mesin pesawat udara
- Harus dibangun sedemikian rupa hingga mampu menyediakan dukungan bagi pesawat udara yang melaju diatas *runway*, tanpa mengakibatkan kerusakan struktural pada pesawat udara; dan
- Mendatar/ rata dengan permukaan *runway* kecuali selama pengerjaan pelapisan *runway* yang mengizinkan penurunan permukaan tidak lebih dari 50 mm

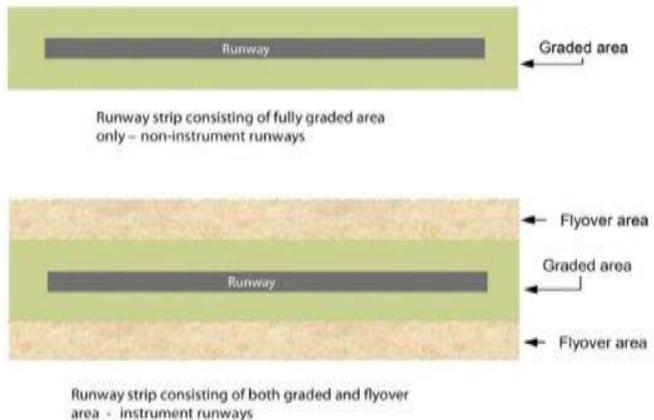
Untuk ukuran bahu *runway* sendiri berdasarkan KP no 29 tahun 2014 bergantung pada *code letter* yang didapat dari pesawat rencana dan dikatakan pada pasal 6.2.12.1-6.2.12.3 bahwa jika *runway* memiliki *code letter* F, maka bahu harus disediakan dan jumlah lebar *runway* dan bahu tersebut tidak kurang dari 75 m. Jika sebuah *runway* memiliki *code letter* D atau F, bahu harus disediakan dan jumlah lebar *runway* dan bahu tersebut tidak boleh kurang dari 60 m. Jika sebuah *runway* memiliki lebar 30 m dan digunakan untuk pesawat udara bertempat duduk penumpang 100 orang atau lebih, bahu harus disediakan dan jumlah lebar *runway* dan bahu tersebut tidak boleh kurang dari 36 m. Dan untuk kemiringan

pada bahu dijelaskan pada pasal 6.2.12.5 bahwa kemiringan melintang tidak boleh lebih dari 2,5%.

c. *Runway Strip*

Merupakan daerah/ area tambahan *runway* dan *stopway* yang pada dasarnya harus terdiri dari :

- a. Area di sekitar *runway* atau *stopway* – jika *runway* adalah *runway non-instrument*; atau
- b. Graded area di sekitar *runway* dan *stopway* dan sebuah daerah, yang dikenal dengan nama “daerah *fly over*”, disisi luar *graded area* – jika *runway* adalah *runway instrumen*. Secara teknis, ‘daerah *fly over*’ adalah komponen dari keseluruhan lebar *runway strip* yang merupakan daerah *ungraded*.



Gambar 2. 10 : Komposisi *Runway Strip*
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

- c.1. Panjang *Runway Strip*, berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.3.2 dikatakan bahwa *graded area* dari sebuah *runway* strip harus diperpanjang sampai jauh keluar ujung *runway*, atau *sropway* lain yang berkaitan, paling sedikit :

- 30 m – jika *code number runway* adalah 1 dan merupakan *runway non-instrument*; atau
- 60 m – dalam kasus lain

c.2. Lebar *Runway Strip*, berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.3.3 dikatakan bahwa *graded area* dari sebuah *runway* tidak boleh kurang dari nilai yang tercantum pada tabel 2.6 dibawah ini :

Tabel 2. 6 : Lebar *Runway Strip* yang Ditambah

Kode Referensi Aerodrome	Lebar runway strip
1 atau 2	90 m
3 (jika lebar runway 30 m)	150 m ^a
3,4 (jika lebar runway 45 m atau lebih)	300 m ^b
^a Apabila penyediaan lebar runway strip yang optimal sebesar 150 m tidak dapat dilakukan, dapat disediakan minimum lebar runway strip yang ditingkatkan (<i>graded</i>) sebesar 90 m pada runway untuk pesawat udara dengan kode 3C dan di atasnya, dengan bergantung kepada penyesuaian pendaratan minima. ^b Apabila tidak mungkin untuk menyediakan lebar runway strip keseluruhan, dapat disediakan lebar minimum 150 m strip yang ditingkatkan kondisinya (<i>graded</i>), dengan bergantung kepada penyesuaian pendaratan minima.	

(Sumber KP no 29 Tahun 2014)

Dalam kasus *runway non presisi (non precision approach runway)* lebar dari *runway strip*, termasuk daerah *fly over*, tidak boleh kurang dari nilai yang tercantum pada tabel 2.7 dibawah ini :

Tabel 2. 7 : Lebar *Runway Strip* untuk *Runway Non-Precision*

Kode Referensi Aerodrome	Lebar runway strip
1 atau 2	90 m
3 (jika lebar runway 30 m)	150 m ^a
3,4 (jika lebar runway 45 m atau lebih)	300 m ^b

<p>^a Apabila penyediaan lebar runway strip yang optimal sebesar 150 m tidak dapat dilakukan, dapat disediakan minimum lebar runway strip yang ditingkatkan (<i>graded</i>) sebesar 90 m pada runway untuk pesawat udara dengan kode 3C dan di atasnya, dengan bergantung kepada penyesuaian pendaratan minima.</p> <p>^b Apabila tidak mungkin menyediakan lebar runway strip keseluruhan, dapat disediakan lebar minimum 150 m strip yang ditingkatkan kondisinya (<i>graded</i>), dengan bergantung kepada penyesuaian pendaratan minima.</p>
--

(Sumber KP no 29 Tahun 2014)

Dan dalam kasus *runway* presisi (*precision approach runway*) lebar dari *runway strip*, termasuk daerah *fly over*, tidak boleh kurang dari nilai yang tercantum pada tabel 2.8 dibawah ini :

Tabel 2. 8 : Lebar Runway Strip untuk Runway Precision

Kode Referensi Aerodrome	Lebar keseluruhan runway
1 atau 2	150 m
3 atau 4	300 m
<p>Catatan :</p> <p>Apabila tidak mungkin menyediakan lebar runway strip secara penuh, dapat disediakan strip yang lebih kecil dengan mempertimbangkan penyesuaian pendaratan minima. Namun demikian, lebar standar dari daerah yang ditingkatkan (<i>graded</i>) harus disediakan.</p> <p>Untuk pendekatan runway presisi (<i>precision approach runways</i>) dengan kode 3 dan 4, direkomendasikan untuk dilakukan penambahan lebar pada daerah yang ditingkatkan (<i>graded</i>). Dalam kasus ini, lebar daerah yang ditingkatkan (<i>graded</i>) ini memanjang sampai sejauh 105 m dari garis tengah runway, kecuali bila lebar itu secara bertahap dikurangi (lebih dari jarak 150 m) sampai 75 m dari garis tengah runway pada kedua ujung strip itu, untuk panjang sejauh 150 m dari ujung runway seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.3-2</p>	

(Sumber KP no 29 Tahun 2014)

c.3. Kemiringan Memanjang *Graded Area Runway Strip*, berdasarkan pasal 6.3.5.1 dikatakan bahwa kemiringan memanjang disepanjang *graded area* dari *runway strip* tidak boleh lebih dari :

- 1,5% jika *code number runway* adalah 4
- 1,75% jika *code number runway* adalah 3
- 2,0% jika *code number runway* adalah 1 atau 2.

- c.4. Perubahan Kemiringan Memanjang *Graded Area Runway Strip*, berdasarkan pasal 6.3.5.2 dikatakan bahwa perubahan kemiringan harus dilakukan sebisa mungkin secara bertahap dan perubahan yang mendadak atau kemiringan yang curam harus dihindari, dan tidak boleh lebih dari 2%
- c.5. Kemiringan Melintang *Graded Area Runway*, berdasarkan pasal 6.3.6.1 dan 6.3.6.2 dikatakan bahwa kemiringan melintang *graded area runway strip* harus tidak melebihi dari :
- Jika *code number runway* adalah 2 atau 5 – 2,5% dan
 - Jika *code number runway* adalah 1 atau 2 – 3%

Kecuali, jika kemiringan melintang pada *graded area* dari *runway strip* letaknya berdampingan dengan bahu *runway*, untuk 3 m sisi luar pertama, harus negatif dan dapat menjadi sebesar 5%

d. *Runway End Safety Area (RESA)*

RESA harus disediakan dibagian akhir sebuah *runway strip*, RESA digunakan untuk melindungi pesawat udara pada saat terjadi pesawat *undershooting* atau *over running runway*.

- d.1. Dimensi RESA, Berdasarkan pada peraturan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.4.2.1-6.4.2.2 tentang dimensi RESA dikatakan bahwa panjang minimum RESA harus berukuran 90 m dimana *runway* terkait sesuai untuk pesawat udara dengan *code number* 3 atau 4 dan *code number* 1 atau 2 *runway instrument*. Sebuah RESA dapat memanjang dari akhir sebuah *runway strip* sampai ke suatu jarak yang paling sedikit :
- 240 m jika *code number* adalah 3 atau 4

- 120 m jika *code number* adalah 1 atau 2 dan *runway* adalah *runway instrument*
- 30 m jika *code number* adalah 1 atau 2 dan *runway* adalah jenis *runway non-instrument*

Dan untuk ketentuan lebar dari RESA sendiri disebutkan dalam pasal 6.4.2.3-6.4.2.4 yaitu lebar dari RESA harus tidak kurang dari dua kali lebar dari *runway* yang berhubungan, serta lebar dari RESA dapat sama ukurannya dengan lebar *graded portion* dari *runway strip* yang berhubungan.

d.2. Kemiringan pada RESA, berdasarkan pada peraturan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.4.3 dijelaskan :

- Kemiringan memanjang yang mengarah kebawah (*downward longitudinal slope*) pada sebuah RESA tidak boleh lebih dari 5%
- Kemiringan melintang (*Transverse slope*) dari sebuah RESA tidak boleh lebih dari 5% baik mengarah keatas atau kebawah

e. *Clear Way*

Sebuah *clearway*, terdiri dari area datar berbentuk persegi panjang yang bersih dari *obstacle*, yang harus disediakan dibagian akhir dari sebuah *runway* sehingga sebuah pesawat udara yang lepas landas dapat melakukan *climbing* tahap awal setinggi (10,7m) diatas tanah pada bagian akhir dari *clearway*. Di Indonesia bagian yang terletak diantara akhir *runway* dan *runway strip* diperlakukan sebagai sebuah *clearway*, *clearway* sendiri harus dimulai dibagian akhir dari *take off run available* pada *runway*

e.1. Dimensi *Clearway* , meliputi panjang dan lebar diatur dalam peraturan KP no 29 tahun 2014 pada pasal 6.5.3 yang menyatakan bahwa:

- a. Panjang *clearway* tidak boleh lebih dari setengah dari panjang *take off run* yang tersedia pada *runway*.
 - b. Lebar dari sebuah *clearway* tidak boleh kurang dari :
 - 150 m, jika *code number runway* adalah 3 / 4
 - 80 m, jika *code number runway* adalah 2
 - 60 m, jika *code number runway* adalah 1
- e.2. Kemiringan *Clearway* diatur dalam peraturan KP no 29 tahun 2014 pada pasal 6.5.4 yang menyatakan bahwa permukaan dibawah *clearway* tidak boleh mencuat keatas dengan kemiringan sebesar 1,25% terhadap bidang datar, yang merupakan batas bawah dari garis *horizontal* yang :
- Tegak lurus pada dataran *vertikal* yang merupakan garis tengah *runway*
 - Melalui suatu titik yang terletak pada garis tengah *runway* (*runway centerline*) di ujung jarak luncur *take off* yang tersedia (*take off run available*)
 - Perubahan kemiringan secara curam harus dihindari ketika kemiringan diatas tanah pada sebuah *clearway* ukurannya relatif kecil atau kemiringan rata-rata mengarah ketas. Dalam keadaan seperti itu, di dalam bagian *clearway* yang berada didalam jarak 22,5 m atau setengah dari lebar *runway* yang mana pun lebih besar pada masing-masing sisi dari perpanjangan garis tengah, maka kemiringan, perubahan kemiringan dan transisi dari *runway* ke *clearway* secara umum harus sesuai dengan kemiringan, perubahan kemiringan dan transisi yang terdapat pada *runway* yang berhubungan dengan *clearway* itu.

f. *Stopway*

Stopway dapat disediakan diujung *runway* dimana pesawat udara dapat dihentikan jika terjadi *take off* yang dibatalkan (*aborted take off*)

f.1. Dimensi *Stopway*, meliputi panjang dan lebar diatur dalam peraturan KP no 29 Tahun 2014 yang menyatakan bahwa :

- a. Setiap *stopway* yang disediakan, dan harus terletak sedemikian rupa sehingga ia berada, dan berakhir di 60 m sebelum ujung *runway strip*
- b. Lebar dari *Stopway* harus sama lebar dengan *runway* yang berdekatan dengannya

f.2. Kemiringan *Stopway* jika memungkinkan kemiringan dan perubahan kemiringan *stopway* harus sama dengan yang berlaku pada *runway* yang berkaitan dengannya, kecuali bahwa :

- Batasan kemiringan 0,8% untuk seperempat bagian pertama dan yang terakhir dari panjang sebuah *runway* tidak perlu diterapkan pada *stopway*
- Pada persimpangan antara *stopway* dan *runway* dan di sepanjang *stopway* tingkat perubahan kemiringan maksimal dapat dinaikan sampai 0,3% per 30 m (lengkungan dengan radius 10.000 m)

2.5.2. Landas Hubung (*Taxiway*)

Fungsi dasar dari *taxiway* adalah sebagai pemberi jalan penghubung antara landas pacu dengan pelataran (*apron*), kandang pesawat (*hangar*), terminal, atau fasilitas lainnya di sebuah bandara. *Taxiway* harus dirancang dengan baik sehingga pesawat yang baru saja mendarat tidak terganggu oleh pesawat yang bergerak untuk *take off*.

2.5.2.1. Perencanaan Lebar *Taxiway*

Berdasarkan peraturan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.1 menyatakan bahwa lebar dari bagian yang lurus dari sebuah *taxiway* tidak boleh kurang dari lebar yang telah ditentukan menggunakan tabel 2.9 :

Tabel 2. 9 : Lebar Minimum *Taxiway*

Code Letter	Lebar <i>Taxiway</i> Minimum (Bagian Lurus)
A	7.5 m
B	10.5 m
C	18 m ^a
D	23 m ^b
E	23 m
F	25 m

^a Jika *taxiway* hanya ditujukan untuk melayani pesawat udara dengan jarak antar roda (*wheelbase*) kurang dari 18 m, lebarnya dapat dikurangi menjadi 15 m.

^b Jika *taxiway* hanya ditujukan untuk melayani pesawat udara dengan bentangan roda utama terluar kurang dari 9 m, lebarnya dapat dikurangi menjadi 18 m.

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

2.5.2.2. Perencanaan Kemiringan *Taxiway*

Kemiringan *taxiway* dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Kemiringan Memanjang *Taxiway* (*Longitudinal Slopes*)
- b. Kemiringan Melintang *Taxiway* (*Transverse Slopes*)

Berikut ini akan dijelaskan ketentuan-ketentuan untuk menghitung kemiringan memanjang maupun melintang *runway* berdasarkan KP no 29 tahun 2014.

- a. Kemiringan Memanjang *Taxiway* (*Longitudinal Slope*)

Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.4 kemiringan memanjang sepanjang bagian *taxiway* maupun tidak boleh lebih dari :

- a. Jika kode huruf *taxiway* C, D, E, atau F – 1,5% dan
- b. Jika kode huruf *taxiway* A atau B – 3,0%

Dan jika perubahan kemiringan tidak dapat dihindari maka transisi dari satu kemiringan memanjang ke kemiringan memanjang lainnya harus dicapai melalui lengkung vertikal dengan tingkat perubahan tidak lebih dari :

- a. Jika huruf kode *taxiway* C, D, E atau F – 1,0% per 30m (radius minimum kurvatur 3.000 m) dan
 - b. Jika huruf kode *taxiway* A dan B – 1,0% per 25 m (radius minimum kurvatur 2.500 m)
- b. Kemiringan Melintang *Taxiway* (*Transverse Slope*)
Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 kemiringan melintang pada bagian *taxiway* manapun harus memadai untuk mencegah genangan air dan tidak boleh kurang dari 1,0% dan tidak lebih dari :
- a. Jika kode huruf *taxiway* C, D, E, atau F – 1,5% dan
 - b. Jika kode huruf *taxiway* A atau B – 2,0%

2.5.2.3 Perencanaan Elemen Dasar *Taxiway*

Selain merencanakan panjang dan lebar *taxiway* tentu terdapat beberapa elemen dasar dari *taxiway* yang harus di desain agar dalam operasional nantinya tidak terdapat suatu kesalahan fatal yang dapat mengakibatkan delay, maupun kecelakaan, berikut adalah elemen dasar *taxiway* antara lain :

- a. *Clearance Tepian Taxiway*
- b. *Taxiway Curve*
- c. *Fillet Taxiway*
- d. *Bahu Taxiway*
- e. *Exit taxiway*

a. Jarak Bebas (*Clearance*) Tepian *Taxiway*

Berdasarkan peraturan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.2 menyatakan bahwa lebar setiap bagian dari *taxiway* harus sedemikian rupa sehingga roda depan pesawat udara tetap berada didalam *taxiway*. *Clearance* diantara roda utama terluar dan tepi *taxiway*, di suatu titik tidak boleh kurang dari jarak yang telah ditentukan tabel 2.10

Tabel 2. 10 : Clearance Minimum Taxiway

Code Letter	Clearance minimum
A	1.5 m
B	2.25 m
C	4.5 m *
D, E or F	4.5 m
* Jika <i>turn pad</i> atau kurva hanya untuk melayani pesawat udara dengan <i>wheelbase</i> yang kurang dari 18 m, maka minimum clearance sebesar 3,0 m.	

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

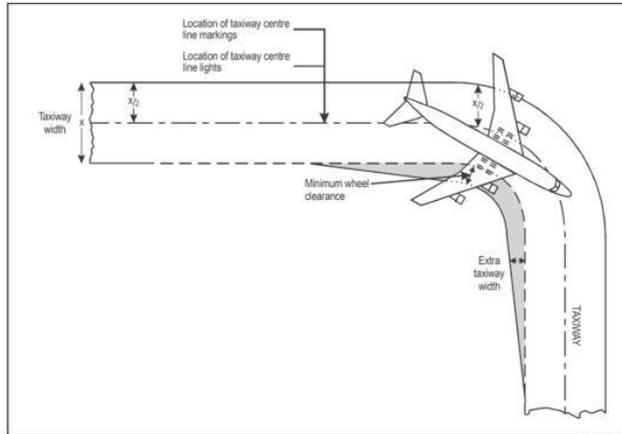
b. Kurva *Taxiway* (*Taxiway Curve*)

Setiap perubahan arah dari *taxiway* harus dapat dibentuk dari sebuah kurva dengan radius minimum, yang ditentukan oleh desain kecepatan *taxiway*, tidak boleh kurang dari yang telah ditentukan menggunakan Tabel 2.11

Tabel 2. 11 : Radius Kurva Taxiway

Desain Kecepatan Taxiway	Radius Kurva
20 km/h	24 m
30 km/h	54 m
40 km/h	96 m
50 km/h	150 m
60 km/h	216 m
70 km/h	294 m
80 km/h	384 m
90 km/h	486 m
100 km/h	600 m

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)



Gambar 2. 11 : Kurva *Taxiway* (*Taxiway Curves*)
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

c. Perpotongan *Taxiway* (*Fillet Taxiway*)

Fillet merupakan fasilitas pergerakan pesawat udara, yang berada pada persimpangan dan sambungan antara *taxiway* dengan *runway*, *apron* dengan *taxiway* lainnya. Berdasarkan KP no 29 Tahun 2014 pasal 6.7.3.3 dikatakan bahwa dimensi dari desain fillet didasarkan pada kode referensi pesawat udara yang ditunjukkan dalam tabel 2.12 & 2.13 dibawah ini :

Tabel 2. 12 : Dimensi *Fillet Taxiway*

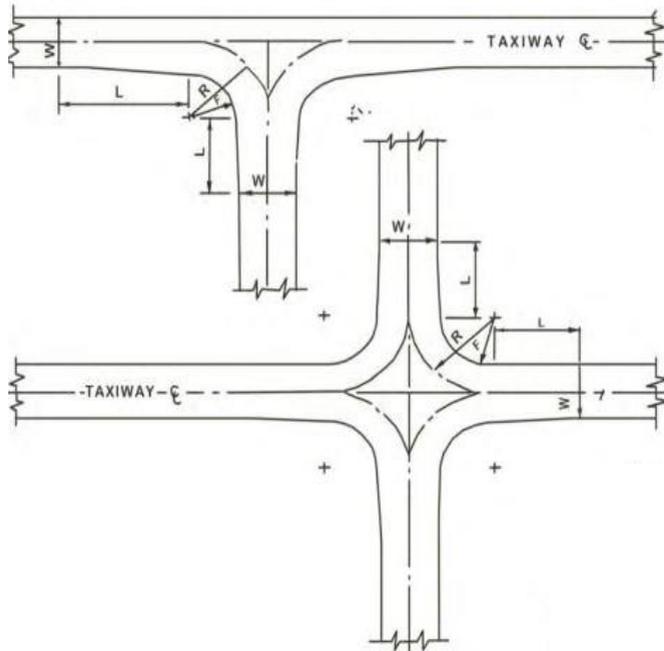
Code letter	Radius Taxiway (R) (m)	Panjang transisi sampai ke fillet (L) (m)	Radius Fillet untuk menilai pelebaran oversteer simetris (F) (m)	Radius Fillet untuk menilai pelebaran oversteer satu sisi (F) (m)	Radius Fillet untuk melacak garis tengah (F) (m)
A	22,5	15	18,75	18,75	18
B	22,5	15	17,75	17,75	16,5
C	30	45	20,4	18	16,5
D	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25
E	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25
F	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25

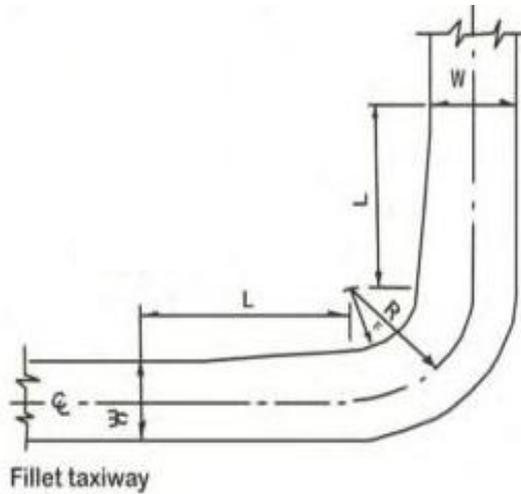
Tabel 2. 13 : Radius Fillet

Code Letter	Lebar Runway (W_r) (m)	Lebar Taxiway Parallel (W_{T2}) (m)	Lebar Taxiway ke dalam dan keluar (W_{T1}) (m)	R_1 (m)	R_2 (m)	R_0 (m)	R_1 (m)	R_2 (m)
A	18	15	30	30	30	39	25	25
B	23	18	26.5	41.5	30	41.5	25	30
C	30	23	26.5	41.5	41.5	53	25	35
D	45	30	26.5	30	60	71.5	35	55
E	45	30	23	60	60	71.5	35	55
F	60	45	18	60	60	75	45	50

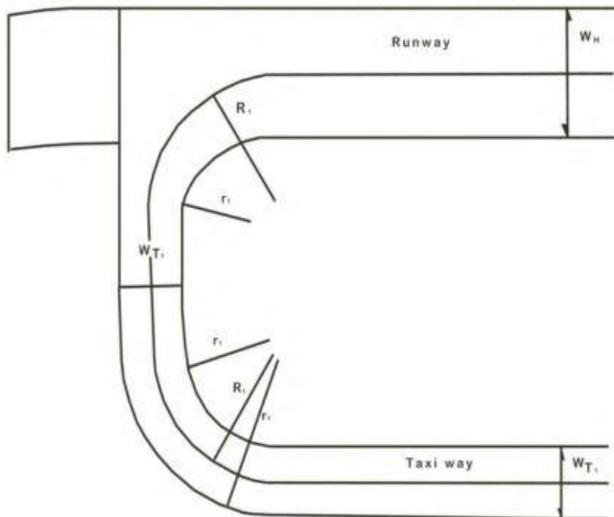
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

Dan berikut adalah gambar keterangan dari masing masing legenda huruf yang ada pada tabel 2.12 dan 2.13 :





Gambar 2. 12 : *Fillet Taxiway*
(Sumber : KP no 29 Tahun 20114)



Gambar 2. 13 : *Radius Fillet*
(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

d. Bahu *Taxiway* (*Taxiway Shoulder*)

Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.10 dikatakan bahwa jika huruf kode *taxiway* adalah C, D, E, atau F dan digunakan oleh pesawat udara bermesin jet maka *taxiway* harus disertai dengan bahu.

Untuk ukuran bahu *taxiway* sendiri berdasarkan KP no 29 tahun 2014 bergantung pada *code letter* yang didapat dari pesawat rencana dan dikatakan pada pasal 6.7.10.1-6.7.10.3 bahwa jika *taxiway* memiliki *code letter* F, maka bahu harus disediakan dan jumlah lebar *taxiway* dan bahu tersebut tidak kurang dari 60 m. Jika sebuah *taxiway* memiliki *code letter* E, bahu harus disediakan dan jumlah lebar *taxiway* dan bahu tersebut tidak boleh kurang dari 44 m. Jika sebuah *taxiway* memiliki *code letter* D, bahu harus disediakan dan jumlah lebar *taxiway* dan bahu tersebut tidak boleh kurang dari 38 m. Jika sebuah *taxiway* memiliki *code letter* C, bahu harus

disediakan dan jumlah lebar *taxiway* dan bahu tersebut tidak boleh kurang dari 35 m, dan jika pada kurva *taxiway* dan pada permsimpangan atau perpotongan *taxiway* dimana terdapat peningkatan perkerasan, maka lebar bahu tidak boleh kurang dari lebar bahu bagian lurus *taxiway*.

e. *Exit taxiway*

Fungsi dari *Exit taxiway* atau *Turn Off*, adalah menekan sekecil mungkin waktu penggunaan landasan oleh pesawat mendarat. *Exit taxiway* dapat ditempatkan dengan menyudut siku-siku terhadap landasan atau kalau terpaksa bisa digunakan sudut yang lain selain siku. *Exit taxiway* yang mempunyai sudut 30^0 disebut "*Rapid Exit taxiway*" dengan tujuan rencana agar pesawat yang mendarat bisa cepat keluar agar waktu tunggu di *holding bay* tidak terlalu lama.

e.1. *Exit taxiway* Menyudut Siku-Siku, dipertimbangkan kepada Analisis lalu lintas yang ada, apabila lalu lintas

rencana pada jam-jam puncak kurang dari 26 gerakan maka *Exit taxiway* ini cukup memadai.

e.2. *Rapid Exit taxiway*, berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.9 dikatakan bahwa *rapid exit taxiway* harus dirancang dengan radius putaran setidaknya :

- 550 m saat *code number* 3 atau 4 dan
- 275 m saat *code number* 1 atau 2 untuk memungkinkan kecepatan keluar/*exit* dalam kondisi basah
- 93 km/h saat *code number* 3 atau 4 dan
- 65 km/h saat *code number* 1 atau 2

e.3. Jumlah dan Lokasi *Exit taxiway*

Lokasi *exit taxiway* ditentukan oleh titik sentuh pesawat waktu mendarat pada landasan dan kelakuan pesawat waktu mendarat. Untuk menentukan jarak lokasi *exit taxiway* dari *threshold* landasan, terdapat beberapa faktor yang harus diperhitungkan antara lain:

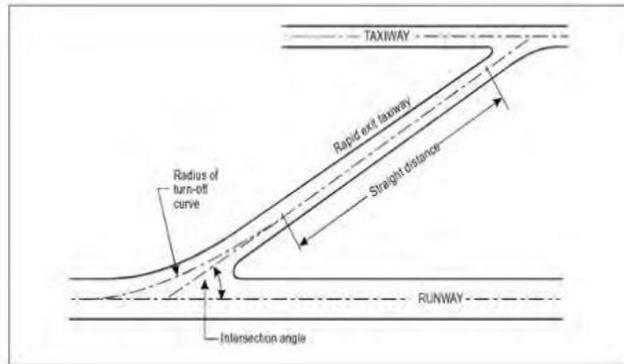
- 1) Kecepatan waktu *touchdown* (menyentuh landasan)
- 2) Kecepatan awal waktu sampai titik perpotongan garis singgung antara landasan dan *taxiway*
- 3) Jarak dari *threshold* sampai ke *touchdown*
- 4) Jarak dari *touchdown* sampai titik perpotongan garis antar landasan dan *taxiway*

Dan dengan berdasarkan beberapa faktor tersebut dapat didapat formula sebagai berikut (Ashford dan Wright, 1984)

$$D2 = \frac{(S1^2) - (S2^2)}{2a} \dots\dots\dots \text{Pers 19}$$

Keterangan :

- D2 = Jarak dari *Touchdown* ke titik A
 S1 = Kecepatan *Touchdown* (m/s)
 S2 = Kecepatan awal ketika meninggalkan landasan (m/s)
 a = Perlambatan (m/s²)



Gambar 2. 14 : Rapid Exit taxiway
 (Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

2.5.3. Tempat Parkir Pesawat (*APRON*)

Apron merupakan tempat parkir atau pelataran pesawat yang berfungsi sebagai tempat menaik turunkan penumpang dan barang, mengisi bahan bakar dan persiapan pesawat terbang sebelum melanjutkan penerbangan. Area ini terdiri dari tempat parkir pesawat (*aircraft gates, aircraft stand, atau ramps*) dan jalur khusus sirkulasi pesawat memasuki / keluar dari tempat parkir (*taxilane*).

Dimensi *apron* bergantung pada :

- Ukuran daerah yang diperlukan untuk menempatkan bagi setiap pesawat yang disebut *gate position*
- Jumlah *gate position*
- Cara parkir pesawat

Ukuran *gate position* dipengaruhi oleh :

- Ukuran pesawat dan jari-jari perputaran pesawat (*turning radius*)
- Cara pesawat masuk dan keluar *gate position* apabila dengan tenaga sendiri atau didorong
- Kedudukan parkir pesawat yang dalam hal ini meliputi ukuran jarak line antara pesawat dengan pesawat dan antara pesawat dengan tepi *apron*.

2.5.3.1. Perencanaan Jumlah Gate (Gate)

Perencanaan jumlah *gate* ditentukan berdasarkan perkiraan arus kedatangan dan keberangkatan pesawat setiap jam dalam perencanaan awal. Jumlah *gate* bergantung pada jumlah pesawat yang harus dilayani selama jam pelayanan tiap hari dan total waktu yang diperlukan tiap pesawat selama berada di *gate*. Faktor pemakaian *gate* rata-rata disuatu bandara bervariasi antara 0,5-0,8 karena hampir tidak mungkin suatu *gate* dipergunakan selama 100% waktu, karena gerak manuver pesawat masuk/keluar *apron gate* akan menghalangi pesawat lainnya untuk masuk/keluar *apron gate* disekitarnya. Penentuan jumlah *gate position* dapat dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini :

$$G = (V \times T) / U \dots\dots\dots \text{Pers 20}$$

Dimana :

- G = Jumlah *gate*
 V = Volume rencana untuk kedatangan atau keberangkatan (gerakan/jam)
 T = *Gate Occupancy Time* (Jam)
 Untuk kelas A = 60 menit
 Untuk kelas B = 40 menit
 Untuk kelas C,D,E = 30 menit
 U = Faktor pemakaian *gate* (0,6 – 0,8) bisa digunakan untuk semua jenis perusahaan penerbangan. (0,5 – 0,6) hanya dipakai untuk beberapa jenis Perusahaan penerbangan

Tabel 2. 14 : Pengklasifikasian Kelas Pesawat Terbang

Kelas	Jenis Pesawat Terbang
A	Boeing 707, 747, 720; Douglas DC-8 dan DC-10; Lockheed L-1011
B	Boeing 727, 737; Douglas DC-9; BAC1-11; semua pesawat perusahaan penerbangan bermesin piston dan turboprop yang besar
C	Pesawat terbang kecil yang digerakkan propeler untuk perusahaan penerbangan, seperti Fairchild F-27 dan pesawat jet bisnis
D	Pesawat penerbangan umum yang digerakkan propeler bermesin ganda dan beberapa pesawat dengan mesin tunggal yang lebih besar
E	Pesawat penerbangan umum yang digerakkan propeler bermesin tunggal

Sumber: *Planning and Design of Airport*, Robert Horonjeff / Francis X. McKelvey

2.5.3.2. Perencanaan Dimensi Gebang (*Gate*)

Luas *Apron* terdiri dari panjang dan lebar area ini. Dimana untuk menghitung panjang dan lebar *apron* dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Panjang Landas Parkir (Apron)} = G \times 2R + G \times C \text{ ..Pers 21}$$

Dimana :

G = Jumlah *gate* (*gate*)

R = radius putar pesawat (ft)

C = Jarak pesawat dan pesawat ke gedung terminal (25 ft – 35 ft)

L = Panjang pesawat (ft)

W = Lebar *taxi lane* (16 ft untuk pesawat kecil dan 290 ft untuk pesawat berbadan lebar) Jika R tidak tersedia, maka nilai R dapat dihitung dengan :

$$R = (\text{Wingspan} / 2) + (\text{wheel base} / \text{tg } 60^\circ) \text{Pers 22}$$

Sehingga akan diperoleh dimensi *apron* minimum yang diperlukan oleh pergerakan suatu bandara.

Tabel 2. 15 : Jarak Bebas Antar Pesawat Di *Apron*

Uraian	Kode Huruf / Golongan Pesawat					
	A/I	B/II	C/III	D/IV	E/V	F/VI
Jarak bebas antar pesawat yang parkir dengan pesawat yang akan tinggal landas (A) (m)	10	10	10	15	15	15
Jarak bebas antar pesawat yang parkir dengan pesawat yang berada di taxilane dan penghalang lain (B) (m)	4,5	4,5	7,5	7,5	10	10
Jarak pesawat yang sedang berjalan dengan pesawat yang berada di lead-in garis dan pesawat lain (C) (m)	4,5	4,5	7,5	7,5	10	10
Jarak antara pesawat yang sejajar yang berada di <i>apron</i> dan bangunan lain (D) (m)	4,5	4,5	7,5	7,5	10	10
Jarak antara pesawat dengan pengisian bahan bakar dan bangunan (E) (m)	15	15	15	15	15	15

(Sumber : Dirjen Perhubungan Udara, 2005)

2.5.3.3. Perencanaan Kemiringan *Apron*

Kemiringan *apron* harus di design sedemikian rupa agar tidak terdapat genangan air jika terjadi hujan dan tidak terdapat genangan bahan bakar jika bahan bakar tumpah saat pengisian. Semua hal itu telah diatur didalam peraturan KP no 29 tahun 2014 pada pasal 6.9.4, yaitu :

- a. Kemiringan posisi parkir pesawat tidak boleh lebih dari 1%
- b. Kemiringan bagian *apron* lain manapun tidak boleh lebih dari 2%
- c. Mengacu pada poin “d”, kemiringan / kelandaian *apron* harus dalam posisi sedemikian sehingga kemiringan tidak turun menuju gedung terminal
- d. Jika kemiringan menuju gedung terminal tidak dapat dihindari maka harus disediakan drainase *apron* untuk mengarahkan bahan bakar yang tercecer dari gedung-gedung atau struktur lain yang berdampingan dengan *apron*
- e. Jika saluran air hujan juga dapat mengumpulkan bahan bakar yang tumpah dari area *apron*, maka dibutuhkan perangkat nyala atau lubang pengecat untuk mengisolasi.

2.6. Metode Perencanaan Perkerasan

Perkerasan merupakan struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan daya dukung dan kekerasan yang berlainan. Perkerasan pada lapangan terbang berfungsi sebagai tumpuan untuk menahan beban pesawat secara aman dan nyaman selama umur rencana. Untuk memenuhi fungsi tersebut struktur perkerasan harus :

1. Dapat mereduksi tegangan yang terjadi akibat beban pesawat sampai batas-batas yang masih mampu dipikul tanah dasar, tanpa menimbulkan perbedaaan lendutan, dan penurunan yang dapat merusak perkerasan
2. Direncanakan/ didesain sedemikian rupa sehingga mampu mengatasi pengaruh kembang susut dan penurunan kekuatan tanah dasar, pengaruh cuaca serta kondisi lingkungan.

Setiap negara didunia, dalam merencanakan perkerasan lapangan terbang, baik dari perencanaan perkerasan *runway* (landas pacu), *taxiway* dan *exit taxiway* dengan perkerasan lentur

(flexible pavement) maupun apron yang menggunakan perkerasan kaku (rigid pavement) metode yang dipakai berbeda-beda. Adapun metode perencanaan perkerasan lapangan terbang tersebut, antara lain:

- a. Metode CBR (*US of Engineers*)
- b. Metode FAA (*Federal Aviation Administration*)
- c. Metode LCN (*Load Clasification Number*)
- d. Metode *Shell*
- e. Metode *Asphalt Institute*

Dan dalam hal ini penulis akan menggunakan metode FAA dalam perencanaan perkerasan lentur maupun kaku.

2.5.4. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) Metode FAA

Metode perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh FAA menyebutkan ada beberapa klasifikasi tanah yang didasarkan pada Analisis saringan, *Liquid Limit*, *Plasticity Index*. Namun demikian, untuk menentukan baik buruknya jenis tanah tidak bisa didasarkan pada Analisis labolatorium saja, perlu dilakukan penelitian di lapangan terutama yang berhubungan dengan sistim drainage, topografi, jenis-jenis lapisan tanah, serta evaluasi tanah yang akan berpengaruh besar terhadap sistim drainase dilapangan.

Tabel 2. 16 : Klasifikasi Tanah Berdasarkan Peraturan FAA

Grup Tanah	Analisa Saringan				Liquid limit	Plasti city Index	Subgrade Class	
	Presentase bahan ter-tahan sa-ringan No. 10	Bahan lebih kecil dari Saringan No.10 (%)					Drainage baik	Drainage jelek
		Pasir kasar lolos sari-ngan No. 10 tapi ditahan No. 40	Pasir halus lewat sa-ringan No. 40 ditahan No. 200	Campuran lumpur dan tanah liat lolos No. 200				
Karikil								
E-1	0 - 45	40 +	60 -	15 -	25 -	6 -	Fa atau Fa	Fa atau Ra
E-2	0 - 45	15 +	85 -	25 -	25 -	6 -	Fa atau Ra	F1 atau Rā
E-3	0 - 45			25 -	25 -	6 -	F1 atau Ra	F2 atau Rb
E-4	0 - 45			35 -	35 -	10 -	F1 atau Ra	F3 atau Rb

Butiran Halus.							
E-5	0 - 55		45 -	40 -	15 -		F3 atau Rb
E-6	0 - 55		45 +	40 -	10 -		F4 atau Rc
E-7	0 - 55		45 +	50 -	10-30		F5 atau Rc
E-8	0 - 55		45 +	60 -	15-40		F6 atau Rc
E-9	0 - 55		45 +	40 +	30 -		F7 atau Rd
E-10	0 - 55		45 +	70 -	20-50		F8 atau Rd
E-11	0 - 55		45 +	80 -	30 +		F9 atau Re
E-12	0 - 55		45 +	80 +			F10 atau Re
E-13	Tanah gambut, tidak bisa untuk Subgrade						

(Sumber : Ir Heru Basuki, Merancang, Merencanakan Lapangan Terbang)

Pada tabel 2.17 ditunjukkan jenis tanah (grup tanah) mana yang baik untuk Subgrade perkerasan flexible (F) dan mana yang baik untuk Subgrade perkerasan Rigid (R).

Tabel 2. 17 : Hubungan antara harga CBR dengan Klasifikasi *Subgrade* Berdasarkan FAA

Klasifikasi	CBR
Fa	20 (Atau Lebih)
F1	16 - 20
F2	13 - 16
F3	11- 13
F4	9 - 11
F5	8 - 9
F6	7 - 8
F7	6 - 7
F8	5 - 6
F9	4- 5
F10	3 -4

(Sumber : Ir Heru Basuki, Merancang, Merencanakan Lapangan Terbang)

Perencanaan perkerasan lentur dengan metode FAA (*Federal Aviation Administration*) pada dasarnya dikembangkan dari metode CBR yang telah ada. Dalam perencanaannya, identifikasi dan evaluasi yang tepat dari pondasi perkerasan adalah penting bagi perencanaan struktur perkerasan. Jenis dan kekuatan tanah dasar (*subgrade*) mendukung perkerasan dan beban-beban

yang berada pada permukaan perkerasan. Fungsi perkerasan itu sendiri adalah untuk menyebarkan beban ke tanah dasar dan makin besar kemampuan tanah dasar untuk memikul beban, tebal perkerasan yang dibutuhkan makin kecil.



Gambar 2. 15 : Struktur Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Struktur perkerasan lentur didukung sepenuhnya oleh tanah dasar. Didalam menentukan ketebalan perkerasan, diperlukan nilai CBR dari material sub grade, nilai CBR lapisan sub base, MTOW dan jumlah annual departure dari pesawat rencana beserta pesawat-pesawat yang sudah dikonversikan. Dalam perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode FAA ada variabel yang harus diketahui, yaitu :

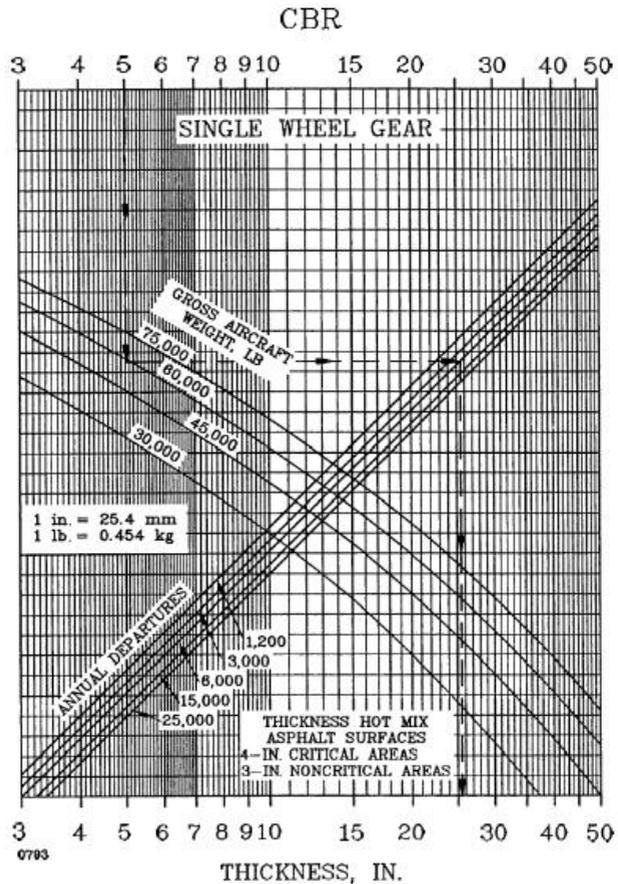
- a. MTOW (*Maximum Take Off Weight*)
- b. Tipe roda pendaratan tiap pesawat
- c. Jumlah keberangkatan pesawat tahunan (*Annual Departure*)
- d. Nilai CBR tiap-tiap lapisan

Berikut ini merupakan langkah-langkah merencanakan tebal perkerasan dengan menggunakan metode FAA :

1. Menentukan Pesawat Rencana
 Dalam perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode FAA perlu ditentukan terlebih dahulu pesawat rencana, yaitu pesawat yang menghasilkan ketebalan perkerasan paling besar, pesawat rencana tidak selalu

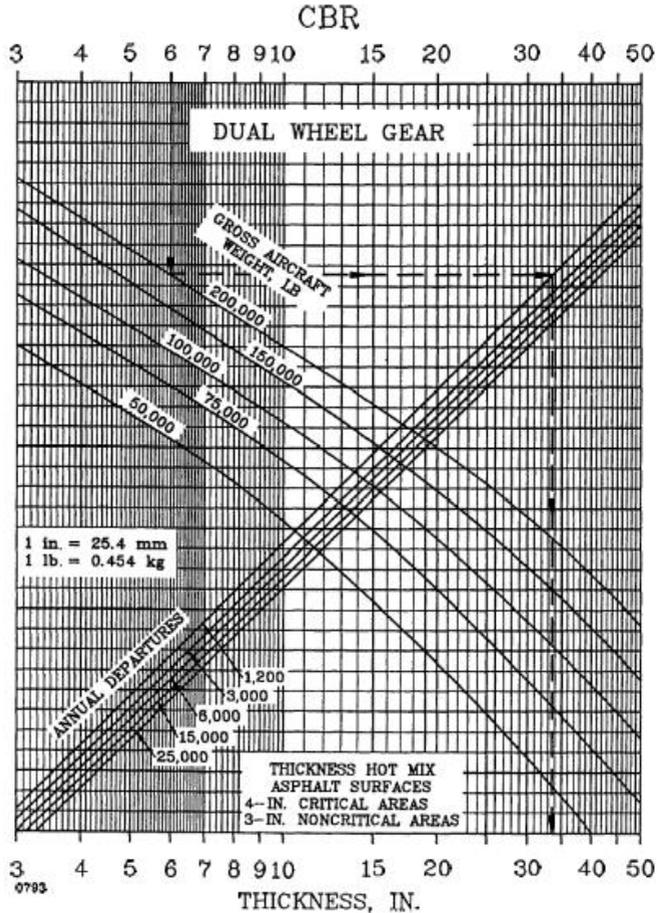
yang terberat. Untuk menentukan pesawat yang menghasilkan ketebalan paling besar, dengan cara dibawah ini :

- a. Untuk pesawat dengan tipe roda *Single Wheel Gear*, dapat dibaca dengan menggunakan grafik 2.1 yaitu hubungan antara MTOW dan klasifikasi *subgrade* menurut FAA.



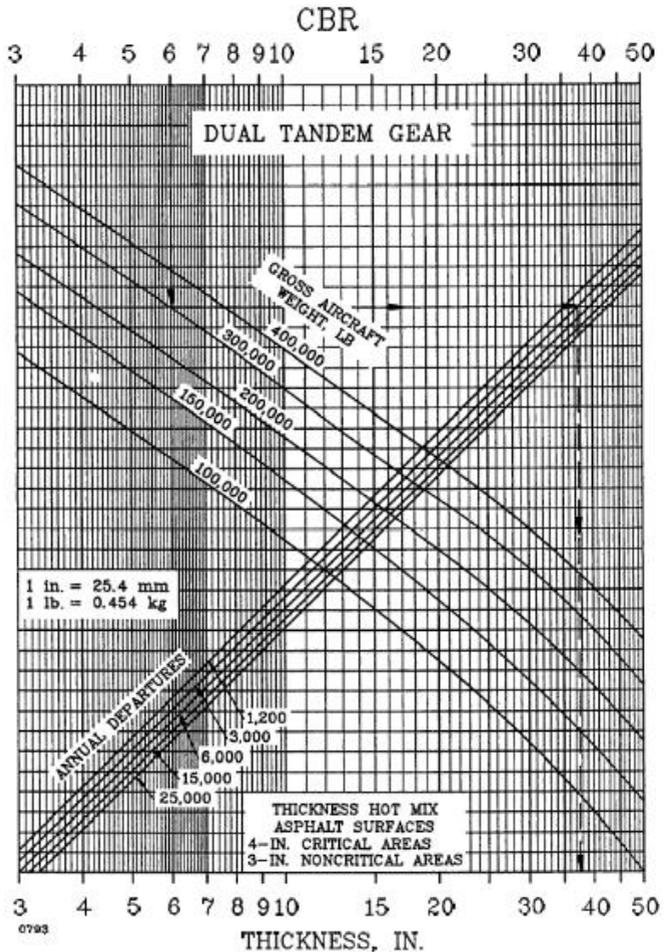
Grafik 2. 1 : Grafik Desain Kurva *Flexible Pavement*, untuk *Single Wheel*

- b. Untuk pesawat dengan tipe roda *Dual Wheel Gear*, dapat dibaca dengan menggunakan grafik 2.2 yaitu hubungan antara MTOW dan klasifikasi *subgrade* menurut FAA.



Grafik 2.2 : Grafik Desain Kurva *Flexible Pavement*, untuk *Dual Wheel*

- c. Untuk pesawat dengan tipe roda *Dual Tandem Gear*, dapat dibaca dengan menggunakan gambar 3.7 yaitu hubungan antara MTOW dan klasifikasi *subgrade* menurut FAA.



Grafik 2.3 : Grafik Desain Kurva *Flexible Pavement*, untuk *Dual Tandem Gear*

(Sumber : FAA Pavment 150/320/6d part 2)

2. Setelah pesawat rencana ditentukan, langkah selanjutnya menghitung R2 dengan mengkonversikan tipe roda pesawat yang mendarat ke tipe roda pesawat rencana dan berdasarkan perkiraan *annual departure*. Besarnya R2 dihitung dengan persamaan :

$$R2 = \text{Annual Departure} \times \text{Fktr Konversi} \quad \text{.Pers 23}$$

Dengan nilai konversi didapat dari tabel 2.18 berikut ini :

Tabel 2. 18 : Konversi Tipe Roda Pesawat

Konversi dari	Ke	Faktor Pengali
Single Wheel	Dual Wheel	0,80
Single Wheel	Dual Tandem	0,50
Dual Wheel	Dual Tandem	0,60
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,00
Dual Tandem	Single Wheel	2,00
Dual Tandem	Dual Wheel	1,70
Dual Wheel	Single Wheel	1,30
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,70

(Sumber : Ir. Heru Basuki, Merancang, Merencana Lapangan Terbang)

3. Menentukan *wheel load* tiap tipe pesawat (W2) dengan menganggap 95% MTOW ditumpu oleh roda pendaratan :

$$W2 = MTOW \times 0,95 \times \frac{1}{n} \quad \text{.....Pers 24}$$

Keterangan :

W2 = Beban Roda Pesawat yang lain (lbs)

MTOW = Berat Maksimum Pesawat (lbs)

n = Jumlah Roda pada *Main Gear*

4. Kemudian menghitung *wheel load* pesawat rencana (W1), dengan persamaan :

$$W1 = MTOW \times 0,95 \times \frac{1}{n} \quad \dots\dots \text{Pers 25}$$

Keterangan :

W1 = Beban Roda Pesawat Rencana (lbs)
 MTOW = Berat Maksimum Pesawat (lbs)
 n = Jumlah Roda pada *Main Gear*

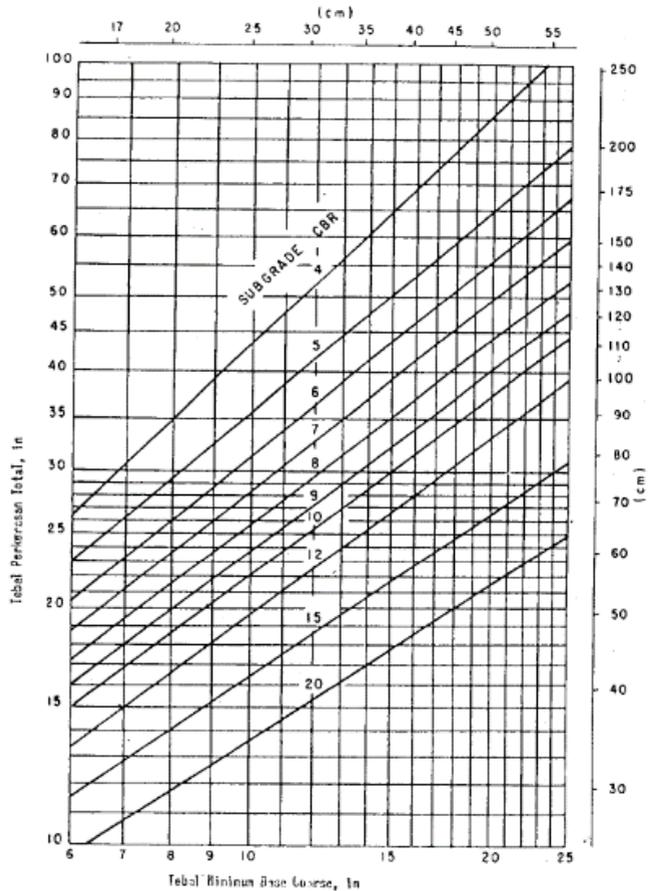
5. Setelah itu menghitung R1 (*Equivalent Annual Departure*) terhadap pesawat rencana, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log}R1 = \text{Log}R2 \times \left(\frac{w2}{w1}\right)^{1/} \quad \dots\dots \text{Pers 26}$$

Keterangan :

R1 = *Equivalent Annual Departure* Pesawat Rencana
 R2 = *Annual Departure* Pesawat yang lain
 W1 = Beban Roda Pesawat Rencana (lbs)
 W2 = Beban Roda Pesawat yang lain (lbs)

6. Untuk pondasi atas perlu dicek ulang ketebalan minimumnya dengan grafik 2.4. lapis pondasi atas harus mempunyai tebal minimum 6 inch di daerah-daerah kritis.



Grafik 2.4 : Tebal Minimum *Base Course* yang diperlukan

2.5.5. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Metode FAA

Dalam perencanaan perkerasan kaku dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

- Tanah Dasar (*Subgrade*)
- Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)
- Plat Beton (*Concrete Slab*)



Gambar 2. 16 : Struktur Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Perkerasan kaku/*rigid pavement* biasanya dipilih untuk ujung landasan pacu, pertemuan antara landasan pacu dan *taxiway*, *apron* dan daerah lain yang digunakan untuk parkir pesawat atau daerah yang mendapat pengaruh *jet blast* dan limbah bahan bakar.

Dalam merencanakan perkerasan kaku perlu diperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi tebal perkerasan dari perkerasan kaku/*rigid pavement* itu sendiri, yaitu antara lain :

- a. Lalu lintas pesawat yang mencakup ramalan keberangkatan tahunan/*annual departure* selama 20 tahun perencanaan umur perkerasan
- b. MTOW atau *Maximum Take Off Weight* dan Tipe roda pendaratan tiap pesawat
- c. Kekuatan *subgrade* atau kombinasi *subbase-subgrade*

Berikut ini merupakan langkah-langkah merencanakan tebal perkerasan dengan menggunakan metode FAA :

1. Menentukan Pesawat Rencana
Cara menentukan pesawat rencana seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.6.2. tidak terdapat perbedaan dalam menentukan pesawat rencana dalam perkerasan kaku maupun perkerasan lentur.
2. Menghitung Kekuatan Tanah
Kekuatan tanah pada perkerasan kaku bukanlah nilai CBR akan tetapi kekuatan tanah ini diukur dengan

menggunakan test K yang dilakukan dilapangan dengan menggunakan alat plate/plat berjari-jari 30 inch yang prosedur testnya menggunakan AASHTO T-222, akan tetapi dalam mempermudah pengerjaan nilai K ini dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan persamaan yang ada pada peraturan FAA Pavement 150/5320/6e yaitu sebagai berikut :

$$K = \left(\frac{1500 \times CBR}{26} \right)^{0,7788} \quad (\text{nilai } k \text{ dalam } pci) \dots \text{Pers 27}$$

3. Menentukan Nilai *Flexural Strength* Beton
Kekuatan izin dari perkerasan beton berkaitan dengan kekuatan beton yang digunakan sebagai kontruksi perkerasan. Untuk perencanaan perkerasan, kekuatan beton ditandai dengan *flexural strength*. *Flexural strength* beton adalah kuat bengkok beton terhadap beban yang bekerja pada struktur perkerasan. Nilai dai *flexural strength* sendiri didapat dai uji “*Modulus Of Rupture*” (Modulus keruntuhan), akan tetapi dalam peraturan FAA AC 150/5320/6E pasal 327 butir A dikatakan bahwa “ nilai rekomendasi FAA untuk *flexural strength* adalah diantara 600 – 700 psi (4,14 - 4,83 Mpa).
4. Langkah selanjutnya menghitung R2 dengan mengkonversikan tipe roda pesawat yang mendarat ke tipe roda pesawat rencana dan berdasarkan perkiraan annual departure. Besarnya R2 dihitung dengan persamaan :

$$R2 = \text{Annual Departure} \times \text{fkt Konversi} \quad \text{.Pers 28}$$

Dengan nilai konversi didapat dari tabel 2.19 berikut ini :

Tabel 2. 19 : Konversi Tipe Roda Pesawat

Konversi dari	Ke	Faktor Pengali
Single Wheel	Dual Wheel	0,80
Single Wheel	Dual Tandem	0,50
Dual Wheel	Dual Tandem	0,60
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,00
Dual Tandem	Single Wheel	2,00
Dual Tandem	Dual Wheel	1,70
Dual Wheel	Single Wheel	1,30
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,70

(Sumber : Ir. Heru Basuki, Merancang, Merencana Lapangan Terbang)

5. Menentukan *wheel load* tiap tipe pesawat (W_2) dengan menganggap 95% MTOW ditumpu oleh roda pendaratan :

$$W_2 = MTOW \times 0,95 \times \frac{1}{n} \quad \dots \text{Pers 29}$$

Keterangan :

W_2 = Beban Roda Pesawat yang lain (lbs)

MTOW = Berat Maksimum Pesawat (lbs)

n = Jumlah Roda pada *Main Gear*

6. Kemudian menghitung *wheel load* pesawat rencana (W_1), dengan persamaan :

$$W_1 = MTOW \times 0,95 \times \frac{1}{n} \quad \dots \dots \text{Pers 30}$$

Keterangan :

W_1 = Beban Roda Pesawat Rencana (lbs)

MTOW = Berat Maksimum Pesawat (lbs)

n = Jumlah Roda pada *Main Gear*

7. Setelah itu menghitung $R1$ (*Equivalent Annual Departure*) terhadap pesawat rencana, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log}R1 = \text{Log}R2 \times \left(\frac{w2}{w1}\right)^{1/2} \dots\dots\dots\text{Pers 31}$$

Keterangan :

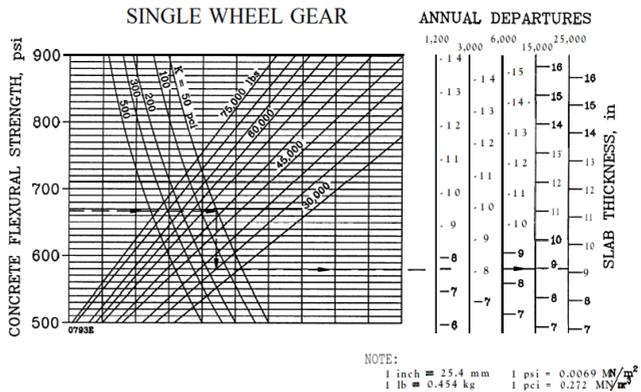
$R1$ = *Equivalent Annual Departure* Pesawat Rencana

$R2$ = *Annual Departure* Pesawat yang lain

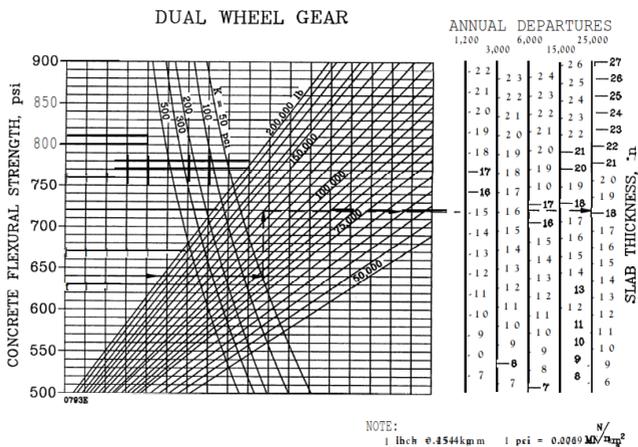
$W1$ = Beban Roda Pesawat Rencana (lbs)

$W2$ = Beban Roda Pesawat yang lain (lbs)

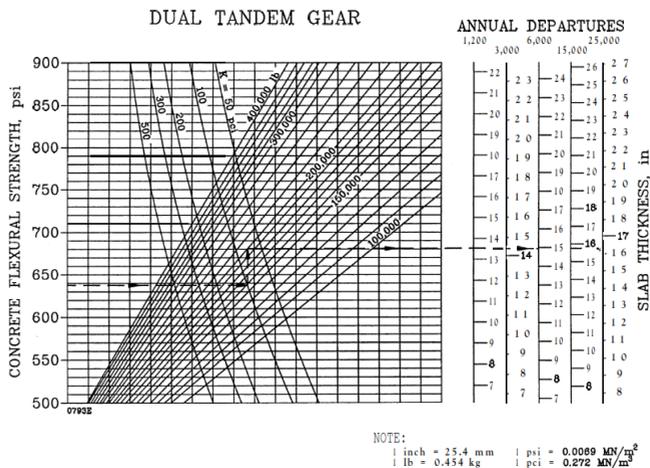
8. Plot ke Kurva Perencanaan Perkerasan Kaku
Tahapan ini merupakan tahapan terakhir untuk menentukan tebal perkerasan kaku, terdapat 3 jenis grafik desain kurva perkerasan kaku, dengan setiap kurvanya bergantung pada konfigurasi roda pesawat rencana dan berikut adalah grafik desain kurva perkerasan kaku berdasarkan rodanya



Grafik 2. 5 : Grafik Desain Kurva *Rigid Pavement*, untuk *Single Wheel Gear*



Grafik 2. 6 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Wheel Gear



Grafik 2. 7 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Tandem Gear

dalam perencanaan perkerasan kaku maupun perkerasan lentur jika annual departure memiliki nilai > 25.000 pergerakan maka dilakukan perhitungan

tambahan untuk mengetahui tebal perkerasannya yaitu dengan menggunakan persamaan interpolasi, yang untuk nilai dari batas bawah dan batas atas interpolasi didapat dari tabel 2.20 berikut :

Tabel 2. 20 : Tebal Total Perkerasan untuk *Annual Departure > 25.000*

Annual Departure Level	Percent of 25,000 Departure Thickness
50,000	104
100,000	108
150,000	110
200,000	112

Note:

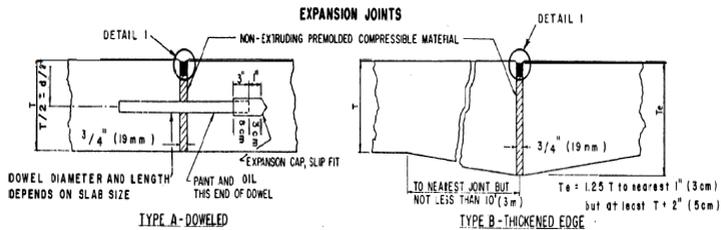
The values given in Table 3-5 are based on extrapolation of research data and observations of in-service pavements. Table 3-5 was developed assuming a logarithmic relationship between percent of thickness and departures.

2.5.5.1. Sambungan Perkerasan Kaku/*Rigid Pavement*

Joint/ sambungan dibuat pada perkerasan kaku, agar beton dapat mengembang dan menyusut tanpa halangan sehingga meringankan/ mengurangi tegangan bengkok akibat gesekan, perubahan temperatur, perubahan kelembaban, serta untuk melengkapi konstruksi. Menurut fungsinya, joint dikategorikan sebagai berikut :

1. *Expansion Joint*

Memberikan ruangan untuk pengembangan beton sehingga terhindar dari tekanan tekan tinggi yang menyebabkan slab beton menjadi melengkung. *Expansion joint* bilaharus dibuat maka dilengkapi dengan adanya tulangan yang disebut *Dowel Bar*.



Gambar 2. 17 : Expansion Joint

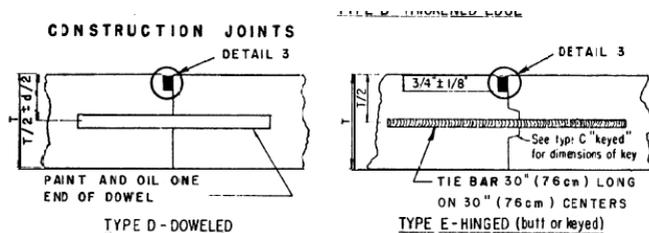
(Sumber : FAA Pavement)

2. Contraction Joint

Contraction joint yaitu satu permukaan pada potongan beton yang sengaja diperlemah, sehingga apabila terjadi penyusutan slab beton, tegangan susut bisa diperingkan, dan jika retak maka retak tersebut terjadi pada bagian yang telah dipersiapkan. *Contraction Joint* bisa dibuat dengan membuat alur pada betondengan alat potong beton.

a. Contraction Joint Memanjang.

Pada jalur pengecoran yang lebarnya melebihi 25 feet (7,5 m), dibuat contraction joint memanjang diantara dua *contraction joint* memanjang, joint ini kadang-kadang disebut intermediate longitudinal joint.

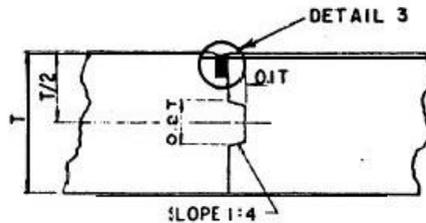


Gambar 2. 18 : Contraction Joint Memanjang

(Sumber : FAA Pavement)

b. *Contraction Joint Melintang.*

FAA tidak memakai dowel untuk semua *contraction joint* melintang, kecuali tiga point pertama dari tepi bebas. FAA juga menyarankan pemberian Dowel untuk dua joint pertama pada masing-masing sisi expansion joint dan semua *contraction joint* melintang dalam perkerasan kaku dengan tulangan.



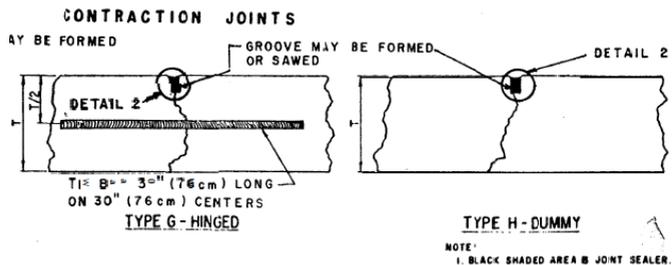
TYPE C - KEYED

Gambar 2. 19 : *Contraction Joint Melintang*
(Sumber : *FAA Pavement*)

3. *Contraction Joint*

a. *Contraction Joint Memanjang*

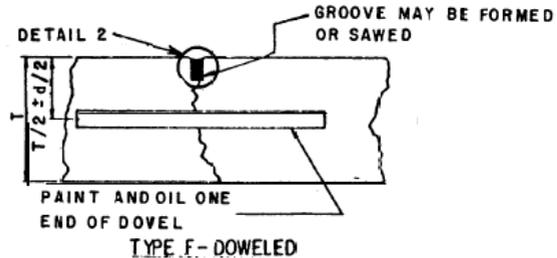
Terdapat pada tepi setiap jalur pengecoran. *Contraction joint* memanjang dengan model kunci jangian diuat untuk slab beton yang tebalnya kurang dari 9 inchi (230 mm).



Gambar 2. 20 : *Contraction Joint Memanjang*
(Sumber : *FAA Pavement*)

b. *Contraction Joint Melintang*

Merupakan sambungan melintang yang diperlukan pada akhir pengecoran setiap harinya atau pada saat pemberhentian karena hujan.



Gambar 2. 21 : *Contraction Joint Melintang*
(Sumber : *FAA Pavement*)

2.5.5.2. Jarak Antar Sambungan Perkerasan Kaku/*Rigid Pavement*

Untuk jarak antar sambungan perkerasan kaku dengan perbaikan pondasi bawah berdasarkan peraturan FAA AC No. 150/5320-6E mengenai *Airport Pavement Design and Evaluation* yang mengatur tentang rekomendasi jarak maksimum sambungan perkerasan kaku dengan atau tanpa perbaikan pondasi bawah. Adapun jarak tersebut dapat dilihat pada tabel 2.21 dibawah ini.

Tabel 2. 21 : Rekomendasi Jarak Sambungan Perkerasan Kaku Dengan atau Tanpa Perbaikan Pondasi Bawah
Bagian I, Tanpa Perbaikan Pondasi Bawah

Slab Thickness		Joint Spacing ¹	
Inches	Millimeters	Feet	Meters
6	152	12.5	3.8
6.5-9	165-229	15	4.6
>9	>229	20	6.1

Bagian II, Dengan Perbaikan Pondasi Bawah			
Slab Thickness		Joint Spacing ¹	
Inches	Millimeters	Feet	Inches
8-10	203-254	12.5	3.8
10.5-13	267-330	15	4.6
13.5-16	343-406	17.5	5.3
>16	>406	20	6.1

(Sumber : FAA)

2.5.5.3. Penulangan Perkerasan Kaku/*Rigid Pavement*

Penulangan perkerasan kaku ini pada umumnya digunakan dowel sebagai tulangan melintang dan tie bar sebagai tulangan memanjang, masing-masing tulangan tersebut memiliki fungsi sendiri-sendiri dan juga memiliki ketentuan masing-masing yang telah di atur dalam peraturan FAA Pavement 150/5320/6D-E, berikut ini adalah pengertian serta ketentuan untuk masing-masing tulangan :

a. *Tie Bars*

Pada umumnya digunakan dibebberapa *contraction joint* dan *keyed construction joint*, yang berguna untuk menahan kedua tepi slab beton agar tetap berdekatan. *Tie bar* sendiri tidak bekerja sebagai pentransfer beban. Syarat yang dikeluarkan FAA untuk ukuran serta spesifikasi *tie bars* adalah sebagai berikut :

- Diameter 16 mm
- Panjang 762 mm
- Spasi 762 mm

b. *Dowel Bars*

Pada umumnya digunakan disambungan sebagai pentransfer beban ke seluruh sambungan dan untuk menahan pergerakan vertikal relatif dari keuda ujung

slab yang berdekatan, serta sebagai pencegah retakan yang terjadi disalah satu segmen agar tidak menjalar atau menerobos ke segmen selanjutnya, berikut ini adalah ukuran serta spesifikasi dari dowel bars yang telah dikeluarkan oleh FAA, ukuran dowel bars tersebut bergantung pada desain tebal plat slab beton :

Tabel 2. 22 : Spesifikasi Dowel Menurut FAA

Thickness of Slab	Diameter	Length	Spacing
6-7 in (150-180 mm)	3/4 in (20 mm)	18 in (460 mm)	12in (305 mm)
8-12 in (210-305 mm)	1 in (25 mm)	19 in (480 mm)	12in (305 mm)
13-16 in (330-405 mm)	1 1/4 in ^L (30 mm)	20 in (510 mm)	15 in (380 mm)
17-20 in (430-510 mm)	1 1/2 in ^L (40 mm)	20 in (510 mm)	18 in (460 mm)
21-24 in (535-610 mm)	2 in ^L (50 mm)	24 in (610 mm)	18 in (460 mm)

^LDowels noted may be a solid bar or high-strength pipe. High-strength pipe dowels must be plugged on each end with a tight-fitting plastic cap or with bituminous or mortar mix.

(Sumber : FAA)

2.7. Perbaikan Tanah

Penambahan beban diatas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain, beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan. Pada tanah berpasir yang sangat tembus air (permeable), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat, keluarnya air dari dalam pori tersebut selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah tersebut dan menyebabkan penurunan lapisan tanah tersebut, beda halnya dengan tanah lempung, yang memiliki koefisien rembesan lempung yang sangat kecil dibandingkan koefisien rembesan pasir, sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam kurun waktu yang sangat

lama, maka dari itu untuk menghindari penurunan saat setelah proyek selesai, maka dibutuhkan suatu percepatan penurunan agar saat pengerjaan proyek penurunan tersebut sudah selesai terjadi, hal tersebut sering disebut dengan Perbaikan Tanah, Perbaikan tanah sendiri dapat dilakukan dengan 3 metode diantaranya:

1. Pemasangan *Vertical Drain* (PVD)
2. Pemasangan Cerucuk Bamboo
3. Pemasangan Tiang Pancang

Pada kasus Bandar Udara Internasional Ahmad Yani perbaikan tanah dilakukan dengan cara preloading + pemasangan PVD untuk mempercepat penurunan, agar pada saat pengerjaan struktur di atasnya, sudah tidak terjadi penurunan lagi.

2.7.1. Penurunan Tanah (*Settlement*)

Penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar yaitu :

1. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*) yang merupakan hasil dari penurunan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah
2. Penurunan Segera (*Immediate Settlement*) yang merupakan akibat deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air, perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

Berdasarkan pengertian diatas maka disimpulkan nilai penurunan tanah total sebesar :

$$S_T = S_C + \rho_i \quad \dots\dots\dots \text{Pers 32}$$

Dimana :

- S_T = Penurunan Total
 S_C = Penurunan akibat Konsolidasi
 ρ_i = Penurunan Segera

2.7.1.1. Lempung *Normally Consolidated* dan *Over-Consolidated*

Istilah *normally consolidated* dan *over-consolidated* digunakan untuk menggambarkan suatu sifat penting dari tanah lempung. Lapisan tanah lempung biasanya terjadi dari proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lempung mengalami konsolidasi atau penurunan, akibat tekanan tanah yang berada di atasnya, lapisan-lapisan tanah yang berada di atas ini, suatu ketika mungkin hilang akibat proses alam. Hal ini berarti tanah lapisan bagian bawah pada suatu saat dalam sejarah geologinya pernah mengalami konsolidasi akibat dari tekanan yang lebih besar dari tekanan yang bekerja sekarang. Tanah semacam ini disebut dalam kondisi *over-consolidated* (OC), atau terkonsolidasi berlebihan, kondisi lain, bila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik di dalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya (atau tanah tidak pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari tekanan pada waktu sekarang), maka tanah disebut dalam kondisi *normally consolidated* (NC) atau terkonsolidasi normal.

Lempung pada kondisi *normally consolidated*, bila tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*) (p_c') sama dengan tekanan overburden efektif (p_o') atau $p_o' = p_c'$, sedangkan lempung pada kondisi *over-consolidated*, jika tekanan prakonsolidasi lebih besar dari tekanan overburden efektif yang ada pada waktu sekarang ($p_o' > p_c'$). Untuk harga masing-masing dari *normally consolidated* dan *over-consolidated* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Normally Consolidated

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right) \dots\dots\dots \text{Pers 33}$$

Dimana :

- S_c = Penurunan akibat Konsolidasi (m)
 C_c = Indeks Pemampatan
 e_0 = Angka Pori
 H = Tebal Lapisan Tanah (m)
 P_0 = Tekanan Efektif Overburden (kN/m^2)
 Δp = Tambahan tegangan akibat Beban Fondasi (kN/m^2)

2. Over-Consolidated

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right) \dots\dots\dots \text{Pers 34}$$

Dimana :

- S_c = Penurunan akibat Konsolidasi (m)
 C_c = Indeks Pemuaian
 e_0 = Angka Pori
 H = Tebal Lapisan Tanah (m)
 P_0 = Tekanan Efektif Overburden (kN/m^2)
 Δp = Tambahan tegangan akibat Beban Fondasi (kN/m^2)

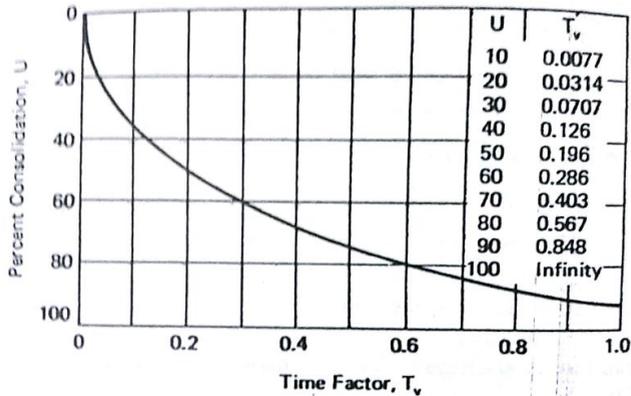
2.7.1.2. Waktu Penurunan Tanah

Waktu penurunan akibat konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$t = \frac{T_v}{C_v} \times H_t^2 \dots\dots\dots \text{Pers 35}$$

Dimana :

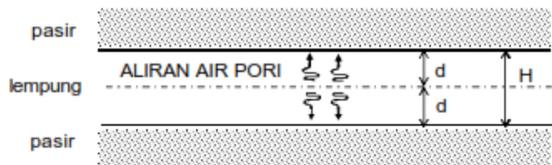
- t = Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi, dimana nilai U di antara 0-100%
 T_v = Faktor Waktu, nilai faktor waktu bergantung pada nilai derajat konsolidasi, faktor waktu dapat dilihat pada grafik berikut ini :

Grafik 2. 8 : Time Factor

(Sumber : Soil and Foundation)

- C_v = Koefisien Konsolidasi (m^2/s)
 H_t = Tebal Lapisan terkonsolidasi pengaruh drainage (m), dengan nilai H_t bergantung pada sistim lapisan tanah.

Sistim lapisan tanah dibagi menjadi 2 yaitu ; drainasi 2 arah dan drainasi 1 arah. Drainasi 2 arah terjadi apabila tanah kompresif terletak di antara lapisan tanah permeabel (pasir) dibawah dan diatas, seperti pada gambar 2.22 berikut ini:

**Gambar 2. 22 : Drainasi 2 Arah**

maka nilai H_t didapat dengan persamaan berikut :

$$H_t = \frac{1}{2} \times H \quad \dots\dots\dots \text{Pers 36}$$

Dimana :

H = Tebal Lapisan Lempung yang Terkonsolidasi (m)

Drainasi 1 arah terjadi jika hanya ada 1 lapisan pasir diatas saja atau dibawah saja, sedangkan disebelah lain lapisan rapat air (batu, cadas, lempung keras), seperti gambar 2.23 berikut ini :



Gambar 2. 23 : Drainasi 1 Arah

maka nilai H_t adalah nilai H itu sendiri.

2.7.2. Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa tanah lempung lunak memiliki permeabilitas yang rendah, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan konsolidasi. Untuk mempersingkat waktu konsolidasi tersebut, drainase vertikal (vertical drains) dikombinasikan dengan teknik preloading. Vertical drain tersebut sebenarnya merupakan jalur drainase buatan yang dimasukkan kedalam lapisan lempung. Dengan kombinasi preloading, air pori diperas keluar selama konsolidasi dan mengalir lebih cepat pada arah horizontal daripada arah vertikal. Selanjutnya, air pori tersebut mengalir sepanjang jalur drainase vertikal yang telah diinstalasi. Oleh karena itu, vertical drain berfungsi untuk memperpendek jalur drainase dan sekaligus mempercepat proses konsolidasi. Dalam merencanakan pemasangan PVD perlu diperhatikan beberapa hal diantaranya :

- Parameter tanah untuk penentuan waktu konsolidasi dengan PVD
- Diameter Equivalen (d_w)

Untuk PVD yang umumnya bertampang empat persegi panjang, diameter drainase vertikal harus dinyatakan dalam bentuk diameter ekuivalen, yang dinyatakan dalam notasi d_w , diameter ekuivalen dari PVD didefinisikan sebagai diameter lingkaran drainase yang mempunyai kemampuan drainase yang sama dengan PVD. Dalam banyak kondisi, diameter ekuivalen (d_w) dapat dianggap tidak bergantung pada kondisi lapisan tanah, sifat-sifat tanah dan pengaruh pemasangan PVD, tapi bergantung hanya pada geometri drainase dan konfigurasinya, berikut adalah persamaan untuk menghitung diameter ekuivalen :

$$d_w = \frac{2(a + b)}{\pi} \quad \text{.....Pers 37}$$

Dimana :

a = Lebar Penampang PVD

b = Tebal Penampang PVD

akan tetapi apabila rasio a/b sekitar 50 atau kurang maka digunakan persamaan d_w sebagai berikut :

$$d_w = \frac{(a + b)}{2} \quad \text{.....Pers 38}$$

Dimana :

a = Lebar Penampang PVD

b = Tebal Penampang PVD

- Diameter Pengaruh (D)

Pola pemasangan drainase vertikal yang biasa dipakai adalah pola segitiga dan segiempat, diameter yang digunakan pada pola pemasangan PVD dapat dihitung dengan persamaan berikut :

a. Pola Segiempat :

$$D = 1,13 \times S \quad \text{.....Pers 39}$$

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \text{ atau}$$

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \quad \text{.....Pers 42}$$

- Derajat Konsolidasi Rata-rata
Derajat konsolidasi rata-rata dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$U = [1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)] \times 100\% \quad \text{.....Pers 43}$$

Dimana :

U = Derajat Konsolidasi akibat Aliran Vertikal dan Radial

U_v = Derajat Konsolidasi Vertikal

U_h = Derajat Konsolidasi Radial

- Parameter Tanah untuk Penentuan Derajat Konsolidasi dengan PVD
- Derajat Konsolidasi Vertikal
Harga untuk derajat konsolidasi arah vertikal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

Untuk T_v antara 0 s/d 60%

$$U_v = \left[2 \times \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right] \times 100\% \quad \text{.....Pers 44}$$

Untuk $T_v > 60\%$

$$U_v = (100 - 10^a)\% \quad \text{.....Pers 45}$$

Dimana :

$$a = \frac{(1,781 - T_v)}{0,933} \quad \text{.....Pers 46}$$

- Derajat Konsolidasi Horizontal
Besarnya harga derajat konsolidasi horizontal dipersamakan oleh Barron (1948) dalam Bergado (1996) dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_h = \left[1 - \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times F(n)}\right)} \right) \right] \quad \dots \text{Pers 47}$$

2.8. Perencanaan Drainase

Drainase digunakan sebagai tempat pembuangan aliran air hujan disaat hujan maupun pasca hujan, agar aliran air tersebut tidak menggenangi sisi udara daripada bandar udara yang mengakibatkan permasalahan saat operasional, dalam merencanakan drainase perlu diperhatikan waktu konsentrasi, luas catchmen area, dll.

Dalam kasus bandar udara Internasional Ahmad Yani Semarang, perencanaan drainase dilakukan sedemikian rupa sehingga dapat mengantisipasi banjir yang disebabkan oleh lama hujan dari kota semarang sendiri yang termasuk sangat lama. Maka dari itu selain merencanakan drainasenya, dibutuhkan juga suatu kolam tampung agar dapat mengantisipasi banjir tersebut, berikut adalah langkah dalam merencanakannya :

2.7.3. Penentuan Hujan Rencana

Untuk menghitung hujan rencana dibutuhkan data hujan dan metode yang tepat, dikarenakan jika menggunakan metode yang salah maka hasil dari hujan rencana tersebut tidak valid, dalam menentukan hujan rencana terdapat 4 metode yaitu :

- Metode Gumbel
- Metode Distribusi Normal
- Metode Log Pearson III
- Metode Log Normal

Dan untuk menentukan metode mana yang digunakan perlu dilakukannya Analisis data curah hujan yang ada, dan berikut adalah nilai yang dicari dari data curah hujan tersebut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(R - \bar{R})^2}{n - 1}} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 48}$$

$$Cs = \frac{\sum(R - \bar{R})^3 n}{(n - 1)(n - 2)Sd^3} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 49}$$

$$Ck = \frac{\sum(R - \bar{R})^4 n^2}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)Sd^4} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 50}$$

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{R}} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 51}$$

Dimana :

- Sd = Standar Deviasi
- Cv = Koefisien Variasi
- Cs = Koefisien Kemencengan
- Ck = Koefisien Ketajaman

Setelah didapat nilai-nilai tersebut maka perlu dilakukan klasifikasi menurut sifat masing-masing parameter statistik tersebut yaitu :

1. Distribusi Normal mempunyai harga Cs = 0 dan Ck = 3
2. Distribusi Log Normal mempunyai harga
Cs = Cv³ + 3Cv dan
Ck = Cv⁸ + 6Cv⁶ + 15Cv⁴ + 16Cv² + 3
3. Distribusi Gumbel mempunyai harga Cs = 1,139 dan
Ck = 5,402
4. Distribusi Log Pearson Type III mempunyai nilai Cs dan Ck selain untuk distribusi yang lain (normal, log normal dan gumbel)

Setelah didapat model yang tepat maka perlu dilakukan satu uji lagi yaitu uji chi-square yang dilihat apakah nilai chi-square hitung lebih besar dari pada chi-square tabel yang berdasarkan oleh derajat kepercayaan. Dan berikut adalah hal yang perlu dihitung untuk uji chi-square :

$$G = 1 + 3,322 \log n \dots\dots\dots \text{Pers 52}$$

$$Dk = K - (P + 1) \dots\dots\dots \text{Pers 53}$$

$$Xn^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots \text{Pers 54}$$

$$E_i = n/k \dots\dots\dots \text{Pers 55}$$

$$\Delta x = (X_{\text{maks}} - X_{\text{min}}) / G \dots\dots\dots \text{Pers 56}$$

$$\text{Dengan } X_{\text{Awal}} = X_{\text{min}} - \frac{1}{2}\Delta X \dots\dots\dots \text{Pers 57}$$

Dan nilai dari Xn^2 (Chi-Square Hitung) < Xh^2 , nilai Xh^2 didapat dari tabel dibawah ini :

Tabel 2. 23 : Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Square

Dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838

2.7.4. Penentuan Debit Banjir Rencana

Terdapat 2 metode untuk menghitung debit banjir rencana yaitu metode rasional untuk daerah catchmen area < 150 ha, dan metode nakayasu untuk daerah catchmen area > 150 ha, dan berikut adalah penjelasan untuk masing-masing metode :

a. Metode Rasional

Persamaan yang dipakai untuk menghitung debit banjir rencana yaitu sebagai berikut :

$$Q = 0,278. \beta. C. It. A \quad \dots\dots\dots \text{Pers 58}$$

Dimana :

- Q = Debit Banjir Rencana pada Periode Ulang Tertentu (m^3/s)
 β = Koefisien Penyebaran Hujan
 C = Koefisien Pengaliran
 It = Intensitas Hujan pada Periode Ulang tertentu (mm/jam)
 A = Luas Daerah Pengaliran (km^2)

Untuk menentukan Intensitas hujan pada metode rasional digunakan persamaan mononobe yaitu sebagai berikut :

$$It = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad \dots\dots\dots \text{Pers 59}$$

Dengan nilai “t” didapat dari beberapa persamaan dibawah ini :

$$T_c = \left(\frac{0.87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0.385}, \text{ atau } \dots\dots\dots \text{Pers 60}$$

$$T_c = t_0 + t_f \quad \dots\dots\dots \text{Pers 61}$$

Dimana :

- t_0 = Overland Flow Time (Inlet Time), Waktu yang diperlukan air hujan mengalir di permukaan sampai pada inlet (Saluran)
 t_f = Channel Flow Time, waktu yang diperlukan air mengalir sepanjang saluran sampai mengetahui nilai t_0 , dan t_f dapat menggunakan persamaan berikut:

1. Persamaan Kerby (t_0)

$$t_0 = 0,0195 \left[\frac{L_0}{\sqrt{I_0}} \right]^{0.77} \text{ untuk } L_0 > 400 \text{ m } \dots\dots\dots \text{Pers 62}$$

$$1,44 \left[n \times \frac{L_0}{\sqrt{I_0}} \right]^{0.467} \text{ untuk } L \leq 400 \text{ m } \dots\dots\dots \text{Pers 63}$$

Dimana :

L_o = Jarak Mengalirnya air hujan diatas permukaan sampai inlet (km)

I_0 = Kemiringan rata-rata dari daerah aliran

n = kekerasan daerah pengaliran menurut kerby

2. Persamaan Rhiza (t_r)

$$t_r = \frac{L}{V} \text{ dengan } V = 72 \left[\frac{\Delta H}{L} \right]^{0.6} \dots\dots\dots \text{Pers 64}$$

Dimana :

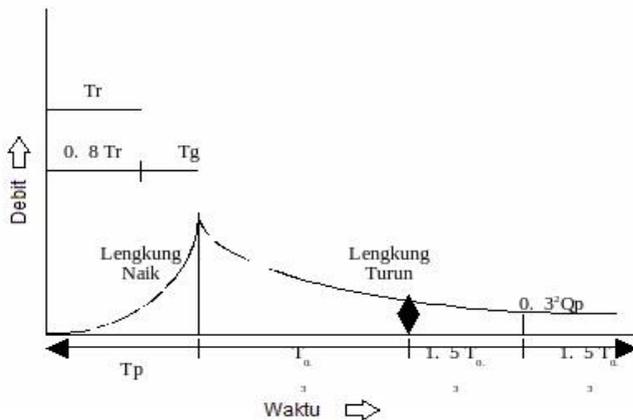
L = Panjang Saluran (km)

V = Kecepatan air pada saluran (km/jam)

Δh = Beda tinggi antara titik terjauh dihilu dengan titik pengamatan (km)

b. Metode Nakayasu

hidrograf satuan sintetis nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di jepang. Bentuk HSS nakayasu diberikan pada gambar



Gambar 2. 25 : Hidrograf satuan sintetis Nakayasu (Sumber : Hidrologi Terapan, Bambang Triadmojo)

Dan untuk menghitung hidrograf satuan tersebut dibutuhkan beberapa persamaan yaitu sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{A.R_o}{3,6.(0,3T_p+T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{Pers 65}$$

$$T_p = T_g + 0,8T_r \dots\dots\dots \text{Pers 66}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{Pers 67}$$

$$T_g = 0,21L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{Pers 68}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \dots\dots\dots \text{Pers 69}$$

dengan :

Q_p = debit puncak banjir

A = luas DAS (km^2)

R_e = curah hujan efektif (mm)

T_p = waktu dari permulaan banjir
sampai puncak hidrograf banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali
debit puncak banjir (jam)

t_g = waktu konsentrasi

T_r = satuan waktu dari curah hujan (jam)

α = koefisien karakteristik DAS

L = panjang sungai utama (km)

Dan untuk bentuk hidrograf satuan diberikan oleh persamaan berikut :

- a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots \text{Pers 70}$$

- b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \dots\dots\dots \text{Pers 71}$$

- c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)+(0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})} \dots\dots \text{Pers 72}$$

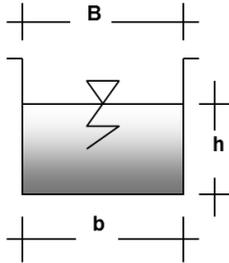
- d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3})} \dots\dots \text{Pers 73}$$

2.7.5. Penentuan Penampang Drainase

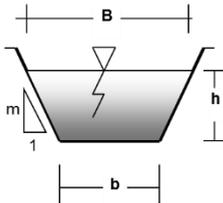
Drainase terbagi menjadi 2 yaitu drainase terbuka dan tertutup, untuk drainase terbuka terdapat banyak bentuk penampang drainase, dalam pemilihan bentuk bergantung pada tempat dan juga faktor-faktor lain, dan berikut adalah beberapa perhitungan penampang drainase berdasarkan bentuknya :

a. Penampang Segiempat



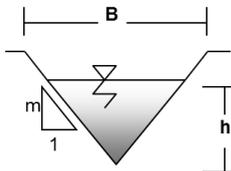
	Rumus	Satuan
Lebar dasar	b	(m)
Lebar puncak	$B = b$	(m)
Kedalaman air	h	(m)
Luas penampang basah	$A = b \cdot h$	(m ²)
Keliling basah penampang	$P = b + 2h$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{A}{P}$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

b. Penampang Trapesium



	Rumus	Satuan
Lebar dasar	b	(m)
Lebar puncak	$B = b + 2mh$	(m)
Kedalaman air	h	(m)
Luas penampang basah	$A = bh + mh^2$	(m ²)
Keliling basah penampang	$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{A}{P}$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

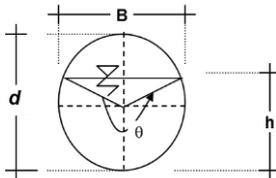
c. Penampang Segitiga



	Rumus	Satuan
Lebar dasar	0	(m)
Lebar puncak	$B = 2mh$	(m)
Kedalaman air	h	(m)
Luas penampang basah	$A = mh^2$	(m ²)

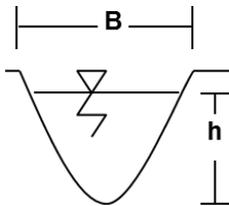
Keliling basah penampang	$P = 2h\sqrt{1+n^2}$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{A}{P}$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

d. Penampang Lingkaran



	Rumus	Satuan
Lebar puncak	$B = \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) \cdot d$	(m)
Kedalaman air	h	(m)
Luas penampang basah	$A = \frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) d^2$	(m ²)
Keliling basah penampang	$P = \frac{1}{2} \theta d$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{1}{4} \left(\frac{\sin \theta}{\theta} \right) d$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

e. Penampang Parabola



	Rumus	Satuan
Lebar puncak	$B = \frac{3A}{2h}$	(m)
Kedalaman air	h	(m)
Luas penampang basah	$A = \frac{2}{3} Bh$	(m ²)
Keliling basah penampang	$P = \frac{8h^2}{3B}$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{A}{P}$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

2.9. Perencanaan Kolam Tampung

Dimensi kolam tampung harus sanggup menampung semua debit yang ada pada grafik hidrograf, maka dari itu dimensi kolam tampung = luas bidang pada grafik hidrograf.

2.10. Metode Pelaksanaan

No	Nama Pekerjaan	Detail Pekerjaan
1	Perencanaan Site Plan	a. Penentuan Kantor Proyek
		b. Penentuan Gudang Material
		c. Penentuan Letak Pagar Proyek
		d. Perencanaan Jalan Akses
2	Pekerjaan Persiapan	a. Mobilisasi-I
		b. Pembersihan Lahan
		c. Pengukuran Lapangan (Surveying)
		d. Pembuatan Jalan Akses
		- Pengerukan Lumpur pada dasar tambak
		- Penimbunan Tanah & Pematatan pada Area yang direncanakan
3	Pekerjaan Perbaikan Tanah	a. Perbaikan Tanah (Preloading + PVD)
		- Pemasangan Geotextile Non Woven Lapis I
		- Penimbunan Pasir Sand Blanket
		- Pemasangan Prefabricated Vertical Drain
		- Pemasangan Geotextile Non Woven Lapis II
		- Penimbunan dan Pematatan Tanah Preloading
		b. Pembongkaran Tanah Preloading
c. Penimbunan Tanah Timbunan		
4	Pekerjaan Perkerasan Rigid Pavement	a. Pembuatan Bekisting Panel
		b. Pemasangan Membran Kedap Air pada Panel
		c. Penghamparan CTSB, pada panel & Pematatan
		d. Pemasangan Sambungan & Tulangan
		e. Pengecoran pada Panel
		f. Pembongkaran Bekisting Panel & Pembuatan Alur
		g. Pembuatan Joint Sealant
		c. Pekerjaan Finishing
5	Pekerjaan Perkerasan Flexible Pavement	a. Pematatan Tanah Subgrade
		b. Penyemprotan Prime Coat
		c. Penggelaran Binder Course
		d. Penyemprotan Tack Coat
		e. Penggelaran Wearing Course

2.11. Pemilihan Alat

Alat berat merupakan alat yang digunakan untuk membantu manusia dalam melakukan pekerjaan pembangunan suatu struktur bangunan. Alat berat merupakan faktor penting didalam proyek, terutama proyek-proyek konstruksi maupun pertambangan dan kegiatan lainnya dengan skala yang besar.

Tujuan dari penggunaan alat-alat berat tersebut adalah untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya, sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah dengan waktu yang relatif lebih singkat.

Pada perencanaan pembangunan bandara kali ini digunakan alat-alat berat seperti :

- 1) Ekskavator
- 2) Bulldozer
- 3) Loader
- 4) Hydraulic Rig
- 5) Dump Truck
- 6) Tandem Roller
- 7) Vibro Roller
- 8) Tire Roller
- 9) Asphalt Finisher

Berikut ini akan dijelaskan beberapa fungsi dari alat yang dipilih dalam pekerjaan konstruksi Bandara Ahmad Yani Semarang

1) Ekskavator

Ekskavator atau excavator (Mesin pengeruk) adalah salah satu alat berat yang terdiri dari mesin di atas roda khusus yang dilengkapi dengan lengan (arm), alat pengeruk (bucket), keranjang dan rumah rumah dalam sebuah wahana putar dan digunakan untuk penggalian (aks kavasi). Bisa dibilang ekskavator termasuk alat berat yang multifungsi lantaran dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam pekerjaan berat. Karenanya tidak heran bila alat ekskavator tidak hanya

digunakan untuk pekerjaan berat di darat tetapi juga di atas air. Berikut ini adalah beberapa contoh pekerjaan yang dapat dilakukan oleh ekskavator :

- Pekerjaan pengerukan sungai
- Pembuatan Sloping atau kemiringan
- Pemecah Batu
- Pekerjaan pembersihan
- Perataan Tanah
- Penggalian lubang
- Pemasangan Batang Pondasi, dll



Gambar 2. 26 : Ekskavator

2) Bulldozer

Bulldozer merupakan traktor yang dipasangkan pisau atau blade di bagian depannya. Pisau berfungsi untuk mendorong, atau memotong material. Jenis pekerjaan yang biasanya menggunakan dozer atau bulldozer adalah :

- Mengupas top soil dan pembersihan lahan dari pepohonan.
- Pembukaan jalan baru.
- Memindahan material pada jarak pendek sampai dengan 100 m.
- Membantu mengisi material pada scraper.

- Menyebarkan material.
- Mengisi kembali saluran.
- Membersihkan quarry.



Gambar 2. 27 : Bulldozer

3) Loader

Loader adalah alat yang umum dipakai dalam proyek konstruksi untuk pekerjaan pemuatan material hasil penggalian ke dalam truk atau membuat timbunan material. Jarak tempuh loader biasanya tidak terlalu jauh. Pada bagian depan loader terdapat bucket sehingga alat ini umumnya disebut front-end loader.



Gambar 2. 28 : Loader

4) Hydraulic Rig

Hydraulic rig digunakan sebagai alat pemancangan prefabricated vertical drain yang berguna sebagai penyalur air dalam tanah menuju permukaan tanah, biasanya pvd di kombinasi dengan tanah preloading guna mempercepat keluarnya air dalam tanah



Gambar 2. 29 : Diesel Hammer

5) Dump Truck

Dump truck merupakan alat berat yang digunakan untuk memuat bahan material ke lokasi proyek atau membuang bahan material dari proyek ke luar lokasi proyek, berdasarkan cara mengkosongkan muatannya dump truck dibagi menjadi 3 macam yaitu :

- End Dump or Rear Dump : Pengosongan muatan ke belakang
- Side Dump : Pengosongan muatan ke arah samping
- Bottom Dump : Pengosongan muatan ke arah bawah



Gambar 2. 30 : Dump Truck

6) Roller

Roller merupakan alat berat yang diklasifikasikan sebagai alat compactor yang digunakan untuk memadatkan tanah atau material sedemikian hingga tercapai tingkat kepadatan yang diinginkan, jenis rodanya biasanya terbuat dari besi seluruhnya atau ditambahkan pemberat berupa air atau pasir, bisa terbuat dari karet (berupa roda ban) dengan bentuk kaki kambing (sheep foot), terdapat berbagai jenis roller yang setiap roller digunakan saat kondisi tanah yang berbeda-beda misal :

- Tanah berpasir dan/ atau kerikil berpasir digunakan vibrating roller dan pneumatic tired roller
- Untuk tanah plastis dan kohesif maka digunakan alat pematat sheep foot roller, dst



(A)



(B)



(C)

Gambar 2. 31 : (A) Tandem Roller, (B) Tire Roller, (C) Vibrator Roller

7) Asphalt Finisher

Asphalt finisher adalah alat untuk menghamparkan campuran aspal yang dihasilkan dari alat produksi aspal. Terdapat dua jenis asphalt finisher yaitu jenis crawler yang menggunakan roda kelabang dan jenis roda karet. Kelebihan dari asphalt finisher roda kelabang adalah dalam hal daya ambang (flotation), traksi, dan penghampirannya lebih halus serta lebih datar dibandingkan asphalt finisher yang menggunakan roda karet dengan ukuran yang sama. Kelebihan dari asphalt finisher roda karet adalah dalam hal manuver yang lebih cepat.



Gambar 2. 32 : Asphalt Finish

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Pada bab Metodologi ini, untuk memudahkan pengerjaan tugas akhir diperlukan langkah kerja dimulai dari studi literature untuk memudahkan penyusunan dalam menganalisis dan memecahkan permasalahan didalam penulisan tugas akhir. Pengumpulan data dilakukan diambil dari PT.PP (Pembangunan Perumahan) dan PT. Angkasa Pura Semarang, kemudian dilakukan Analisis data. Untuk lebih jelasnya langkah kerja akan diuraikan sebagai berikut :

1. Studi Literature

Studi literatur disini adalah pengumpulan referensi yang dapat mempermudah dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Referensi yang didapat berasal dari buku diktat kuliah, buku-buku yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir ini, serta dari internet.

2. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini akan dilakukan pembuktian terkait latar belakang masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir

3. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data sekunder yang didapat dari PT.PP (Pembangunan Perumahan) dan PT. Angkasa Pura Semarang, data yang didapat antara lain :

Data Sekunder :

- Data Tanah
- Data Kontur
- Data Tipe Pesawat
- Data Jumlah Penumpang & Barang
- Data Annual Departure Pesawat (Pergerakan Pesawat)

- Data Curah Hujan 10 tahun
- Data Suhu
- Lay Out Bandara Eksisting & Rencana

Data yang diperoleh inilah yang nantinya akan diolah dalam perhitungan dan dijadikan parameter-parameter lainnya.

4. Pengolahan Data

Dari data-data yang didapat merupakan data sekunder, diolah untuk mendapat nilai yang dibutuhkan untuk mendapat nilai dalam perencanaan tebal perkerasan, seperti data tanah pergerakan pesawat yang dibutuhkan untuk merencanakan pesawat rencana terberat.

5. Perencanaan Lapangan Terbang

Perencanaan lapangan terbang meliputi, antara lain :

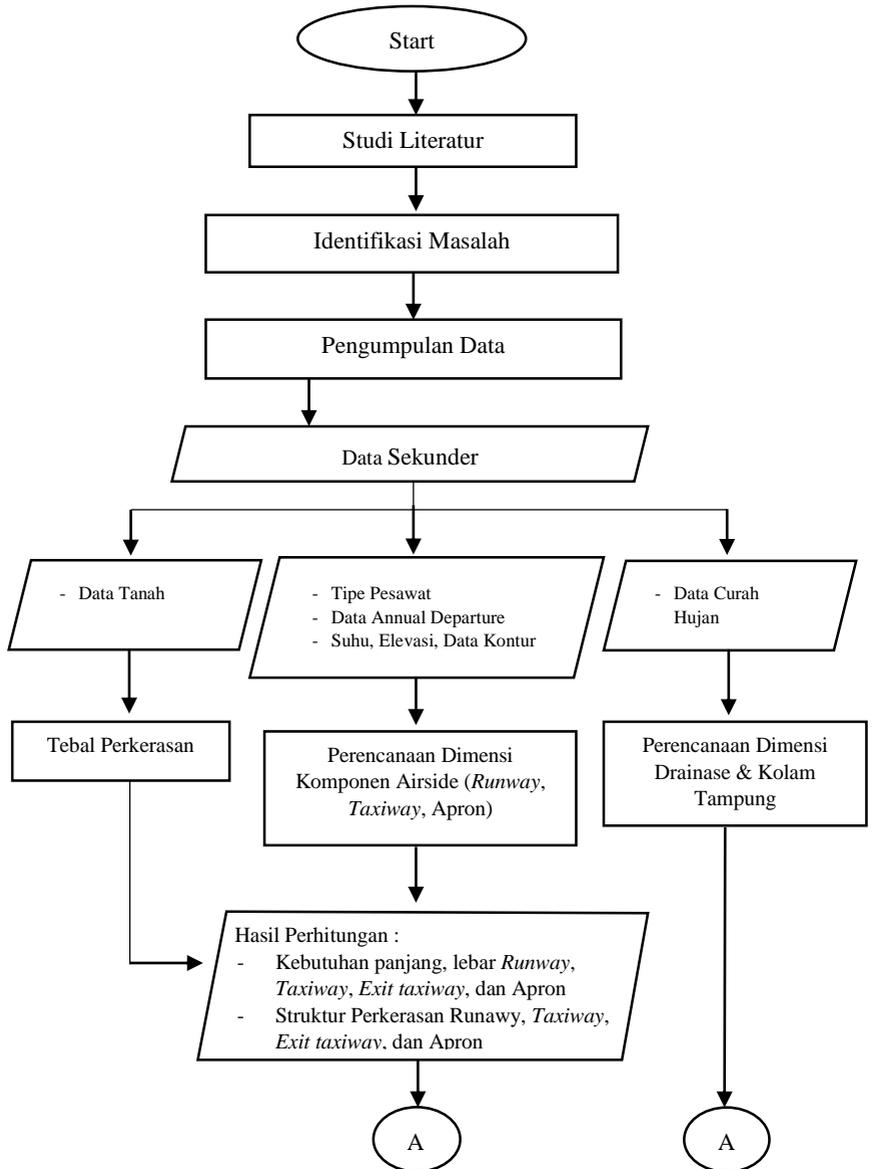
- a) Perencanaan Dimensi Komponen Sisi Airside
Perencanaan ini merupakan penetapan fasilitas sisi airside meliputi ukuran dan letak dari *taxiway apron* maupun landas pacu (*runway*) dengan berdasarkan pada pertauran KP no 29 tahun 2014 serta dokumen penunjang lainnya.
- b) Perencanaan Tebal Perkerasan Dengan Metode FAA
Perencanaan tebal perkerasan dengan metode FAA dihitung dengan menggunakan data tanah, tipe pesawat, serta data annual departure Bandara Ahmad Yani, Semarang. Untuk perencanaan perkerasan pada *apron* digunakan perkerasan kaku guna menghindari adanya kesalahan pada saat operasional bandara, serta dikarenakan beban yang ditahan merupakan beban statis maka diperlukan perkerasan yang lebih kuat guna menahan beban pesawat rencana yang parkir pada *apron* tersebut. Untuk perencanaan perkerasan pada *taxiway* maupun *runway* digunakan perkerasan lentur dikarenakan beban yang di terima tidak terlalu besar, akan tetapi tetap di perhatikan keadaan tanah jikalau dibutuhkan

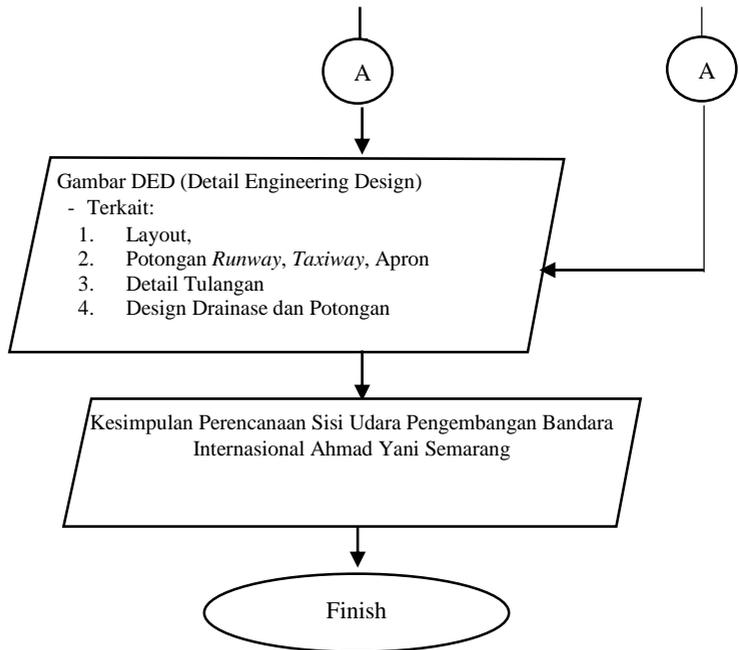
perkerasan kaku maka akan digunakan perkerasan kaku yang akan dilapisi oleh perkerasan lentur agar lebih nyaman.

- c) **Perbaikan Tanah**
Perbaikan tanah dilakukan dengan menggunakan metode pile slab, dan untuk daya dukung tiang pancang dihitung menggunakan literature buku pondasi suyono.

- d) **Perencanaan Drainase**
Dalam perencanaan drainase ini akan dibuat suatu kolam tampung guna mengatasi banjir yang sering terjadi disemarang agar saat terjadi hujan tidak terdapat genangan pada landas pacu. Dan untuk perhitungan kolam tampung sendiri akan digunakan beberapa literature yang membahas tentang penelusuran bajir, serta limpasan.

3.2. Bagan Alir Metodologi





“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV PENGUMPULAN & PENGOLAHAN DATA

4.1. Peramalan/*Forecasting* Pergerakan Pesawat

Langkah awal dalam perencanaan pengembangan Bandar Udara, adalah menganalisis pergerakan pesawat dan jenis pesawat apa saja yang akan digunakan untuk beberapa tahun yang akan datang. Untuk mengetahui pergerakan pesawat di waktu yang akan datang dilakukan dengan cara peramalan/*forecasting*.

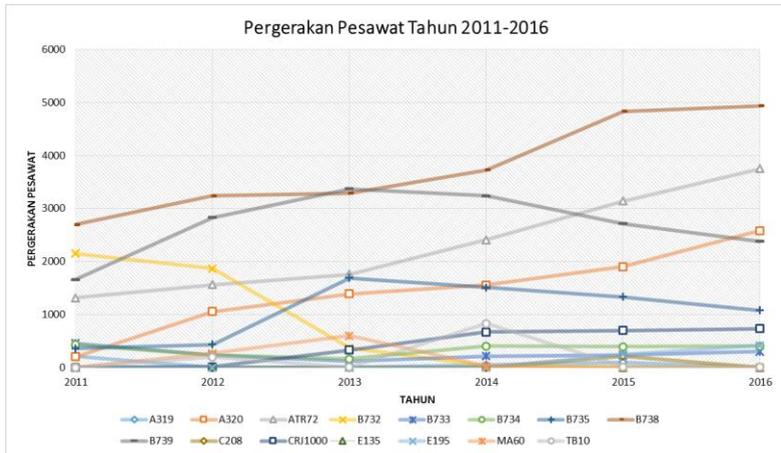
4.1.1. Analisis Pergerakan Pesawat Eksisting

Dari data yang didapat pada Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, didapat data pergerakan pesawat keberangkatan (*Annual Departure*) dari tahun 2011-2016, data tersebut nantinya digunakan untuk merencanakan pergerakan 20 tahun mendatang.

Tabel 4.1 : Data Pergerakan Tahun 2011-2016

NO	JENIS PESAWAT	TAHUN					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
		(DOMESTIK & INTERNASIONAL)					
1	A319	214	0	0	45	95	0
2	A320	200	1054	1387	1554	1898	2579
3	ATR72	1313	1558	1758	2407	3139	3754
4	B732	2146	1866	368	19	11	0
5	B733	453	235	118	211	231	296
6	B734	431	229	159	401	391	403
7	B735	353	432	1687	1511	1327	1078
8	B738	2696	3239	3291	3728	4836	4940
9	B739	1657	2827	3372	3236	2715	2377
10	C208	23	164	0	367	108	0
11	C402	5	0	0	0	211	0
12	CRJ1000	0	7	327	669	693	729
13	E135	0	5	6	20	0	0
14	E195	0	0	0	0	245	413
15	MA60	0	262	598	20	0	0
16	TB10	0	196	5	828	7	7

(Sumber : PT Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang)



Grafik 4. 1 : Grafik Pergerakan Pesawat Tahun 2011-2016
(Sumber : PT Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang)

4.1.2. Analisis Prakiraan/*Forecasting* Pergerakan Pesawat

Suatu rencana Bandar Udara harus dikembangkan berdasarkan prakiraan (*Forecast*). Dari prakiraan permintaan, dapat ditetapkan evaluasi keefektifan berbagai fasilitas Bandar Udara. Pada umumnya prakiraan dibutuhkan untuk jangka pendek, menengah, dan panjang atau sekitar 5, 10, dan 20 tahun mendatang. Makin panjang jangka prakiraan, ketepatannya makin berkurang dan harus dilihat sebagai suatu pendekatan saja (*Robert Horonjeff/Francis X Mckelvey*), pada perancangan kali ini digunakan metode Regresi Linear Sederhana untuk melakukan prakiraan tersebut.

4.1.2.1. Metode Regresi Linear Sederhana

Pada kasus Bandar Udara Internasional Ahmad Yani prakiraan yang dipilih merupakan prakiraan jangka panjang yaitu 20 tahun yang akan datang, dan menggunakan metode Regresi Linear Sederhana. Metode ini menggunakan 1 skenario yang

terdiri dari variabel X sebagai predictor, dan variabel Y sebagai response.

Banyaknya nilai X tergantung pada data eksisting yang tersedia. Pada perhitungan ini terdapat data pergerakan pesawat 6 tahun yang lalu yaitu pada tahun 2011-2016, sehingga nilai X berturut-turut adalah 1, 2, 3, 4, 5, 6. Sedangkan nilai Y adalah jumlah pergerakan pesawat pada tahun yang ditentukan, misal pada data yang didapat dari PT. Angkasa Pura I terlihat bahwa pada tahun pertama atau pada $X = 1$ didapat nilai pergerakan pesawat, atau nilai Y sebesar 214. Untuk memperkecil kesalahan pada peramalan maka digunakan peramalan masing-masing tipe pesawat. Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk pesawat tipe B737-800.

Tabel 4. 2 : Tabel Perhitungan Metode Regresi Linear Sederhana

	x (Tahun)	y (Jumlah Penumpang)	xy	x^2
B738	1	2.696	2.696	1
	2	3.239	6.478	4
	3	3.291	9.873	9
	4	3.728	14.912	16
	5	4.836	24.180	25
	6	4.940	29.640	36
Total	21	22.730	87.779	91

$$X \text{ mean} = \frac{1+2+3+4+5+6}{6}$$

$$= 3,5$$

$$Y \text{ mean} = \frac{2.969+3.239+3.291+3.728+4.836+4.940}{6}$$

$$= 3788,333$$

Dengan menggunakan persamaan 2 & 3 pada bab 2, maka didapat nilai :

$$b = \frac{87.779 - 79.555}{91 - 73,5}$$

$$= 469,943$$

$$a = 3,5 - (469,943 \times 3,5)$$

$$= 2143,53$$

Maka didapat persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai pergerakan untuk 20 tahun kedepan adalah :

$$y = 2143,53 + 469,943x$$

Untuk mengetahui prediksi prakiraan di tahun yang direncanakan, cara yang digunakan adalah mengganti nilai X dengan angka sesuai tahun yang akan diramalkan, misal peramalan pergerakan pesawat tahun 2017, maka nilai X adalah 7, dan seterusnya hingga tahun 2036.

$$y_7 = 2143,53 + (469,943 \times 7)$$

$$y_8 = 2143,53 + (469,943 \times 8)$$

$$y_9 = 2143,53 + (469,943 \times 9)$$

$$y_{10} = 2143,53 + (469,943 \times 10)$$

$$y_{11} = 2143,53 + (469,943 \times 11)$$

$$y_{12} = 2143,53 + (469,943 \times 12)$$

$$y_{13} = 2143,53 + (469,943 \times 13)$$

$$y_{14} = 2143,53 + (469,943 \times 14)$$

$$y_{15} = 2143,53 + (469,943 \times 15)$$

$$y_{16} = 2143,53 + (469,943 \times 16)$$

$$y_{17} = 2143,53 + (469,943 \times 17)$$

$$y_{18} = 2143,53 + (469,943 \times 18)$$

$$y_{19} = 2143,53 + (469,943 \times 19)$$

$$y_{20} = 2143,53 + (469,943 \times 20)$$

$$\begin{aligned}y_{21} &= 2143,53 + (469,943 \times 21) \\y_{22} &= 2143,53 + (469,943 \times 22) \\y_{23} &= 2143,53 + (469,943 \times 23) \\y_{24} &= 2143,53 + (469,943 \times 24) \\y_{25} &= 2143,53 + (469,943 \times 25) \\y_{26} &= 2143,53 + (469,943 \times 26) \\y_{27} &= 2143,53 + (469,943 \times 27) \\y_{28} &= 2143,53 + (469,943 \times 28) \\y_{29} &= 2143,53 + (469,943 \times 29) \\y_{30} &= 2143,53 + (469,943 \times 30) \\y_{31} &= 2143,53 + (469,943 \times 31) \\y_{32} &= 2143,53 + (469,943 \times 32) \\y_{33} &= 2143,53 + (469,943 \times 33) \\y_{34} &= 2143,53 + (469,943 \times 34) \\y_{35} &= 2143,53 + (469,943 \times 35) \\y_{36} &= 2143,53 + (469,943 \times 36)\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.3 disajikan rekapitulasi peramalan pergerakan tiap-tiap jenis pesawat dari tahun 2017-2036 menggunakan metode Linear Sederhana. Namun pada persamaan linear tersebut didapat nilai R^2 sebesar 0,9268, dan jika dicek dengan persamaan lain (Polynomial & Logaritmik) ternyata didapat nilai R^2 yang lebih besar dari pada persamaan linear. Maka dari itu digunakan nilai R^2 tertinggi dikarenakan semakin nilai R^2 mendekati “1” maka semakin mendekati nilai data eksisting. Hasil rekap dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 : Hasil Forecasting Metode Regresi Linear

NO	JENIS PESAWAT	MODEL FORECAST	NILAI R^2	FORECAST PERGERAKAN PESAWAT 20 TAHUN											
				TAHUN :											
				2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026		
1	A319	Polynomial	0,4694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	A320	Polynomial	0,9506	2827	3126	3397	3638	3850	4032	4185	4309	4404	4469	4469	4469
3	ATR72	Linear	0,9523	4082	4584	5087	5590	6093	6595	7098	7601	8104	8607	8607	8607
4	B732	Linear	0,7944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	B733	Linear	0,3329	289	312	336	359	383	406	430	453	477	500	500	500
6	B734	Linear	0,6391	491	549	607	665	723	781	839	897	955	1013	1013	1013
7	B735	Polynomial	0,9992	807	698	497	295	94	0	0	0	0	0	0	0
8	B738	Linear	0,9268	5427	5897	6367	6837	7307	7777	8247	8717	9187	9657	9657	9657
9	B739	Linear	0,3495	3010	3099	3189	3278	3367	3457	3546	3635	3725	3814	3814	3814
10	C208	Polynomial	0,3131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	C402	Polynomial	0,3131	183	173	158	135	106	71	28	0	0	0	0	0
12	CRJ1000	Linear	0,8398	1028	1209	1390	1571	1752	1933	2114	2295	2476	2657	2657	2657
13	E135	Polynomial	0,3131	214	198	179	151	129	98	63	24	0	0	0	0
14	E195	Linear	0,9885	633	839	1046	1252	1459	1665	1872	2078	2285	2491	2491	2491
15	MA60	Polynomial	0,3883	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	TB10	Polynomial	0,2709	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Sumber : Analisis Data)

Tabel 4. 4 : Hasil Forecasting Metode Regresi Linear

NO	JENIS PESAWAT	MODEL FORECAST	NILAI R^2	FORECAST PERGERAKAN PESAWAT 20 TAHUN												
				TAHUN :												
				2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036			
1	A319	Polynomial	0,4694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	A320	Polynomial	0,9506	4505	4511	4488	4436	4355	4244	4104	3935	3736	3508			
3	ATR72	Linear	0,9523	9109	9612	10115	10618	11120	11623	12126	12629	13132	13634			
4	B732	Linear	0,7944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	B733	Linear	0,3329	524	547	571	594	618	641	665	688	712	735			
6	B734	Linear	0,6391	1071	1129	1187	1245	1303	1361	1419	1477	1535	1593			
7	B735	Polynomial	0,9992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	B738	Linear	0,9268	10127	10597	11067	11537	12007	12477	12947	13416	13886	14356			
9	B739	Linear	0,3495	3904	3993	4082	4172	4261	4350	4440	4529	4618	4708			
10	C208	Polynomial	0,3131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	C402	Polynomial	0,3131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	CR1000	Linear	0,8398	2838	3019	3200	3381	3562	3743	3924	4105	4286	4467			
13	E135	Polynomial	0,3131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	E195	Linear	0,9885	2698	2904	3111	3317	3524	3730	3937	4143	4350	4556			
15	MA60	Polynomial	0,3883	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	TB10	Polynomial	0,2709	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

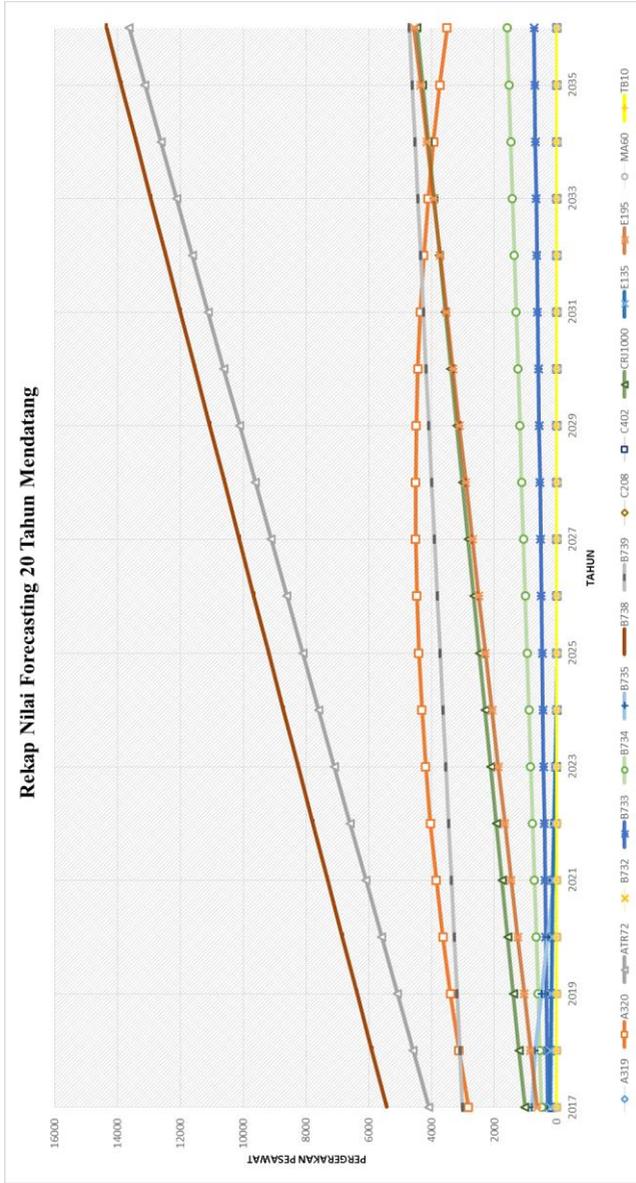
(Sumber : Analisis Data)

Tabel 4.5 : Rekap Nilai R^2 serta Nilai Forecast perpesawat

NO	JENIS PESAWAT	MODEL FORECAST	NILAI R^2
1	A319	Polynomial	0,4694
2	A320	Polynomial	0,9506
3	ATR72	Linear	0,9523
4	B732	Linear	0,7944
5	B733	Linear	0,3329
6	B734	Linear	0,6391
7	B735	Polynomial	0,9992
8	B738	Linear	0,9268
9	B739	Linear	0,3495
10	C208	Polynomial	0,3131
11	C402	Polynomial	0,3131
12	CRJ1000	Linear	0,8398
13	E135	Polynomial	0,3131
14	E195	Linear	0,9885
15	MA60	Polynomial	0,3883
16	TB10	Polynomial	0,2709

(Sumber : Analisis Data)

Grafik 4. 2 : Rekap Nilai Forecasting 20 Tahun Mendatang



(Sumber : Analisis Data)

Dari grafik peramalan pergerakan pesawat untuk 20 tahun yang akan datang dapat dilihat bahwasanya terdapat kenaikan dan penurunan jumlah pergerakan dari tahun sebelumnya. Untuk pesawat tipe A320, ATR72, B737-300, B737-400, B737-800, B737-900ER, CRJ1000, dan E195 mengalami kenaikan, dan untuk pesawat lain mengalami penurunan, dan dapat dilihat bahwa pesawat tipe B737-800 memiliki angka pertumbuhan terbanyak hingga mencapai 5000 pertahunnya, maka dari itu dibutuhkan suatu pengembangan fasilitas bandara guna memenuhi permintaan pada 20 tahun mendatang.

4.1.3. Perhitungan Peak Hours Rencana

Setelah didapatkan jumlah pergerakan pesawat pada tahun rencana, dilakukan perhitungan volume jam puncak yaitu merupakan jumlah pergerakan pesawat pada kondisi *peak hour*. Pergerakan pada jam puncak dapat diperoleh dengan cara mengkonversikan data pergerakan pesawat pertahun menjadi pergerakan pesawat pada jam puncak dengan mengalikannya dengan beberapa koefisien yang telah di jelaskan pada sub bab 2.4, berikut adalah contoh perhitungan peak hour rencana untuk pesawat Boeing 737-800 :

a. **Average Monthly (Rata-rata Pergerakan Perbulan)**

Dengan menggunakan persamaan 4 pada bab 2, maka akan didapat nilai rata-rata pergerakan perbulan, misal *annual departure* untuk Boeing 737-800 pada tahun 2017 adalah sebesar 5427, maka didapat nilai rata-rata pergerakan perbulan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Average Monthly} &= 0,08417 \times 5427 \\ &= 457 \text{ Pergerakan} \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai *Average Monthly*, maka dapat dihitung jumlah pergerakan rata-rata harian (*Average Daily Passanger*) untuk pesawat Boeing 737-800.

b. ***Average Daily Passanger (Rata-rata Pergerakan Harian)***

Dengan menggunakan persamaan 5 pada bab 2, maka akan didapat nilai rata-rata pergerakan harian untuk tahun yang diinginkan yaitu pada tahun 2017, dikarenakan contoh perhitungan merupakan perhitungan untuk tahun 2017. Didapat nilai *Average Daily Passanger* sebesar :

$$\begin{aligned} \textit{Average Daily Passanger} &= 0,03226 \times 457 \\ &= 15 \textit{ pergerakan/hari} \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai *Average Daily Passanger*, maka dapat dihitung jumlah pergerakan maksimum harian (*Peak Daily Flow*) untuk pesawat Boeing 737-800.

c. ***Peak Daily Flow (Pergerakan Maksimum Harian)***

Dengan menggunakan persamaan 6 pada bab 2, maka akan didapat nilai pergerakan harian maksimum untuk tahun yang diinginkan yaitu pada tahun 2017, dikarenakan contoh perhitungan merupakan perhitungan untuk tahun 2017. Didapat nilai *Peak Daily Flow* sebesar :

$$\begin{aligned} \textit{Peak Daily Flow} &= 1,26 \times 15 \\ &= 19 \textit{ Pergerakan} \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai *Peak Daily Flow*, maka dapat dihitung jumlah pergerakan pada jam puncak (*Peak Hour Flow*) untuk pesawat Boeing 737-800.

d. ***Peak Hour Flow (Pergerakan Pada Jam Puncak)***

Dengan menggunakan persamaan 7 pada bab 2, maka akan didapat nilai pergerakan pada jam puncak untuk tahun yang diinginkan yaitu pada tahun 2017, dikarenakan

contoh perhitungan merupakan perhitungan untuk tahun 2017. Didapat nilai *Peak Hour Flow* sebesar :

$$\begin{aligned} \textit{Peak Hour Flow} &= 0,0917 \times 19 \\ &= 2 \textit{ Pergerakan} \end{aligned}$$

Dengan mengulangi langkah yang sama untuk tiap-tiap pesawat setiap tahunnya, maka akan didapat pergerakan pada jam puncak dari tahun 2018-2036 untuk masing-masing tipe pesawat, berikut ini adalah rekap hasil perhitungan rencana *peak hour flow* masing-masing tipe pesawat yang ada di Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang :

Tabel 4.6 : Hasil Perhitungan Average Monthly PerPesawat

Tahun	Forecast Pergerakan															
	A319	A320	ATR72	B732	B733	B734	B735	B738	B739	C208	C402	CRJ1000	E135	E195	MA60	TB10
2017	0	238	344	0	24	41	68	457	253	0	15	87	18	53	0	0
2018	0	263	386	0	26	46	59	496	261	0	15	102	17	71	0	0
2019	0	286	428	0	28	51	42	536	268	0	13	117	15	88	0	0
2020	0	306	471	0	30	56	25	575	276	0	11	132	13	105	0	0
2021	0	324	513	0	32	61	8	615	283	0	9	147	11	123	0	0
2022	0	339	555	0	34	66	0	655	291	0	6	163	8	140	0	0
2023	0	352	597	0	36	71	0	694	298	0	2	178	5	158	0	0
2024	0	363	640	0	38	76	0	734	306	0	0	193	2	175	0	0
2025	0	371	682	0	40	80	0	773	314	0	0	208	0	192	0	0
2026	0	376	724	0	42	85	0	813	321	0	0	224	0	210	0	0
2027	0	379	767	0	44	90	0	852	329	0	0	239	0	227	0	0
2028	0	380	809	0	46	95	0	892	336	0	0	254	0	244	0	0
2029	0	378	851	0	48	100	0	932	344	0	0	269	0	262	0	0
2030	0	373	894	0	50	105	0	971	351	0	0	285	0	279	0	0
2031	0	367	936	0	52	110	0	1011	359	0	0	300	0	297	0	0
2032	0	357	978	0	54	115	0	1050	366	0	0	315	0	314	0	0
2033	0	345	1021	0	56	119	0	1090	374	0	0	330	0	331	0	0
2034	0	331	1063	0	58	124	0	1129	381	0	0	346	0	349	0	0
2035	0	314	1105	0	60	129	0	1169	389	0	0	361	0	366	0	0
2036	0	295	1148	0	62	134	0	1208	396	0	0	376	0	383	0	0

(Sumber : Analisis Data)

Tabel 4. 7 : Hasil Perhitungan Average Daily Passenger PerPesawat

Tahun	Forecast Pergerakan															
	A319	A320	A1R72	B732	B733	B734	B735	B738	B739	C208	C402	CRJ1000	E135	E195	MA60	TB10
2017	0	8	11	0	1	1	2	15	8	0	0	3	1	2	0	0
2018	0	8	12	0	1	1	2	16	8	0	0	3	1	2	0	0
2019	0	9	14	0	1	2	1	17	9	0	0	4	0	3	0	0
2020	0	10	15	0	1	2	1	19	9	0	0	4	0	3	0	0
2021	0	10	17	0	1	2	0	20	9	0	0	5	0	4	0	0
2022	0	11	18	0	1	2	0	21	9	0	0	5	0	5	0	0
2023	0	11	19	0	1	2	0	22	10	0	0	6	0	5	0	0
2024	0	12	21	0	1	2	0	24	10	0	0	6	0	6	0	0
2025	0	12	22	0	1	3	0	25	10	0	0	7	0	6	0	0
2026	0	12	23	0	1	3	0	26	10	0	0	7	0	7	0	0
2027	0	12	25	0	1	3	0	27	11	0	0	8	0	7	0	0
2028	0	12	26	0	1	3	0	29	11	0	0	8	0	8	0	0
2029	0	12	27	0	2	3	0	30	11	0	0	9	0	8	0	0
2030	0	12	29	0	2	3	0	31	11	0	0	9	0	9	0	0
2031	0	12	30	0	2	4	0	33	12	0	0	10	0	10	0	0
2032	0	12	32	0	2	4	0	34	12	0	0	10	0	10	0	0
2033	0	11	33	0	2	4	0	35	12	0	0	11	0	11	0	0
2034	0	11	34	0	2	4	0	36	12	0	0	11	0	11	0	0
2035	0	10	36	0	2	4	0	38	13	0	0	12	0	12	0	0
2036	0	10	37	0	2	4	0	39	13	0	0	12	0	12	0	0

(Sumber : Analisis Data)

Tabel 4.8 : Hasil Perhitungan Peak Daily Flow PerPesawat

Tahun	Forecast Pergerakan															
	A319	A320	ATR72	B732	B733	B734	B735	B738	B739	C208	C402	CRJ1000	E135	E195	MA60	TB10
2017	0	10	14	0	1	2	3	19	10	0	1	4	1	2	0	0
2018	0	11	16	0	1	2	2	20	11	0	1	4	1	3	0	0
2019	0	12	17	0	1	2	2	22	11	0	1	5	1	4	0	0
2020	0	12	19	0	1	2	1	23	11	0	0	5	1	4	0	0
2021	0	13	21	0	1	2	0	25	12	0	0	6	0	5	0	0
2022	0	14	23	0	1	3	0	27	12	0	0	7	0	6	0	0
2023	0	14	24	0	1	3	0	28	12	0	0	7	0	6	0	0
2024	0	15	26	0	2	3	0	30	12	0	0	8	0	7	0	0
2025	0	15	28	0	2	3	0	31	13	0	0	8	0	8	0	0
2026	0	15	29	0	2	3	0	33	13	0	0	9	0	9	0	0
2027	0	15	31	0	2	4	0	35	13	0	0	10	0	9	0	0
2028	0	15	33	0	2	4	0	36	14	0	0	10	0	10	0	0
2029	0	15	35	0	2	4	0	38	14	0	0	11	0	11	0	0
2030	0	15	36	0	2	4	0	39	14	0	0	12	0	11	0	0
2031	0	15	38	0	2	4	0	41	15	0	0	12	0	12	0	0
2032	0	15	40	0	2	5	0	43	15	0	0	13	0	13	0	0
2033	0	14	41	0	2	5	0	44	15	0	0	13	0	13	0	0
2034	0	13	43	0	2	5	0	46	15	0	0	14	0	14	0	0
2035	0	13	45	0	2	5	0	48	16	0	0	15	0	15	0	0
2036	0	12	47	0	3	5	0	49	16	0	0	15	0	16	0	0

(Sumber : Analisis Data)

4.2. Analisis Geometrik Fasilitas Sisi Udara (*Airside*) Bandar Udara Internasional Ahmad Yani

Meningkatnya jumlah pergerakan pesawat serta variasi pesawat yang bermacam-macam membuat pihak bandara udara Internasional Ahmad Yani perlu menganalisis geometrik fasilitas sisi udara (*airside*). Data yang dibutuhkan untuk analisis geometrik fasilitas sisi udara (*airside*) adalah data spesifikasi pesawat dan kondisi geografis Bandar Udara.

4.2.1. Analisis Landas Pacu/*Runway*

Menggunakan hasil dari peramalan pergerakan pesawat untuk 20 tahun kedepan diketahui tingkat pergerakan jumlah yang paling besar nantinya dijadikan sebagai acuan dalam menganalisis landas pacu, akan tetapi perlu diperhatikan tipe jenis pesawat yang mendarat di bandara tersebut apakah panjang *runway* cukup untuk menampung semua tipe pesawat. Dari data pergerakan pesawat tahun 2017-2036 diketahui pesawat dengan jumlah paling besar adalah Boeing 737-800. Spesifikasi dari pesawat Boeing 737-800 digunakan sebagai data awal untuk menganalisis landas pacu yang dibutuhkan.

Data selanjutnya yang digunakan adalah data geografis Bandar Udara khususnya pada landas pacu, kondisi geografis Bandar Udara akan mempengaruhi panjang landasan pacu yang dibutuhkan baik itu pesawat lepas landas maupun mendarat.

4.2.1.1. Analisis Panjang *Runway* Cara Analitis (*Take Off*)

Data awal yang diperlukan untuk analisis adalah panjang landas pacu (*runway*), data ini merupakan data panjang awal yang dibutuhkan pesawat untuk lepas landas (*take off*). Pada pembahasan sebelumnya didapat bahwa pesawat yang dipakai untuk perancangan landas pacu ini adalah pesawat Boeing 737-800, pesawat tipe tersebut berdasarkan literatur yang ada membutuhkan panjang landas pacu sebesar 2256 m, akan tetapi jika dilihat beragam jenis pesawat yang mendarat pada Bandar Udara internasional Ahmad Yani Semarang, ternyata terdapat

beberapa pesawat yang membutuhkan panjang landas pacu lebih dari pada Boeing 737-800, maka dari itu perlu ditinjau panjang landas pacu dari tiap-tiap pesawat yang mendarat pada Bandar Udara tersebut, tabel berikut ini akan menunjukkan kebutuhan panjang landas pacu pada tiap-tiap tipe pesawat :

Tabel 4. 9 : Tabel Kebutuhan Panjang *Runway* Tiap Pesawat

No	Jenis Pesawat	Kebutuhan Runway Pesawat (m)
1	A319	1750
2	A320	2190
3	ATR72	1500
4	B732	1990
5	B733	1940
6	B734	2540
7	B735	1830
8	B738	2256
9	B739	2240
11	C208	740
12	C402	677
13	CRJ1000	1972
14	E135	1580
15	E195	1742
16	MA60	1800
17	TB10	1100

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014 & Skybrary)

Maka dengan mengacu pada tabel 4.10 dapat dilihat bahwa dibutuhkan panjang *runway* sebesar 2540 m agar semua pesawat yang pernah mendarat pada Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang dapat ditampung seutuhnya, maka dari itu pesawat

rencana untuk menghitung panjang landas pacu berubah yang semula pesawat tipe Boeing 737-800 menjadi Boeing 737-400.

Setelah didapatkan data panjang landas pacu yang dibutuhkan selanjutnya dibutuhkan data kondisi geografis Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, data yang dibutuhkan antara lain adalah letak ketinggian Bandar Udara diatas permukaan laut, temperatur lapangan, dan kemiringan landas pacu/gradient efektif. Data yang diperoleh dari PT. Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang didapatkan letak ketinggian diatas permukaan laut adalah 3 m dan suhu lapangan disekitar landas pacu adalah $30,71^{\circ}$ C. Untuk kemiringan landas pacu dicari menggunakan *software Google Earth*. kemiringan didapat dari perbedaan elevasi antara *Runway 13/STA 0+000*, *Runway Center/STA 1+285*, dan *Runway 31/STA 2+570*, Elevasi *Runway 13*, *Runway Center*, dan *Runway 31* masing-masing adalah 4 m, 3 m, 1 m. Sehingga didapat angka kemiringan landas pacu/gradient efektif *runway* sebesar 0,0013%. Dari data-data tersebut nantinya digunakan untuk koreksi panjang landasan pacu. Beberapa koreksi tersebut antara lain koreksi ketinggian/elevasi, koreksi temperatur, dan koreksi kemiringan/gradient efektif. Stelah didapatkan semua angka koreksi tersebut, maka akan diketahui panjang *runway* yang dibutuhkan pesawat Boeing 737-400 untuk melakukan lepas landas.

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan koreksi ini adalah sebagai berikut :

- Aerodrome Reference Field Length (ARFL) : 2540 m
- Elevasi Bandar Udara : 3 mdpl
- Temperatur : $30,71^{\circ}$ C
- Gradient Efektif : 0,0013 %

Perhitungan Angka Koreksi :

1. Koreksi Panjang *Runway* Terhadap Temperatur (Ft)

Tabel 4. 10 : Data Suhu Semarang Tahun 2016

Tahun		2016		
Provinsi	Stasiun BMKG	Suhu/Temperature		
		Minimum	Rata-Rata	Maksimum
Jawa Tengah	Semarang ¹²	24,64	28,02	32,05

(Sumber : Data Base BMKG)

Dari data diatas maka didapat :

- $T_a = 32,05^\circ \text{C}$
- $T_m = 28,02^\circ \text{C}$

Dan didapat *Airport Reference Temperature* sebesar :

$$\begin{aligned}
 T &= T_a + \frac{T_m - T_a}{3} \\
 &= 32,05 + \frac{28,05 - 32,05}{3} \\
 &= 30,71^\circ \text{Celcius}
 \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai “T” maka dilakukan perhitungan koreksi panjang landas pacu terhadap pengaruh suhu sebesar T dengan menggunakan persamaan 8 pada bab 2, berikut adalah perhitungan koreksi panjang landas pacu terhadap suhu sekitar :

Metric

$$\begin{aligned}
 F_t &= 1 + 0,01(T - (15 - 0,0065 h)) \\
 &= 1 + 0,01(30,71 - (15 - 0,0065 \times 3)) \\
 &= 1,1573
 \end{aligned}$$

2. Koreksi Panjang *Runway* Terhadap Ketinggian (Fe)

Dengan data yang didapat dari Bandar Udara Ahmad Yani Semarang diketahui bahwa ketinggian bandara berada di 3

mdpl, maka dari itu dapat langsung dilakukan perhitungan koreksi panjang *runway* terhadap ketinggian dengan menggunakan persamaan 10 pada bab 2, berikut adalah perhitungan tersebut :

$$\begin{aligned}
 \text{Metric} \\
 \text{Fe} &= 1 + 0,07 \frac{h}{300} \\
 &= 1 + 0,07 \frac{3}{300} \\
 &= 1,0007
 \end{aligned}$$

3. Koreksi Panjang *Runway* Terhadap Kemiringan *Runway*/Gradient Efektif

Koreksi kemiringan dibutuhkan jika gradient efektif bernilai lebih besar dari pada 0%, dan jika dibutuhkan koreksi maka koreksi tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 12 pada bab 2. Untuk dapat mengetahui kemiringan *runway* berturut-turut dibutuhkan pengaya *software* yaitu *google earth* untuk menampilkan profil ketinggian tanah pada *runway* Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, berikut adalah gambar profil ketinggian yang diambil dengan menggunakan *software google earth* :

Gambar 4. 1 : Profil Ketinggian Runway Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang



(Sumber : Google Earth)

Dengan menggerakkan kursor pada STA yang diinginkan maka akan didapat ketinggian-ketinggian *runway*, akan tetapi agar hasil lebih relevan maka panjang *runway* tersebut yaitu 2570 m dibagi menjadi 10 STA dan dilihat profil ketinggian serta kemiringannya pada tiap-tiap STA, berikut adalah rekap ketinggian dan kemiringan dari tiap-tiap STA pada *runway* 13 menuju ke *runway* 31 :

Tabel 4. 11 : Rekap Ketinggian dan Kemiringan *Runway* Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang

STA (Meter)	Ketinggian (Meter)	Kemiringan (%)
STA + 0	4	1,80
STA + 257	5	-1,50
STA + 514	3	0,30
STA + 771	4	0,20
STA + 1028	3	1,30
STA + 1285	3	-0,70
STA + 1542	1	-0,30
STA + 1799	1	0,00
STA + 2056	1	0,00
STA + 2313	1	0,00
STA + 2570	1	0,00

(Sumber : Google Earth)

Maka dengan menggunakan data diatas dapat dihitung gradient efektif dari landas pacu Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, berikut adalah perhitungan untuk mencari nilai gradient efektif :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1,80\% - (-1,50\%)}{2540} \\
 &= 0,0013\%
 \end{aligned}$$

Dengan didapatnya nilai gradient efektif sebesar 0,0013% yang lebih besar dari pada 0% maka diperlukan perhitungan

koreksi panjang *runway* terhadap gradient efektif. Berikut adalah perhitungan koreksi tersebut :

Metric atau *Imperial*

$$\begin{aligned} F_s &= 1 + 0,1 \times 0,0013\% \\ &= 1,0001 \end{aligned}$$

Setelah semua koefisien koreksi didapat, maka dapat dilakukan perhitungan panjang landas pacu akibat kondisi lingkungan , panjang landas pacu koreksi dihitung dengan menggunakan persamaan 13 pada bab 2, dan berikut adalah perhitungan tersebut :

Metric

$$\begin{aligned} L_{r0} &= 2540 \times 1,15726 \times 1,0007 \times 1,00013 \\ &= 2941,9 \text{ meter} \end{aligned}$$

4.2.1.2. Analisis Panjang *Runway* Cara Analitis (*Landing*)

Data yang digunakan untuk analisis kebutuhan panjang landas pacu untuk pendaratan tidak jauh beda dengan data analisis kebutuhan panjang pada saat lepas landas. Data geografis yang dipakai semuanya sama, yang membedakan hanya panjang ARFL pesawat untuk melakukan pendaratan (L approach). Panjang ARFL Boeing 737-400 pada saat mendarat adalah 1700 m. Jarak ujung landasan (threshold) ke titik *touchdown* pesawat pada Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang adalah 400 m. Maka dari itu panjang akhir yang dibutuhkan untuk pendaratan setelah disesuaikan dengan kondisi lapangan adalah 2100 m. Langkah selanjutnya sama, yaitu dilakukan pengkoreksian panjang pendaratan tersebut terhadap temperatur, ketinggian/elevasi, dan kemiringan/gradient efektif.

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan koreksi ini adalah sebagai berikut :

- Aerodrome Reference Field Length (ARFL) : 2100 m
- Elevasi Bandar Udara : 3 mdpl

- Temperatur : 30,71° C
- Gradient Efektif : 0,0013 %

Dengan menggunakan persamaan 13 pada bab 2, maka Lr_0 bernilai

Metric

$$\begin{aligned} Lr_0 &= 2100 \times 1,15726 \times 1,0007 \times 1,00013 \\ &= 2432,3 \text{ meter} \end{aligned}$$

Dengan melihat hasil diatas maka panjang landas pacu saat *take off* dapat menampung kebutuhan panjang landas pacu saat *landing*, maka panjang landas pacu rencana yang digunakan adalah sebesar 2941,9 meter atau sebesar 2950 meter.

4.2.1.3. Analisis *Declared Distane*

Panjang *runway* yang diperhitungkan berdasarkan pada Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara yaitu KP 29 tahun 2014 tentang Manual Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, harus cukup untuk memenuhi persyaratan operasional pesawat udara yang direncanakan. Jarak operasional tersebut merupakan jarak yang diberitahukan kepada penerbangan untuk tujuan *take-off*, landing atau pembatalan *take-off* dengan aman yang disebut juga sebagai *Declared Distances*. Jarak ini digunakan untuk menentukan apakah *runway* cukup untuk *take-off* atau landing seperti yang diinginkan atau untuk menentukan beban maksimum yang diijinkan untuk *landing* atau *take-off*.

1. *Take Off Runway Available* (TORA)

Merupakan panjang keseluruhan *runway* yaitu

$$\text{TORA} = 2950 \text{ meter}$$

2. Take Off Distance Available (TODA)

Jarak yang tersedia bagi pesawat udara untuk menyelesaikan *ground run*, *lift off* dan *initial climb* hingga 35 ft. Pada umumnya ini adalah panjang keseluruhan *runway* ditambah panjang CWY.

Tabel 4. 12 : Lebar dan Panjang Clearway

Golongan Pesawat	Lebar Clearway (m)	Panjang Clearway (m)
1	60	120
2	80	120
3	150	120
4	150	120

(Sumber KP no 20 Tahun 2014)

Maka dari itu panjang dari TODA adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \text{TODA} &= 2950 + 120 \\ &= 3070 \text{ meter} \end{aligned}$$

3. Accelerate-Stop Distance Available (ASDA)

Panjang jarak meluncur *take off* yang tersedia (*length of the take-off run available*) ditambah panjang SWY. CWY tidak termasuk didalamnya. Dikatakan bahwa panjang dari setiap stopway disediakan, harus terletak sedemikian rupa, sehingga ia berada dan berakhir di 60 m sebelum ujung *runway strip*.

$$\begin{aligned} \text{ASDA} &= \text{TORA} + \text{SWY} \\ &= 2950 + 60 \\ &= 3010 \text{ meter} \end{aligned}$$

4. Landing Distance Available (ASDA)

Panjang dari *runway* yang tersedia untuk meluncur pada saat pendaratan pesawat udara. LDA dimulai dari *runway threshold*. Baik SWY maupun CWY tidak termasuk didalamnya.

$$\text{LDA} = 2435 \text{ meter}$$

4.2.1.4. Analisis Lebar *Runway*

KP mempunyai klasifikasi teknis dimensi landasan pacu, klasifikasi tersebut dibagi berdasarkan Kode Referensi Aerodrome Pesawat, klasifikasi Bandar Udara Internasional Ahmad Yani dalam sistem klasifikasi dikategorikan pada 4C, dikrenakan pesawat rencana yang paling besar merupakan kateogri 4C menurut Kode Referensi Aerodrome Tersebut. Cara menentukan kode referensi tersebut sudah dibahas sebelumnya pada Sub bab landas pacu.

Tabel 4. 13 : Kode Referensi Aerodrome Pesawat

Kode Referensi Aerodrome				
Kode elemen 1		Kode elemen 2		
Kode Nomor	Referensi Panjang Landas Pacu untuk digunakan Pesawat Udara	Kode Huruf	Lebar Sayap	Lebar jarak antara roda-roda utama Terluar
1	Kurang dari 800 m	A	Sampai dan kurang dari 15 m	Sampai dan kurang dari 4.5 m
2	800 m dan kurang dari 1.200 m	B	Sampai 15 m dan kurang dari 24 m	Sampai 4.5 m dan kurang dari 6 m
3	1.200 m dan kurang dari 1.800 m	C	24 m dan kurang dari 36 m	6 m dan kurang dari 9 m
4	1.800 m dan lebih	D	36 m dan kurang dari 52m	9 m dan kurang dari 14m
		E	52 m dan kurang dari 65 m	9 m dan kurang dari 14 m
		F	65 m dan kurang dari 80 m	14 m dan kurang dari 16 m

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

Dengan menerapkan kode referensi tersebut maka akan didapat lebar *runway* yang dibutuhkan untuk pesawat rencana dengan kode 4C yaitu Boeing 737-400 adalah sebesar :

Tabel 4. 14 : Lebar *Runway* berdasarkan KP no 29 Tahun 2014

Code number	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
1 ^a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

Catatan:
^a Jika sebuah Code Number precision approach runway adalah 1 atau 2, maka lebar landas pacu (runway) tidak boleh kurang dari 30 m.

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

4.2.1.5. Analisis Elemen Dasar *Runway*

Dengan menerapkan kode referensi pada elemen-elemen yang ada pada landas pacu maka akan didapat ukuran serta bentuk-bentuk dari elemen landas pacu yang dibutuhkan, berikut ini adalah pembahasan tentang elemen-elemen dari *runway* itu sendiri :

1. Bahu *Runway*

Untuk ukuran bahu *runway* sendiri berdasarkan KP no 29 tahun 2014 bergantung pada *code letter* yang didapat dari pesawat rencana dan dikatakan pada pasal 6.2.12.1-6.2.12.3, maka dengan melihat pasal tersebut didapat lebar bahu landas pacu 60 m, lebar tersebut sudah termasuk lebar landas pacu Bandar Udara.

2. *Runway Strip*

Runway strip memiliki ukuran panjang dan juga lebar, berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.3 tentang *runway strip*, ukuran panjang dan juga lebar dari *runway strip* berturut-turut adalah :

- a. Panjang *Runway Strip* : karna *runway* rencana merupakan *runway instrument* maka digunakan panjang sebesar 60m
- b. Lebar *Runway Strip* : dalam *runway* yang berinstrument telah dijelaskan pada pasal 6.3.3 bahwa *graded area* dari *runway* tidak boleh kurang dari tabel 4.16, yaitu :

Tabel 4. 15 : Lebar *Runway Strip*

Kode Referensi Aerodrome	Lebar runway strip
1 ^{a b}	60 m
2 ^c	80 m
3 (jika lebar runway 30 m)	90 m
3,4 (jika lebar runway 45 m atau lebih)	150 m

^a *Runway strip dapat dikurangi sampai 30 m tergantung pada batasan-batasan yang diterapkan pada operasional pesawat udara kecil. Lihat Bab 13.*

^b *Runways yang digunakan pada malam hari memerlukan runway strip dengan lebar minimum 80 m.*

^c *Runways yang digunakan pada siang hari oleh pesawat udara yang bobotnya tidak lebih dari 5.700 kg diperkenankan untuk memiliki runway strip dengan lebar minimum 60 m.*

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

3. *Runway End Safety Area* (RESA)

Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.4 tentang RESA, dimensi dari RESA berturut-turut adalah :

 - a. Dimensi RESA : untuk pesawa rencana yang memiliki kode 4C panjang tambahan bagi RESA perlu disediakan yaitu sebesar 240 m
 - b. Kemiringan RESA : untuk kemiringan daerah RESA sendiri diatur dalam pasal 6.4.3 yang mengklasifikasikan kemiringan berdasarkan kode pesawat rencana, dan pada kasus Bandar Udara Internasional Ahmad Yani ini didapat batas untuk kemiringan memanjang maupun melintang tidak boleh lebih dari 5%.

4. *Runway Turn Pad*

Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.2.4 dikatakan bahwa lebar keseluruhan *turn pad* dan *runway* harus sedemikian rupa sehingga sudut roda depan pengendali pesawat udara yang berputar tak melebihi 45° , dan apabila sebuah *turn pad* tersedia disembarang titik pada sebuah *runway* maka, lebar dari *turn pad* tersebut harus sedemikian rupa sehingga *clearance* diantara roda gigi utama terluar dari pesawat udara yang menggunakan *runway* tepi dari *turn pad* pada titik itu tidak kurang dari jarak *clearance* yang ditentukan oleh tabel 4.17 :

Tabel 4. 16 : Minimum Clearance pada *Runway Turn Pad*

Code Letter	Minimum Clearance
A	1.5 m
B	2.25 m
C	4.5 *m
D, E or F	4.5 m
* Jika <i>turn pad</i> atau kurva itu hanya dipergunakan untuk melayani pesawat udara dengan jarak antara roda depan dan roda belakang (<i>wheelbase</i>) kurang dari 18 m, <i>clearance</i> minimumnya sebesar 3,0 m.	
Catatan : Titik berputar secara normal harus terletak di sisi kiri <i>runway</i> kecuali apabila <i>runway</i> digunakan oleh pesawat udara pada sirkuit sisi kanan (<i>right hand circuits</i>).	

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

4.2.2. Analisis Landas Hubung/Taxiway

Perencanaan landas hubung/*taxiway* harus mampu melayani berbagai macam jenis pesawat, terutama pesawat berbadan besar seperti Airbuss. Dalam merencanakan landas hubung/*taxiway* ini perlu diperhatikan beberapahal terkait dimensi dari elemen-elemen *taxiway* yang dibutuhkan, diantaranya peraturan yang akan dipakai dalam perencanaan ini adalah ICAO serta KP no 29 tahun 2014, dalam perencanaan landas hubung ini tentu digunakan pesawat rencana Boeing 737-400 yang dikategorikan pada 4C

4.2.2.1. Analisis Lebar Landas Hubung/Taxiway

Berdasarkan peraturan KP no 29 tahun 2014 yaitu pada pasal 6.7 tentang *taxiway*, dapat dilihat bahwa lebar minimum untuk *taxiway* pada Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, yaitu :

Tabel 4. 17 : Lebar Minimum Taxiway

Code Letter	Lebar Taxiway Minimum (Bagian Lurus)
A	7.5 m
B	10.5 m
C	18 m ^a
D	23 m ^b
E	23 m
F	25 m
^a Jika <i>taxiway</i> hanya ditujukan untuk melayani pesawat udara dengan jarak antar roda (<i>wheelbase</i>) kurang dari 18 m, lebarnya dapat dikurangi menjadi 15 m. ^b Jika <i>taxiway</i> hanya ditujukan untuk melayani pesawat udara dengan bentangan roda utama terluar kurang dari 9 m, lebarnya dapat dikurangi menjadi 18 m.	

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

4.2.2.2. Analisis Elemen Dasar Taxiway

Dengan menerapkan kode referensi pada elemen-elemen yang ada pada landas hubung maka akan didapat ukuran serta bentuk-bentuk yang dibutuhkan, berikut ini adalah pembahasan tentang elemen-elemen dari landas hubung tersebut :

1. Clearance Tepian Taxiway

Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pada pasal 6.7.2 dikatakan jarak minimum diantara roda utama terluar dan tepi *taxiway* tidak boleh kurang dari tabel 4.19 :

Tabel 4. 18 : Clearance Minimum Tepian Taxiway

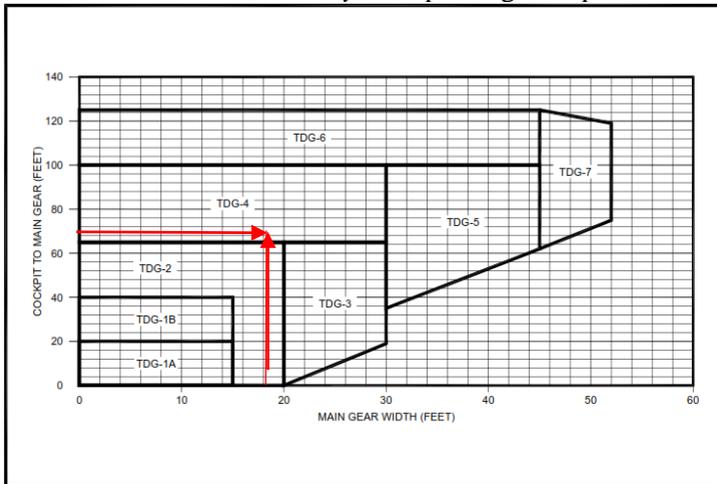
Code Letter	Clearance minimum
A	1.5 m
B	2.25 m
C	4.5 m [*]
D, E or F	4.5 m
[*] Jika <i>turn pad</i> atau kurva hanya untuk melayani pesawat udara dengan <i>wheelbase</i> yang kurang dari 18 m, maka minimum clearance sebesar 3,0 m.	

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

2. Taxiway Curves

Dalam perencanaan *taxiway curves* ini digunakan cara ICAO yang menggunakan *Taxiway Design Group*, *taxiway design group* didapat dengan menggunakan grafik dibawah ini :

Grafik 4. 3 : Taxiway Group Design Graphic



(Sumber : ICAO)

Maka dengan mengkorelasikan *cocpit to main gear* dengan *main gear widht* maka didapat jenis TDG yang akan dipakai berdasarkan pesawat rencanaa yaitu boeing 737-400 yaitu TDG 4, maka dengan melihat tabel 4.20 akan didapat ukuran *taxiway curves* berdasarkan kategori TDG-4, yaitu :

Tabel 4. 19 : Ukuran Taxiway Curve dalam meter

TDG 4	Figure 2.35
Δ (Degree)	90
W-0 (m)	7,625
W-1 (m)	10,675
W-2 (m)	21,96
L-1 (m)	91,5

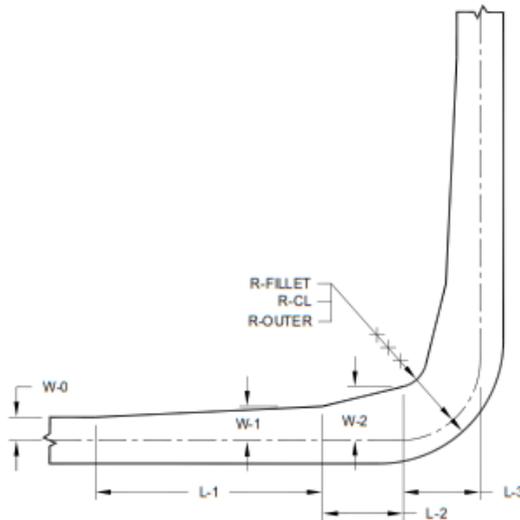
L-2 (m)	44,225
L-3 (m)	21,96
R-Fillet (m)	0
R-CL (m)	28,975
R-Outer (m)	36,6

(Sumber : ICAO)

TDG 4							
Dimension (See Figure 4-13, Figure 4-14, and Figure 4-15)							
Δ (degrees)	30	45	60	90	120	135	150
W-0 (ft)	25	25	25	25	25	25	25
W-1 (ft)	32	33	35	35	37	36	37
W-2 (ft)	43	52	60	72	68	70	72
L-1 (ft)	258	286	297	300	316	303	316
L-2 (ft)	100	112	120	145	115	133	121
L-3 (ft)	12	21	35	72	188	274	433
R-Fillet (ft)	0	0	0	0	50	50	50
R-CL (ft)	110	110	110	95	115	120	120
R-Outer (ft)	135	135	135	120	140	145	145

Note: Values in the table are rounded to the nearest foot. 1 foot = 0.305 meters.

(Sumber : ICAO)



NOTE: RADII SHOWN ARE NOT CONCENTRIC.

Gambar 4. 2 : Taxiway Curve

3. *Fillet Taxiway*

Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pada pasal 6.7.3.2 dikatakan untuk memfasilitasi pergerakan pesawat udara *fillet* harus disediakan pada persimpangan sambungan antara *taxiway* dengan *runway*, *apron* dengan *taxiway* lainnya, dimensi dari desain fillet didasarkan pada kode referensi pesawat rencana, dalam kasus bandara Internasional Ahmad Yani kode referensi pesawat rencana adalah 4C dan didapat dimensi *fillet* sebagai berikut :

Tabel 4. 20 : Dimensi *Fillet*

Code letter	Radius Taxiway (R) (m)	Panjang transisi sampai ke fillet (L) (m)	Radius Fillet untuk menilai pelebaran oversteer simetris (F) (m)	Radius Fillet untuk menilai pelebaran oversteer satu sisi (F) (m)	Radius Fillet untuk melacak garis tengah (F) (m)
A	22,5	15	18,75	18,75	18
B	22,5	15	17,75	17,75	16,5
C	30	45	20,4	18	16,5
D	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25
E	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25
F	45	75	31,5 - 33	29 - 30	25

Tabel 4. 21 : Radius *Fillet*

Code Letter	Lebar Runway (W_r) (m)	Lebar Taxiway Paralel (W_{T2}) (m)	Lebar Taxiway ke dalam dan keluar (W_{T1}) (m)	R_1 (m)	R_2 (m)	R_0 (m)	R_1 (m)	R_2 (m)
A	18	15	30	30	30	39	25	25
B	23	18	26,5	41,5	30	41,5	25	30
C	30	23	26,5	41,5	41,5	53	25	35
D	45	30	26,5	30	60	71,5	35	55
E	45	30	23	60	60	71,5	35	55
F	60	45	18	60	60	75	45	50

(Sumber : KP no 20 Tahun 2014)

4. Bahu *Taxiway* (*Taxiway Shoulder*)
 Berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pada pasal 6.7.10.2 dikatakan bahwa lebar keseluruhan *taxiway* dan bahu-bahunya pada bagian yang lurus jika kode referensi adalah “C” maka tidak boleh kurang dari 35m, dan disebutkan pada pasal selanjutnya yaitu 6.7.10.3 bahwa untuk kurva *taxiway* dan pada persimpangan atau perpotongan *taxiway* lebar bahu tidak boleh kurang dari lebar bahu pada bagian lurus *taxiway*.
5. *Exit taxiway*
- a. Perencanaan Desain *Exit taxiway*
Exit taxiway dibagi menjadi 2 macam berdasarkan sudutnya yaitu :
- a. *Exit taxiway* Menyudut Siku-siku (90°)
- b. Rapid *Exit taxiway* (30°)

Dan dalam menentukan *exit taxiway* yang akan dipakai, perlu diketahui kecepatan rencana dari pesawat terbang saat akan memasuki sistem landasan hubung, penentuan kecepatan rencana tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{V^2}{(125 \cdot \mu)}$$

Sehingga

$$V = 11,18 \sqrt{(R \times \mu)}$$

Dimana :

V = Kecepatan Rencana Pesawat Terbang (km/jam)

R = Jari-jari Tikungan Pada Sistem *Taxiway* sesuai dengan Airplane (m)

μ = Koefisien Gesek antara Ban dan Struktur Permukaan Perkerasan (0,13)

Dikarenakan radius *taxiway* sudah diketahui yaitu sebesar 30m (*Sub bab Fillet Taxiway*), maka didapat nilai kecepatan rencana pesawat terbang (V) sebesar :

$$\begin{aligned} V &= 11,18 \sqrt{(30 \times 0,13)} \\ &= 11,18 \times 1,975 \\ &= 22,079 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Dan jika dikorelasikan terhadap peraturan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.9 tentang “*Rapid Exit taxiway*” maka kecepatan rencana 22,079 km/jam tidak termasuk dalam semua kategori, maka dari itu digunakan *exit taxiway* bersudut 90°

b. Perencanaan Lokasi *Exit taxiway* Rencana

Dalam perencanaan lokasi *exit taxiway* dibutuhkan data-data pesawat meliputi ; kecepatan *touchdown* (S1), kecepatan awal ketika meninggalkan landasan (S2), perlambatan dalam pengereman (a), dan dengan bersumber pada *skylibrary* didapat data pesawat rencana yaitu Boeing 737-400 dengan kode reference 4C sebagai berikut :

Tabel 4. 22 : Data Pesawat Boeing 737-400

Take-Off	Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb	Cruise	Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach				
	V ₂ (IAS)	150 kts	IAS	175 kts	IAS	270 kts			IAS	270 kts	MACH	0.70	TAS	430 kts	MACH	0.74	IAS	270 kts	IAS
Distance	2000 m	ROC	3000 ft/min	ROC	2500 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	1000 ft/min	MACH	0.745	ROD	1500 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1500 m
MTOW	62820 kg								Ceiling	FL370					ROD	1500 ft/min	APC	C	
WTC	M								Range	2100 NM									

(Sumber : Skylibrary)

Dan dengan melihat tabel 4.24 maka jarak dari threshold ke awal marka akan didapat sebesar :

Tabel 4. 23 : Jarak *Threshold* ke Awal Marka

Lokasi dan Dimensi	Jarak Pendaratan yang tersedia			
	Kurang dari 800 meter	800 m hingga, tetapi tidak mencapai 1200 m	1200 m hingga, tetapi tidak mencapai 2400 m	2400 m atau lebih
Jarak dari <i>threshold</i> ke awal marka	150 m	250 m	300 m	400 m
Panjang garis ^a	30 – 45 m	30 – 45 m	45 – 60 m	45 – 60 m
Lebar garis	4 m	6 m	6 – 10 m ^b	6 – 10 m ^b
Jarak lateral antara sisi dalam garis-garis	6 m ^c	9 m ^c	18 – 22.5 m	18 – 22.5 m
^a Digunakan dimensi jarak yang lebih besar jika ingin membuatnya lebih jelas. ^b jarak lateral dapat beragam dalam tiga batasan untuk meminimalkan kontaminasi penumpukan/ <i>deposit</i> karet ^c Gambar ini disimpulkan dalam berkaitan dengan rentang roda utama luar				

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

Maka didapat data-data sebagai berikut :

- *Touchdown* Speed (S1) : 137 knot
: 70,479 m/s
- *Exit taxiway* (S2) : 22 km/h
: 6,133 m/s
- Jarak *Threshold* ke *Touchdown* (D1) : 300 m
: 984,252 ft
- Rata-rata Deceleration (a) : 1,5 m/s²

Dengan menggunakan persamaan 19 pada bab 2, maka didapat nilai D2 sebesar :

$$\begin{aligned}
 D2 &= \frac{(70,5^2) - (6,1^2)}{2 \times 1,5} \\
 &= 1643,22 \text{ m} \\
 &= 5391,13 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dan didapat lokasi *exit taxiway* pada jarak :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Total}} &= D1 + D2 \\
 &= 300 + 1643,22 \\
 &= 1943,22 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dalam perencanaan *exit taxiway* untuk kasus Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang yang direncanakan untuk 20 tahun mendatang, maka penulis merencanakan lokasi *exit taxiway* yang berbeda-beda bergantung pada *code number* masing-masing pesawat, agar dapat menampung peningkatan pergerakan pesawat 20 tahun mendatang, dan dengan menggunakan persamaan yang sama dengan perhitungan diatas maka akan didapat lokasi *exit taxiway* tiap-tiap pesawat. Berikut adalah rekap hasil perhitungan lokasi *exit taxiway* tiap-tiap pesawat :

Tabel 4. 24 : Lokasi *Exit taxiway* Siku-siku Berdasarkan Tipe Pesawat

Jenis Pesawat	Kebutuhan Landing	S1		S2		D1	D2	Dtot
		knot	m/s	km/h	m/s			
		m	m/s^2	m				
A319	1563,6	130	66,8777	22	6,13298	400	1478,34	1878,34
A320	1667,84	137	70,4788	22	6,13298	400	1643,22	2043,22
ATR72	1274,04	120	61,7333	22	6,13298	400	1257,79	1657,79
B732	1621,51	150	77,1666	22	6,13298	400	1972,36	2372,36
B733	1621,51	130	66,8777	22	6,13298	400	1478,34	1878,34
B734	1737,33	137	70,4788	22	6,13298	400	1643,22	2043,22
B735	1621,51	128	65,8488	22	6,13298	400	1432,82	1832,82
B738	1853,16	140	72,0222	22	6,13298	400	1716,53	2116,53
B739	1968,98	145	74,5944	22	6,13298	400	1842,24	2242,24
C208	637,022	95	48,8722	22	6,13298	400	783,626	1183,63
C402	623,124	95	48,8722	22	6,13298	400	783,626	1183,63
CRJ1000	1922,65	125	64,3055	22	6,13298	400	1365,86	1765,86
E135	1308,79	125	64,3055	22	6,13298	400	1365,86	1765,86
E195	1459,36	125	64,3055	22	6,13298	400	1365,86	1765,86
MA60	1853,16	130	66,8777	22	6,13298	400	1478,34	1878,34
TB10	486,453	85	43,7277	22	6,13298	400	624,834	1024,83

(Sumber : Analisis Data)

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa kebutuhan *exit taxiway* dari berbagai pesawat dapat dibagi menjadi 3 golongan kebutuhan *exit taxiway* berdasarkan panjangnya, yaitu :

- *Exit taxiway* Lebih dari 800m dan kurang dari 1200m
- *Exit taxiway* Lebih dari 1200m dan kurang dari 2400m
- *Exit taxiway* Lebih dari 2400m

Dan berdasarkan pengklasifikasian ini maka direncanakan *exit taxiway* sebanyak 3 buah yaitu pada :

- STA 0
- STA 1+200
- STA 1+725, dan
- STA 2+950

Dan jarak pemisah minimum *taxiway* antara garis tengah *taxiway* dengan *runway*, serta *apron* berdasarkan KP no 29 tahun 2014 pasal 6.7.13 dan berdasarkan kode reference pesawat rencana, maka jarak tersebut dapat dilihat pada tabel 4.26 :

Tabel 4. 25 : Jarak Pemisah Minimum *Taxiway* antara Garis Tengah *Taxiway* dengan *Runway*, serta *Apron*

Garis tengah <i>precision approach runway</i> Runway code number	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
1	82,5 m	87 m	93 m	-	-	-
2	82,5 m	87 m	93 m	-	-	-
3	157,5 m	162 m	168 m	176 m	-	-
4	-	-	168 m	176 m	182,5 m	190 m
garis tengah <i>non- precision approach runway</i> Runway code number kode Huruf runway	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
1	52,5 m	57 m	63 m	-	-	-
2	52,5 m	57 m	63 m	-	-	-
3	82,5 m	87 m	93 m	176 m	-	-
4	-	-	93 m	176 m	182,5 m	190 m

garis tengah non instrument runway	Code letter					
Runway code number	A	B	C	D	E	F
1	37,5 m	42 m	48 m	-	-	-
2	47,5 m	52 m	58 m	-	-	-
3	52,5 m	57 m	63 m	101 m	-	-
4	-	-	93 m	101 m	107,5 m	115 m
garis tengah taxiway	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
	23,75 m	33,5 m	44 m	66,5 m	80 m	97,5 m
object Ke objek Paragraf 6,7,13	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
	16,25 m	21,5 m	26 m	40,5 m	47,5 m	57,5 m

(Sumber : KP no 29 Tahun 2014)

4.2.3. Analisis Tempat Parkir Pesawat/*Apron*

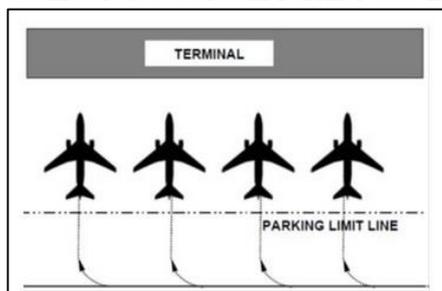
Pengembangan Bandar Udara berupa landas pacu/*runway* dan landas hubung/*taxiway* harus disertai dengan analisis ulang terhadap kapasitas landas parkir/*apron*. Landas parkir/*apron* yang direncanakan harus mampu untuk melayani jenis pesawat yang beroperasi diwaktu yang akan datang. Jenis pesawat yang beroperasi di waktu yang akan datang diketahui dari hasil peramalan pergerakan pesawat dari tahun 2017-2036 seperti pada tabel 4.4 yang telah dibahas sebelumnya pada sub bab 4.1.2.1 tentang “Regresi Linear Sederhana”, dan dengan menggunakan persamaan dari Ashford untuk menghitung pergerakan pesawat pada jam puncak/*peak hour*. Hasil perhitungan tersebut terdapat pada tabel 4.8 yang telah dibahas sebelumnya pada sub bab 4.1.3 tentang “Perhitungan *Peak Hours* Rencana”, dengan menggunakan perhitungan pergerakan pesawat pada jam puncak maka dapat dihitung jumlah *gate* untuk selanjutnya dipergunakan untuk perhitungan dimensi landas parkir/*apron*.

4.2.3.1. Sistem Parkir Pesawat

Sistem parkir pesawat sangat menentukan dimensi dari landas parkir/*apron* itu sendiri, dalam kasus Bandar Udara

Internasional Ahmad Yani Semarang direncanakan bahwa sistem parkir menggunakan sistem *Nose-In*, sistem ini dapat dilihat pada gambar

Gambar 4.3 : Sistem Parkir Nose-In



(Sumber : Google.com)

Perencanaan desain sistem parkir Bandar Udara ini menggunakan sistem parkir eksisting sehingga tidak diperlukan perubahan-perubahan signifikan pada landas parkir.

4.2.3.2. Jumlah Posisi *Gate/Gate*

Perencanaan jumlah *gate/gate* dipengaruhi oleh jumlah pesawat pada kondisi *peak hour* (V), waktu parkir di *gate* (T) dan utilitas (U), Berdasarkan persamaan 20 pada bab 2 maka dapat ditentukan jumlah *gate* untuk 20 tahun mendatang, yaitu pada tahun 2017-2036, berikut adalah contoh perhitungan jumlah *gate* untuk tahun 2017 :

Jumlah *Gate/Gate* pada tahun 2017 untuk pesawat Kelas B

$$G = \frac{5 \times (45/60)}{0,7}$$

$$= 5 \text{ Buah}$$

Jumlah *Gate/Gate* pada tahun 2017 untuk pesawat Kelas C

$$G = \frac{5 \times (45/60)}{0,7}$$

$$= 2 \text{ Buah}$$

Dan dengan mengulang langkah-langkah seperti diatas maka akan didapat jumlah *gate* pertahunnya, dan berikut adalah rekap hasil jumlah *gate/gate* untuk 20 tahun mendatang yaitu 2017-2036 :

Tabel 4. 26 : Hasil Perhitungan Jumlah *Gate/Gate* 2017-2036

Tahun	Jumlah Pesawat Tipe			Jumlah Gerbang Tipe		
	A	B	C	A	B	C
2017	-	5	2	-	5	6
2018	-	6	2	-	6	6
2019	-	6	2	-	6	6
2020	-	6	2	-	6	6
2021	-	7	2	-	8	6
2022	-	7	3	-	8	9
2023	-	7	3	-	8	9
2024	-	8	3	-	9	9
2025	-	8	3	-	9	9
2026	-	8	3	-	9	9
2027	-	9	3	-	10	9
2028	-	9	4	-	10	11
2029	-	9	4	-	10	11
2030	-	9	4	-	10	11
2031	-	10	4	-	11	11
2032	-	10	4	-	11	11
2033	-	10	4	-	11	11
2034	-	11	4	-	12	11
2035	-	11	5	-	12	14
2036	-	11	5	-	12	14

(Sumber : Analisis Data)

4.2.3.3. Ukuran *Gate/Gate*

Ukuran *gate/gate* pesawat dipengaruhi oleh panjang pesawat, bentang sayap/wingspan, wheelbase, dan dimensi putar/clearance. Rekapitulasi dimensi *gate/gate* tiap pesawat ditunjukkan pada tabel 4.28 :

Tabel 4. 27 : Hasil Perhitungan Dimensi Gate/Gate Tiap Pesawat

Kode Pesawat	Kode ICAO	Gol Pesawat	Clearance (KP 29)	Wheel Base (m)	Wing span (m)	Length (m)	Lebar Taxilane (m)	Turning Area (m)	Panjang Apron (m)	Lebar Apron (m)
B1	A319	B	4,5	11,04	35,8	33,84	88,392	24,27	53,04789	126,732
B2	A320	B	4,5	12,5	35,8	37,57	88,392	25,12	54,73376	130,462
B3	B738	B	4,5	15,6	34,32	39,5	88,392	26,17	56,83333	132,392
B4	B739	B	4,5	17,17	34,3	41,94	88,392	27,06	58,62621	134,832
B5	B732	B	4,5	11,38	28,35	30,53	88,392	20,75	45,99049	123,422
B6	B733	B	4,5	12,4	28,9	33,44	88,392	21,61	47,71829	126,332
B7	B734	B	4,5	14,27	28,9	36,48	88,392	22,69	49,87758	129,372
B8	B735	B	4,5	11,07	28,8	31,06	88,392	20,79	46,08253	123,952
B9	E195	B	4,5	14,27	28,72	38,65	88,392	22,60	49,69758	131,542
B10	MA60	B	4,5	9,564	24,71	29,2	88,392	17,88	40,25356	122,092
B11	CRJ1000	B	4,5	9,56	23,3	36,2	88,392	17,17	38,83894	129,092
B12	E135	B	4,5	9,56	20,04	26,33	88,392	15,54	35,57894	119,222
C1	ATR72	C	4,5	10,8	27,1	27,2	48,768	19,79	44,07077	80,468
C2	C208	C	4,5	3,54	15,9	11,5	48,768	9,99	24,48764	64,768
C3	C402	C	4,5	3,54	13,5	11,1	48,768	8,79	22,08764	64,368
D1	TB10	D	4,5	1,96	9,8	7,7	48,768	6,03	16,56321	60,968

(Sumber : Analisis Data)

Untuk mengetahui dimensi landas parkir/*apron* dilakukan beberapa permodelan komposisi yang didapat dari jenis pesawat sesuai kode pesawat pada tabel rekapitulasi dimensi *gate*, komposisi yang digunakan untuk landas parkir *apron* adalah pesawat dengan kode B dan C dengan mengambil 3 pesawat terbesar setiap kelasnya, ada 18 komposisi yang dipilih untuk digunakan acuan perencanaan landasan parkir/*apron*, berikut adalah 18 komposisi tersebut yang ditunjukkan oleh tabel 4.29 :

Tabel 4. 28 : Kebutuhan Ukuran Landas Parkir/*Apron* Tahun 2017

Tahun	2017						Dimensi Landas Parkir			
	A	B	C				P	L	Luas	
Komposisi	Komposisi Jenis Pesawat						(m)	(m)	(m ²)	
	0	5	6	B2	B3	B4				C1
1			5	6			575	141	81287	
2		5				6	440	141	62226	
3	5					6	415	141	58705	
4		1	4	5	1		545	141	77084	
5	1	4				5	436	141	61589	
6	4		1	1		5	441	141	62364	
7		4	1	1		5	451	141	63807	
8	4	1				1	5	420	141	59341
9	1		4	5			1	541	141	76448
10		2	3	3	2	1	502	141	70953	
11	2	3		1	2	3	448	141	63383	
12	3		2	2	3	1	474	141	67040	
13		4	1	1	3	2	411	141	58177	
14	4	1		3	3		490	141	69345	
15	1		4			3	3	440	141	62222
16	2	2	1	2	2	2	472	141	66744	
17	1	2	2	2	2	2	476	141	67295	
18	2	1	2	2	2	2	474	141	66998	
Dimensi Landas Parkir yang dibutuhkan							575	141	81287	

(Sumber : Analisis Data)

Dari hasil perhitungan didapatkan ukuran kebutuhan landas parkir/*apron* sebesar 575 m x 141 m dengan luasan sebesar 81.287 m², dengan melakukan simulasi permodelan 18 komposisi pada tiap tahunnya maka akan didapat ukuran *apron* untuk 20 tahun mendatang, yaitu tahun 2017-2036, dan berikut adalah rekap perhitungan landas parkir/*apron* berdasarkan tahun rencananya :

Tabel 4. 29 : Kebutuhan Dimensi Landas Parkir 2017-2036

Tahun	Kebutuhan Dimensi Apron		
	P	L	Luas
	(m)	(m)	(m ²)
2017	575	141	81287
2018	638	141	90168
2019	638	141	90168
2020	638	141	90168
2021	701	141	99049
2022	826	141	116853
2023	826	141	116853
2024	889	141	125734
2025	889	141	125734
2026	889	141	125734
2027	952	141	134616
2028	1078	141	152419
2029	1078	141	152419
2030	1078	141	152419
2031	1141	141	161301
2032	1141	141	161301
2033	1141	141	161301
2034	1204	141	170182
2035	1330	141	187985
2036	1330	141	187985

(Sumber : Analisis Data)

Dengan melihat dimensi landas parkir/*apron* setiap tahunnya mengalami peningkatan maka dibutuhkan 2 kali pengembangan, yang direncanakan fase awal pada tahun 2017 yaitu berukuran 575 m x 141 m dengan luas sebesar 81.287 m² dan untuk pengembangan fase 2 dilakukan pada tahun 2036 yaitu berukuran 1330 m x 141 m dengan luas sebesar 187.985 m², pada dasarnya jumlah pengembangan fase tersebut dikembalikan pada kebutuhan/demand penumpang yang nanti akan dipertimbangkan oleh pengembang fasilitas Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, yaitu PT. Angkasa Pura I. Untuk pesawat yang akan parkir pada *apron* rencana adalah pesawat kelas B yaitu pesawat Boeing 737-900 dan pesawat ATR 720 untuk kelas C.

4.3. Analisis Perkerasan pada Pengembangan Fasilitas Sisi Udara

Pengembangan fasilitas sisi udara Badar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang saat ini terdapat penambahan panjang landas pacu/*runway*, pembuatan landas hubung/*taxiway*, dan pembuatan landas parkir/*apron* baru. Analisis perkerasan ini fokus pada 3 pengembangan tersebut. Referensi data yang digunakan adalah data konstruksi perkerasan landas pacu tahun 2013 oleh PT. Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang, serta data penyelidikan tanah dan Analisis geoteknik. Berdasarkan data tersebut maka dilakukan Analisis tebal perkerasan untuk rencana 20 tahun mendatang, yaitu 2036, Analisis perkerasan ini dilakukan dengan menggunakan metode dari FAA, yaitu dengan menggunakan kurva perencanaan perkerasan.

4.3.1. Analisis Perkerasan Landas Pacu/*Runway*

Penambahan panjang landas pacu/*runway* dilakukan PT. Angkasa Pura I dikarenakan volume pergerakan yang meningkat dari tahun ke tahunnya. Adanya penambahan panjang *runway* tersebut juga harus diiringi dengan analisis perkerasan *runway* terkait dengan peningkatan volume dan jenis pesawat yang beraktifitas. Perkerasan yang direncanakan harus mampu melayani beban pesawat yang melintas dan volume pergerakan pesawat yang cukup tinggi. Untuk menghitung perkerasan dibutuhkan data-data layaknya California Bearing Ratio (CBR), data pergerakan pesawat pada tahun rencana, serta beban pesawat rencana yang akan digunakan sebagai patokan untuk merencanakan landas pacu/*runway*. Data-data tersebut diperoleh dari PT. Angkasa Pura I serta didapat dari Analisis pergerakan pesawat untuk 20 tahun mendatang yang telah dibahas pada sub bab 4.1.2.1 tentang “Regresi Linear Sederhana”, dan berikut adalah data tersebut :

- CBR Tanah Subgrade : 6%
- CBR Tanah Subbase : 22,2%

Tabel 4. 30 : Pergerakan Pesawat Tahun 2036

NO	JENIS PESAWAT	PERGERAKAN PESAWAT 2016	TIPE RODA
1	A319	0	Dual Wheel
2	A320	3508	Dual Wheel
3	ATR72	13634	Dual Wheel
4	B732	0	Dual Wheel
5	B733	735	Dual Wheel
6	B734	1593	Dual Wheel
7	B735	0	Dual Wheel
8	B738	14356	Dual Wheel
9	B739	4708	Dual Wheel
10	C208	0	Single Wheel
11	C402	0	Single Wheel
12	CRJ1000	4467	Dual Wheel
13	E135	0	Dual Wheel
14	E195	4556	Dual Wheel
15	MA60	0	Dual Wheel
16	TB10	0	Single Wheel

(Sumber : Analisis Data)

4.3.1.1. Perencanaan Perkerasan *Runway* Tahun 2036

Berdasarkan tabel 4.31 diketahui jumlah pergerakan pesawat untuk tahun 2036, dan dengan mengikuti langkah pada sub bab 2.6.1 tentang “ Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)”, maka akan didapat tebal perkerasan untuk tahun 2036, berikut adalah perhitungan menentukan tebal perkerasan tersebut :

1. Menentukan Pesawat Rencana
Pesawat rencana didapat dengan menghitung beban roda (*Wheel Load*) perpesawat, beban roda pesawat terbesar nantinya dipilih sebagai pesawat rencana (*Tr. Heru basuki*), dalam contoh perhitungan kali ini digunakan pesawat

Embraer 195, dengan menggunakan persamaan 25, maka di dapat beban roda pesawat Embraer 195 sebesar :

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times 0,95 \times 107.338 \text{ lbs} \\ &= 25.493 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Dengan mengulang perhitungan diatas untuk semua tipe pesawat maka didapat beban roda perpesawat terbesar adalah pesawat B739 sebesar 41.285 lbs, berikut adalah rekap nilai beban roda pesawat :

Tabel 4. 31 : Rekap Beban Roda Perpesawat

NO	JENIS PESAWAT	W
		(Lbs)
1	A319	33.440
2	A320	38.404
3	ATR72	11.234
4	B732	27.374
5	B733	29.506
6	B734	32.823
7	B735	27.374
8	B738	36.852
9	B739	41.285
10	C208	4.076
11	C402	2.989
12	CRJ1000	19.071
13	E135	10.450
14	E195	25.493
15	MA60	11.391
16	TB10	1.150

(Sumber : Analisis Data)

Maka ditetapkan pesawat rencana untuk desain perkerasan adalah pesawat Boeing 737-900.

2. Menghitung *Annual Departure* Pesawat Campuran (R2)
 Pesawat rencana adalah pesawat Boeing 737-900 dengan konfigurasi roda pendaratan adalah *dual wheel* (Ir. Heru Basuki) , dikarenakan konfigurasi roda tiap-tiap pesawat berbeda, maka perlu dilakukannya pengkonversian dari pesawat bukan rencana menjadi pesawat rencana dengan mengalikan jumlah pergerakan pesawat bukan rencana dengan faktor pengkali, faktor pengkali tersebut disediakan pada tabel 4.33, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. 32 : Faktor Pengkali

Konversi dari	Ke	Faktor Pengali
Single Wheel	Dual Wheel	0,80
Single Wheel	Dual Tandem	0,50
Dual Wheel	Dual Tandem	0,60
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,00
Dual Tandem	Single Wheel	2,00
Dual Tandem	Dual Wheel	1,70
Dual Wheel	Single Wheel	1,30
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,70

(Sumber : FAA)

Dan dengan melihat regresi pergerakan pesawat pada tahun 2036 yang disediakan pada tabel 4.31, diketahui bahwa pesawat yang memiliki konfigurasi roda berupa single wheel tidak diperhitungkan, karna pergerakan pesawat single wheel tersebut yaitu ; C208, C402, dan TB10 pada tahun 2036 tidak ada atau bernilai 0, maka dari itu pesawat ini tidak berpengaruh terhadap tebal perkerasan untuk 2036.

3. Menghitung *Equivalent Annual Departure* (R1)
 Setelah semua data didapat, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *Equivalent Annual Departure* (R1), berikut adalah contoh perhitungan nilai R1 untuk pesawat Embraer 195 dengan menggunakan persamaan 26, maka didapat nilai R1 sebesar :

$$\begin{aligned} R1 &= \text{Log } 6 \times \left(\frac{25.493}{41.825} \right)^{1/2} \\ &= 750 \text{ Pergerakan} \end{aligned}$$

Dan dengan mengulang perhitungan R1 untuk tiap-tiap pesawat, maka akan didapat nilai R1 tiap-tiap pesawat, setelah didapat nilai R1 tiap-tiap pesawat, nilai tersebut dijumlah menjadi R1_{Total}, nilai tersebutlah yang nantinya akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan dengan menggunakan grafik yang telah dikeluarkan oleh peraturan FAA, berikut ini adalah rekap nilai R1 dan R1_{Total} :

Tabel 4. 33 : Nilai Equivalent Annual Departure (R1)

NO	JENIS PESAWAT	PERGERAKAN PESAWAT 2036	TIPE RODA	MTOW	W2	R2	W1	R1
1	A319	0	Dual Wheel	140.800	33.440	0	41.285	0
2	A320	3508	Dual Wheel	161.700	38.404	3.508	41.285	2625
3	ATR72	13634	Dual Wheel	47.300	11.234	13.634	41.285	143
4	B732	0	Dual Wheel	115.258	27.374	0	41.285	0
5	B733	735	Dual Wheel	124.234	29.506	735	41.285	265
6	B734	1593	Dual Wheel	138.204	32.823	1.593	41.285	717
7	B735	0	Dual Wheel	115.258	27.374	0	41.285	0
8	B738	14356	Dual Wheel	155.166	36.852	14.356	41.285	8462
9	B739	4708	Dual Wheel	173.833	41.285	4.708	41.285	4708
10	C208	0	Single Wheel	8.580	4.076	0	41.285	0
11	C402	0	Single Wheel	6.292	2.989	0	41.285	0
12	CRJ1000	4467	Dual Wheel	80.300	19.071	4.467	41.285	303
13	E135	0	Dual Wheel	44.000	10.450	0	41.285	0
14	E195	4556	Dual Wheel	107.338	25.493	4.556	41.285	750
15	MA60	0	Dual Wheel	47.960	11.391	0	41.285	0
16	TB10	0	Single Wheel	2.420	1.150	0	41.285	0
Total								17973

(Sumber : Analisis Data)

4. Menentukan Tebal Perkerasan Total *Flexible Pavement* Setelah didapat nilai MTOW pesawat Rencana, $R1_{Total}$, dan CBR, maka digunakan grafik 4.4 untuk mengetahui tebal perkerasan total.

Grafik 4.4 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Dual Wheel

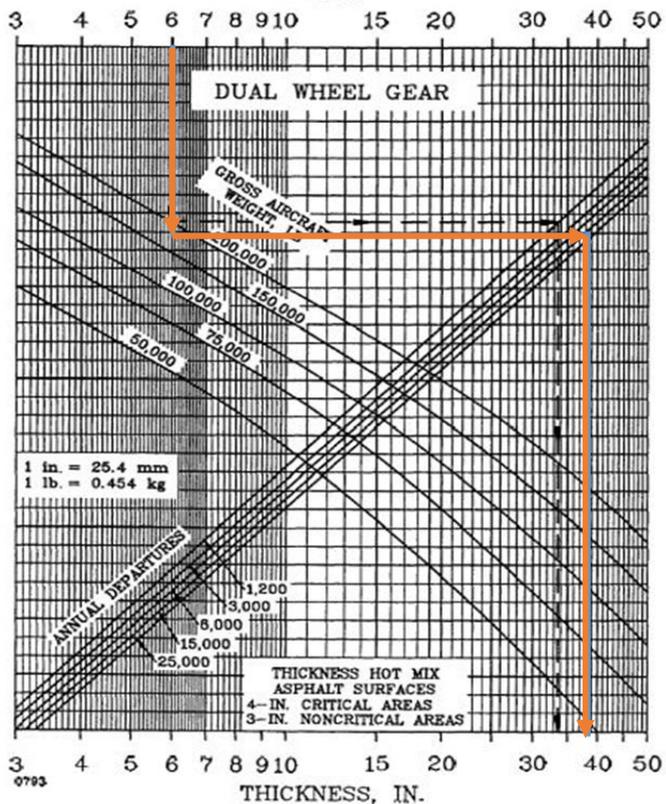


FIGURE 3-3 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, DUAL WHEEL GEAR

Maka didapat tebal total perkerasan untuk *flexible pavement* sebesar : 39 inch

5. Menentukan Tebal *Subbase Flexible Pavement*
 Diketahui bahwa CBR subbase adalah 22,2% dengan menggunakan grafik yang sama maka akan didapat nilai tebal *subbase*

Grafik 4.5 : Grafik Desain Kurva Flexible Pavement, untuk Dual Wheel CBR

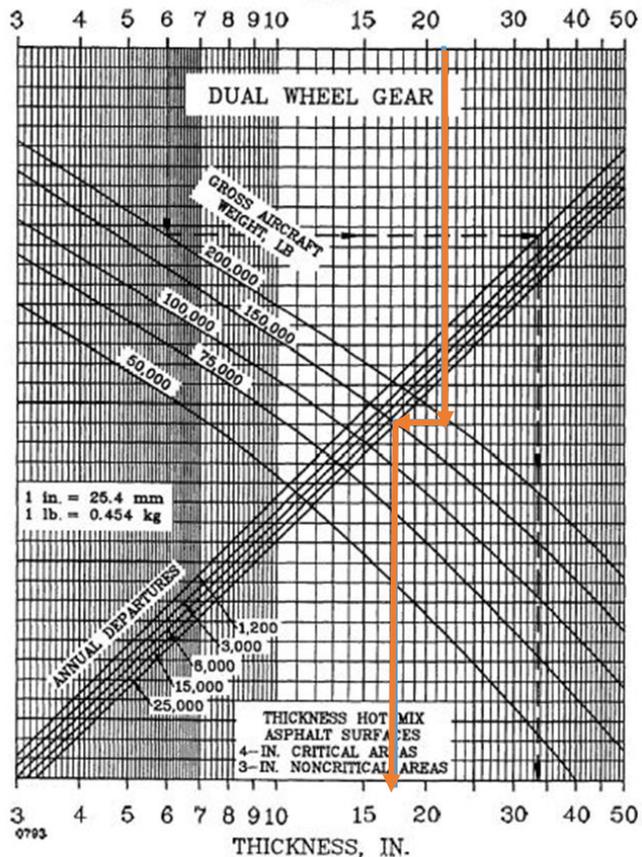


FIGURE 3-3 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, DUAL WHEEL GEAR

Maka didapat tebal menurut bacaan : 18 inch, maka dengan mengurangi tebal total perkerasan dengan tebal bacaan maka didapat tebal *subbase* : 21 inch

6. Menentukan Tebal *Surface*
Tebal *surface* dibagi menjadi 2 macam yaitu :

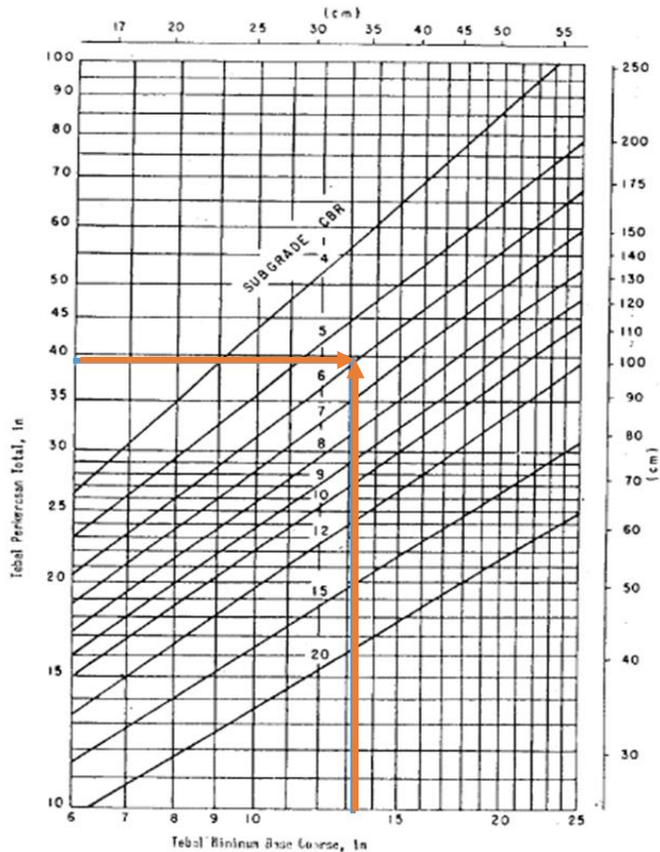
- Daerah Kritis
- Daerah Non Kritis

Dengan kriteria masing-masing tebalnya adalah 4, dan 3 inch,

7. Menentukan Tebal *Base Coarse*
Tebal *base coarse* didapat dari tebal bacaan pada *subbase* dikurangi dengan tebal *surface* , maka didapat :

- Tebal *Base Coarse* Daerah Kritis
= 18 – 4
= 14 inch
- Tebal *Base Coarse* Daerah Non Kritis
= 18 – 3
= 15 inch

Tebal tersebut perlu dicek terhadap tebal minimum untuk *base coarse* dengan menggunakan grafik 4.6, jika tebal *base coarse* minimum > dari pada tebal *base coarse* perlu maka digunakan tebal *base coarse* minimum dan jika sebaliknya maka digunakan tebal *base coarse* perlu. berikut adalah nilai tebal *base coarse* minimum :

Grafik 4. 6 : Grafik Tebal Base Coarse Minimum

Maka di dapat tebal *base coarse* minimum adalah 12 inch , dan jika dikontrol terhadap tebal *base coarse* perlu didapat tebal *base coarse* masing-masing adalah :

- Tebal Base Coarse Daerah Kritis
13,2 inch < 14 inch , dipakai tebal *Base Coarse* perlu
- Tebal Base Coarse Daerah Non Kritis
13,2 inch < 15 inch , dipakai tebal *Base Coarse* perlu

Setelah semua telah dihitung maka didapat data rincian tebal perkerasan runway yang dibutuhkan dan berikut adalah rekap tebal perkerasan runway untuk tahun 2036 :

Tabel 4. 34 : Rekap Tebal Perkerasan *Runway* Tahun 2036

Lapisan	Area Kritis		Area tak kritis	
	inch	cm	inch	cm
Surface Coarse	4	10,16	3	7,62
Base Coarse	12,3	31,242	12,2	30,988
Subbase Coarse	21,8	55,372	21,8	55,372
Total	38,1	96,774	37	93,98

(Sumber : Analisis Data)

4.3.2. Analisis Perkerasan Landas Hubung/*Taxiway*

Perencanaan perkerasan landas hubung direncanakan menggunakan perkerasan kaku dengan menambahkan sekitar 10 cm – 15 cm aspal sebagai faktor kenyamanan, Untuk menghitung perkerasan tersebut dibutuhkan data-data layaknya *California Bearing Ratio* (CBR) yang akan dikonversi menjadi nilai “K” atau *modulus reaction subgrade*, data pergerakan pesawat pada tahun rencana, serta beban pesawat rencana yang akan digunakan sebagai patokan untuk merencanakan landas hubung/*taxiway*. Data-data tersebut diperoleh dari PT. Angkasa Pura I serta didapat dari Analisis pergerakan pesawat untuk 20 tahun mendatang yang telah dibahas pada sub bab 4.1.2.1 tentang “Regresi Linear Sederhana”, dan berikut adalah data tersebut :

- CBR Tanah Subgrade : 6%
- CBR Tanah Subbase : 19,3%

Nilai CBR dikonversikan menjadi modulus reaction *subgrade* dengan menggunakan persamaan 27 pada bab 2, maka di dapat nilai K *subgrade* dan *subbase* adalah sebagai berikut :

- *K Value* Tanah Subgrade : 94,969 pci
- *K Value* Tanah Subbase : 235,912 pci
- *Flexural Strenght* : 650 psi

Dan berikut adalah data pergerakan pesawat 20 tahun mendarat yaitu pada tahun 2036 :

Tabel 4. 35 : Pergerakan Pesawat Tahun 2036

NO	JENIS PESAWAT	PERGERAKAN PESAWAT 2016	TIPE RODA
1	A319	0	Dual Wheel
2	A320	3508	Dual Wheel
3	ATR72	13634	Dual Wheel
4	B732	0	Dual Wheel
5	B733	735	Dual Wheel
6	B734	1593	Dual Wheel
7	B735	0	Dual Wheel
8	B738	14356	Dual Wheel
9	B739	4708	Dual Wheel
10	C208	0	Single Wheel
11	C402	0	Single Wheel
12	CRJ1000	4467	Dual Wheel
13	E135	0	Dual Wheel
14	E195	4556	Dual Wheel
15	MA60	0	Dual Wheel
16	TB10	0	Single Wheel

(Sumber : Analisis Data)

4.3.2.1. Perencanaan Perkerasan *Taxiway* Tahun 2036

Berdasarkan tabel 4.36 diketahui jumlah pergerakan pesawat untuk tahun 2036, dan dengan mengikuti langkah pada sub bab 2.6.2 tentang “ Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)”, maka akan didapat tebal perkerasan untuk tahun 2036, berikut adalah perhitungan menentukan tebal perkerasan tersebut :

1. Menentukan Pesawat Rencana
Pesawat rencana didapat dengan menghitung beban roda (*Wheel Load*) perpesawat, beban roda pesawat terbesar

nantinya dipilih sebagai pesawat rencana (*Ir. Heru basuki*), dalam contoh perhitungan kali ini digunakan pesawat Embraer 195, dengan menggunakan persamaan 25, maka di dapat beban roda pesawat Embraer 195 sebesar :

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times 0,95 \times 107.338 \text{ lbs} \\ &= 25.493 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Dengan mengulang perhitungan diatas untuk semua tipe pesawat maka didapat beban roda perpesawat terbesar adalah pesawat B739 sebesar 41.285 lbs, berikut adalah rekap nilai beban roda pesawat :

Tabel 4. 36 : Rekap Beban Roda Perpesawat

NO	JENIS PESAWAT	W
		(Lbs)
1	A319	33.440
2	A320	38.404
3	ATR72	11.234
4	B732	27.374
5	B733	29.506
6	B734	32.823
7	B735	27.374
8	B738	36.852
9	B739	41.285
10	C208	4.076
11	C402	2.989
12	CRJ1000	19.071
13	E135	10.450
14	E195	25.493
15	MA60	11.391
16	TB10	1.150

(Sumber : Analisis)

maka didapat pesawat rencana untuk desain perkerasan adalah pesawat Boeing 737-900.

2. Menghitung *Annual Departure* Pesawat Campuran (R2)
Pesawat rencana adalah pesawat Boeing 737-900 dengan konfigurasi roda pendaratan adalah *dual wheel* (Ir. Heru Basuki) , dikarenakan konfigurasi roda tiap-tiap pesawat berbeda, maka perlu dilakukannya pengkonversian dari pesawat bukan rencana menjadi pesawat rencana dengan mengalikan jumlah pergerakan pesawat bukan rencana dengan faktor pengkali, faktor pengkali tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 37 : Faktor Pengkali

Konversi dari	Ke	Faktor Pengkali
Single Wheel	Dual Wheel	0,80
Single Wheel	Dual Tandem	0,50
Dual Wheel	Dual Tandem	0,60
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,00
Dual Tandem	Single Wheel	2,00
Dual Tandem	Dual Wheel	1,70
Dual Wheel	Single Wheel	1,30
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,70

(Sumber : Analisis Data)

Dan dengan melihat regresi pergerakan pesawat pada tahun 2036 yang disediakan pada tabel 4.36, diketahui bahwa pesawat yang memiliki konfigurasi roda berupa single wheel tidak diperhitungkan, karna pergerakan pesawat single wheel tersebut yaitu ; C208, C402, dan TB10 pada tahun 2036 tidak ada atau bernilai 0, maka dari itu pesawat ini tidak berpengaruh terhadap tebal perkerasan untuk 2036.

3. Menghitung *Equivalent Annual Departure* (R1)

Setelah semua data didapat, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *Equivalent Annual Departure* (R1), berikut adalah contoh perhitungan nilai R1 untuk pesawat Embraer 195 dengan menggunakan persamaan 26, maka didapat nilai R1 sebesar :

$$\begin{aligned} R1 &= \text{Log } 6 \times \left(\frac{25.493}{41.825} \right)^{1/2} \\ &= 750 \text{ Pergerakan} \end{aligned}$$

Dan dengan mengulang perhitungan R1 untuk tiap-tiap pesawat, maka akan didapat nilai R1 tiap-tiap pesawat, setelah didapat nilai R1 tiap-tiap pesawat, nilai tersebut dijumlah menjadi R1_{Total}, nilai tersebutlah yang nantinya akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan dengan menggunakan grafik yang telah dikeluarkan oleh peraturan FAA, berikut ini adalah rekap nilai R1 dan R1_{Total} :

Tabel 4. 38 : Nilai Equivalent Annual Departure (R1)

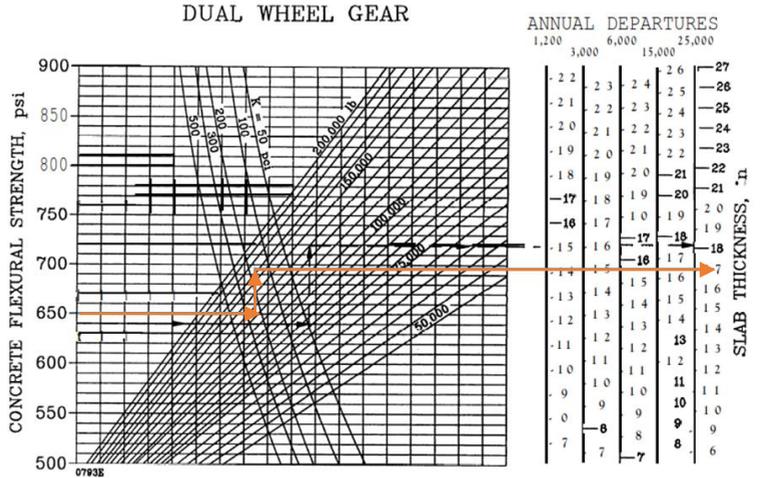
NO	JENIS PESAWAT	PERGERAKAN PESAWAT 2036	TIPE RODA	MTOW	W2	R2	W1	R1
1	A319	0	Dual Wheel	140.800	33.440	0	41.285	0
2	A320	3508	Dual Wheel	161.700	38.404	3.508	41.285	2625
3	ATR72	13634	Dual Wheel	47.300	11.234	13.634	41.285	143
4	B732	0	Dual Wheel	115.258	27.374	0	41.285	0
5	B733	735	Dual Wheel	124.234	29.506	735	41.285	265
6	B734	1593	Dual Wheel	138.204	32.823	1.593	41.285	717
7	B735	0	Dual Wheel	115.258	27.374	0	41.285	0
8	B738	14356	Dual Wheel	155.166	36.852	14.356	41.285	8462
9	B739	4708	Dual Wheel	173.833	41.285	4.708	41.285	4708
10	C208	0	Single Wheel	8.580	4.076	0	41.285	0
11	C402	0	Single Wheel	6.292	2.989	0	41.285	0
12	CRJ1000	4467	Dual Wheel	80.300	19.071	4.467	41.285	303
13	E135	0	Dual Wheel	44.000	10.450	0	41.285	0
14	E195	4556	Dual Wheel	107.338	25.493	4.556	41.285	750
15	MA60	0	Dual Wheel	47.960	11.391	0	41.285	0
16	TB10	0	Single Wheel	2.420	1.150	0	41.285	0
Total								17973

(Sumber : Analisis Data)

4. Menentukan Tebal Slab Beton pada Perkerasan *Rigid Pavement*

Setelah didapat nilai MTOW pesawat Rencana, $R1_{Total}$, dan CBR, maka digunakan grafik 4.7 untuk mengetahui tebal slab beton pada perkerasan kaku tersebut.

Grafik 4.7 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Wheel

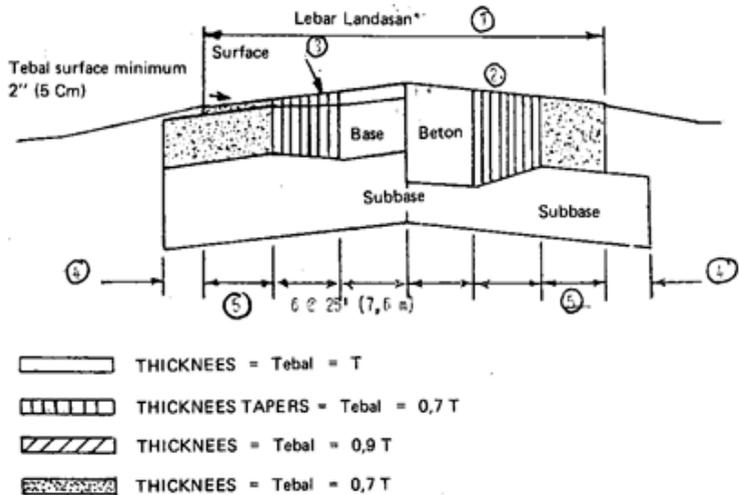


NOTE:
 1 inch = 0.0254 m 1 psi = 0.006895 MPa

Dikarenakan $R1$ bernilai 17973 berada diantara nilai 15000 dan 25000 maka diperlukan interpolasi untuk mengetahui nilai tebal slab beton pada saat $R1$ bernilai 17973, berikut adalah perhitungan interpolasi tersebut :

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{8.321}{15.000} - \frac{6.000}{6.000} & = & \frac{x}{17,0} - \frac{16,5}{16,5} \\
 \frac{2.321}{9.000} & = & \frac{x}{0,5} \\
 9.000 x & = & 1.160,5 \\
 x & = & 16,6289 \text{ inch}
 \end{array}$$

Dan dengan melihat gambar 4.1 , maka diketahui bahwa tebal slab beton untuk daerah tak kritis direduksi 10% hingga tebal tersebut berkurang menjadi $0,9T$, maka tebal daerah tak kritis tersebut adalah sebesar $0,9 \times 16,6289$ inch : 14,9661 inch



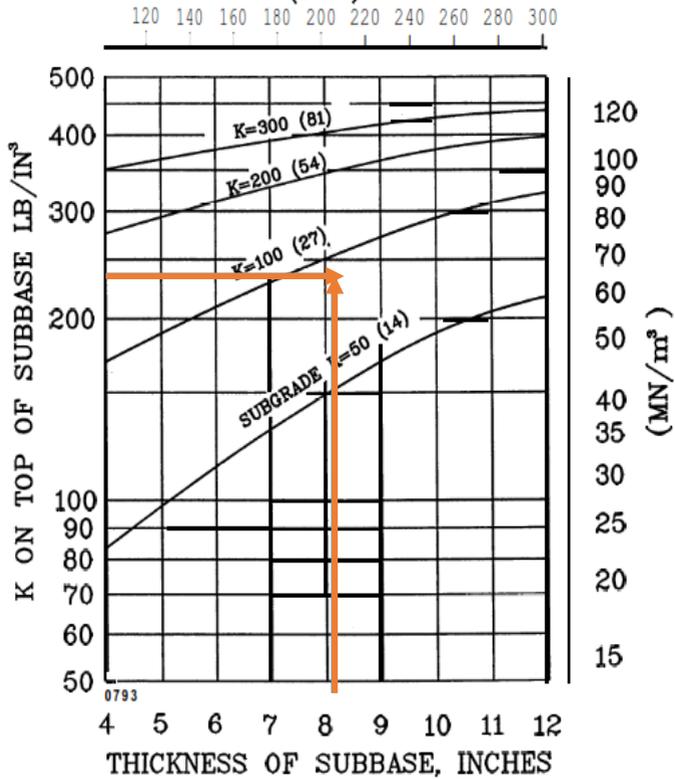
Gambar 4. 4 : Penampang Melintang Landasan
(Sumber : Ir. Heru Basuki)

5. Menentukan Tebal *Subbase Rigid Pavement*
- FAA mengajurkan bahwa dibutuhkan stabilisasi *subbase* untuk semua perkerasan kaku yang didesain untuk pesawat yang bebannya lebih dari 100.000 pounds (45.400 kg), berdasarkan peraturan FAA 150/5320-6D section 3 pasal 328 tentang “*Stabilized Subbase*”, terdapat pilihan material stabilisasi subbase yaitu antara lain :

- *Item P-304 – Cement Treated Base Course*
- *Item P-306 – Econocrete Subbase Course*
- *Item P-401 – Plant Mix Bituminous Pavement*

Dan untuk menentukan tebal *subbase* digunakan grafik disain tebal subbase yang bersumber dari peraturan FAA, berikut adalah penerapannya pada grafik :

Grafik 4. 8 : Disain Tebal *Stabilized Subbase*
(mm)



Maka berdasarkan grafik diatas didapat tebal subbase untuk stabilized subbase sebesar 8,1 inch. Setelah semua telah dihitung maka didapat data rincian tebal perkerasan *taxiway* yang dibutuhkan dan berikut adalah rekap tebal perkerasan *taxiway* untuk tahun 2036 :

Tabel 4. 39 : Rekap Tebal Perkerasan *Taxiway* Tahun 2036

Komposisi Lapisan	RIGID PAVEMENT (TAXIWAY) 2036			
	Area Kritis		Area tak kritis	
	inch	cm	inch	cm
Aspal (AC)	3,93701	10	5,51181	14
Slab Beton	16,6289	42,2375	14,9661	38,0138
Subbase Coarse	8,1	20,574	8,1	20,574
Total	28,666	72,8115	28,5779	72,5878

(Sumber : Analisis Data)

4.3.3. Analisis Perkerasan Landas Parkir/*Apron*

Perencanaan perkerasan landas parkir direncanakan menggunakan perkerasan kaku, Untuk menghitung perkerasan tersebut dibutuhkan data-data layaknya *California Bearing Ratio* (CBR) yang akan dikonversi menjadi nilai “K” atau *modulus reaction subgrade*, data pergerakan pesawat pada tahun rencana, serta beban pesawat rencana yang akan digunakan sebagai patokan untuk merencanakan landas hubung/*taxiway*. Data-data tersebut diperoleh dari PT. Angkasa Pura I serta didapat dari Analisis pergerakan pesawat untuk 20 tahun mendatang yang telah dibahas pada sub bab 4.1.2.1 tentang “Regresi Linear Sederhana”, dan berikut adalah data tersebut :

- CBR Tanah Subgrade : 6%
- CBR Tanah Subbase : 19,3%

Nilai CBR dikonversikan menjadi modulus *reaction subgrade* dengan menggunakan persamaan 27 pada bab 2, maka di dapat nilai K *subgrade* dan *subbase* adalah sebagai berikut :

- K Value Tanah Subgrade : 94,969 pci
- K Value Tanah Subbase : 235,912 pci
- Flexural Strenght : 650 psi

Dan berikut adalah data pergerakan pesawat 20 tahun mendatang yaitu pada tahun 2036 :

Tabel 4. 40 : Pergerakan Pesawat 2036

NO	JENIS PESAWAT	PERGERAKAN PESAWAT 2016	TIPE RODA
1	A319	0	Dual Wheel
2	A320	3508	Dual Wheel
3	ATR72	13634	Dual Wheel
4	B732	0	Dual Wheel
5	B733	735	Dual Wheel
6	B734	1593	Dual Wheel
7	B735	0	Dual Wheel
8	B738	14356	Dual Wheel
9	B739	4708	Dual Wheel
10	C208	0	Single Wheel
11	C402	0	Single Wheel
12	CRJ1000	4467	Dual Wheel
13	E135	0	Dual Wheel
14	E195	4556	Dual Wheel
15	MA60	0	Dual Wheel
16	TB10	0	Single Wheel

(Sumber : Analisis Data)

4.3.3.1. Perencanaan Perkerasan *Apron* Tahun 2036

Berdasarkan tabel 4.41 diketahui jumlah pergerakan pesawat untuk tahun 2036, dan dengan mengikuti langkah pada sub bab 2.6.2 tentang “ Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)”, maka akan didapat tebal perkerasan untuk tahun 2036, berikut adalah perhitungan menentukan tebal perkerasan tersebut :

1. Menentukan Pesawat Rencana
Pesawat rencana didapat dengan menghitung beban roda (*Wheel Load*) perpesawat, beban roda pesawat terbesar nantinya dipilih sebagai pesawat rencana (*Ir. Heru basuki*),

dalam contoh perhitungan kali ini digunakan pesawat Embraer 195, dengan menggunakan persamaan 25, maka

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times 0,95 \times 107.338 \text{ lbs} \\ &= 25.493 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Dengan mengulang perhitungan diatas untuk semua tipe pesawat maka didapat beban roda perpesawat terbesar adalah pesawat B739 sebesar 41.285 lbs, berikut adalah rekap nilai beban roda pesawat :

Tabel 4. 41 : Rekap Beban Roda Perpesawat

NO	JENIS PESAWAT	W
		(Lbs)
1	A319	33.440
2	A320	38.404
3	ATR72	11.234
4	B732	27.374
5	B733	29.506
6	B734	32.823
7	B735	27.374
8	B738	36.852
9	B739	41.285
10	C208	4.076
11	C402	2.989
12	CRJ1000	19.071
13	E135	10.450
14	E195	25.493
15	MA60	11.391
16	TB10	1.150

(Sumber : Analisis)

Maka didapat pesawat rencana untuk desain perkerasan adalah pesawat Boeing 737-900.

2. Menghitung *Annual Departure* Pesawat Campuran (R2)
Pesawat rencana adalah pesawat Boeing 737-900 dengan konfigurasi roda pendaratan adalah *dual wheel* (Ir. Heru Basuki) , dikarenakan konfigurasi roda berbeda tiap-tiap pesawat, maka perlu dilakukannya pengkonversian dari pesawat bukan rencana menjadi pesawat rencana dengan mengalikan jumlah pergerakan pesawat bukan rencana dengan faktor pengkali, faktor pengkali tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 42 : Faktor Pengkali

Konversi dari	Ke	Faktor Pengkali
Single Wheel	Dual Wheel	0,80
Single Wheel	Dual Tandem	0,50
Dual Wheel	Dual Tandem	0,60
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,00
Dual Tandem	Single Wheel	2,00
Dual Tandem	Dual Wheel	1,70
Dual Wheel	Single Wheel	1,30
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,70

(Sumber : FAA)

Dan dengan melihat regresi pergerakan pesawat pada tahun 2036 yang disediakan pada tabel 4.41, diketahui bahwa pesawat yang memiliki konfigurasi roda berupa single wheel tidak diperhitungkan, karna pergerakan pesawat single wheel tersebut yaitu ; C208, C402, dan TB10 pada tahun 2036 tidak ada atau bernilai 0, maka dari itu pesawat ini tidak berpengaruh terhadap tebal perkerasan untuk 2036.

3. Menghitung *Equivalent Annual Departure* (R1)
 Setelah semua data didapat, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *Equivalent Annual Departure* (R1), berikut adalah contoh perhitungan nilai R1 untuk pesawat Embraer 195 :

$$\begin{aligned}
 R1 &= \text{Log } R2 \times \left(\frac{W2}{W1} \right)^{1/2} \\
 &= \text{Log } 6 \times \left(\frac{25.493}{41.825} \right)^{1/2} \\
 &= 750 \text{ Pergerakan}
 \end{aligned}$$

Dan dengan mengulang perhitungan R1 untuk tiap-tiap pesawat, maka akan didapat nilai R1 tiap-tiap pesawat, setelah didapat nilai R1 tiap-tiap pesawat, nilai tersebut dijumlah menjadi $R1_{\text{Total}}$, nilai tersebutlah yang nantinya akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan dengan menggunakan grafik yang telah dikeluarkan oleh peraturan FAA, berikut ini adalah rekap nilai R1 dan $R1_{\text{Total}}$:

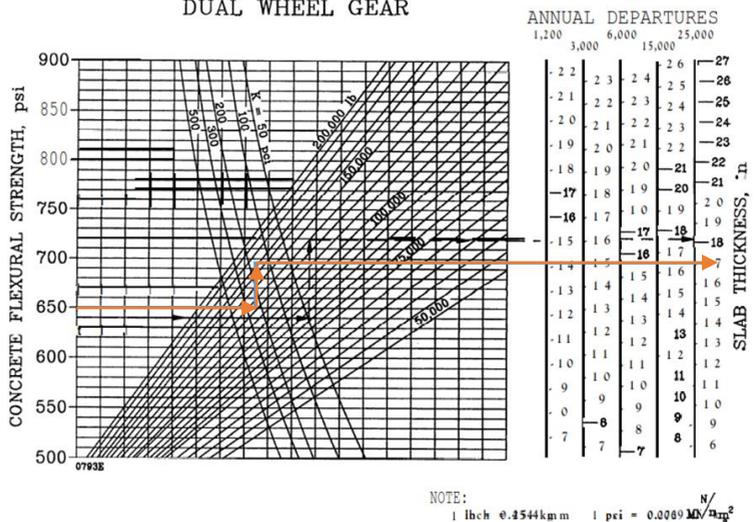
Tabel 4. 43 : Nilai Equivalent Annual Departure (R1)

NO	JENIS PESAWAT	PERGERAKAN PESAWAT 2036	TIPE RODA	MTOW	W2	R2	W1	R1
1	A319	0	Dual Wheel	140.800	33.440	0	41.285	0
2	A320	3508	Dual Wheel	161.700	38.404	3.508	41.285	2625
3	ATR72	13634	Dual Wheel	47.300	11.234	13.634	41.285	143
4	B732	0	Dual Wheel	115.258	27.374	0	41.285	0
5	B733	735	Dual Wheel	124.234	29.506	735	41.285	265
6	B734	1593	Dual Wheel	138.204	32.823	1.593	41.285	717
7	B735	0	Dual Wheel	115.258	27.374	0	41.285	0
8	B738	14356	Dual Wheel	155.166	36.852	14.356	41.285	8462
9	B739	4708	Dual Wheel	173.833	41.285	4.708	41.285	4708
10	C208	0	Single Wheel	8.580	4.076	0	41.285	0
11	C402	0	Single Wheel	6.292	2.989	0	41.285	0
12	CRJ1000	4467	Dual Wheel	80.300	19.071	4.467	41.285	303
13	E135	0	Dual Wheel	44.000	10.450	0	41.285	0
14	E195	4556	Dual Wheel	107.338	25.493	4.556	41.285	750
15	MA60	0	Dual Wheel	47.960	11.391	0	41.285	0
16	TB10	0	Single Wheel	2.420	1.150	0	41.285	0
Total								17973

4. Menentukan Tebal Slab Beton pada Perkerasan *Rigid Pavement*

Setelah didapat nilai MTOW pesawat Rencana, $R1_{Total}$, dan CBR, maka digunakan grafik 4.9 untuk mengetahui tebal slab beton pada perkerasan kaku tersebut.

Grafik 4. 9 : Grafik Desain Kurva Rigid Pavement, untuk Dual Wheel



Dikarenakan $R1$ bernilai 17973 berada diantara nilai 15000 dan 25000 maka diperlukan interpolasi untuk mengetahui nilai tebal slab beton pada saat $R1$ bernilai 17973, berikut adalah perhitungan interpolasi tersebut :

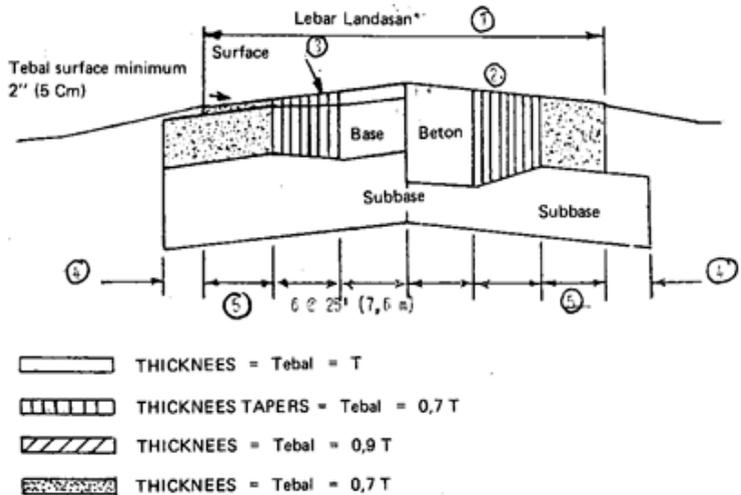
$$\frac{8.321 - 6.000}{15.000 - 6.000} = \frac{x - 16,5}{17,0 - 16,5}$$

$$\frac{2.321}{9.000} = \frac{x - 16,5}{0,5}$$

$$9.000 x - 148.500 = 1.160,5$$

$$x = 16,6289 \text{ inch}$$

Dan dengan melihat gambar 4.2 , maka diketahui bahwa tebal slab beton untuk daerah tak kritis direduksi 10% hingga tebal tersebut berkurang menjadi $0,9T$, maka tebal daerah tak kritis tersebut adalah sebesar $0,9 \times 16,6289$ inch : $14,9661$ inch



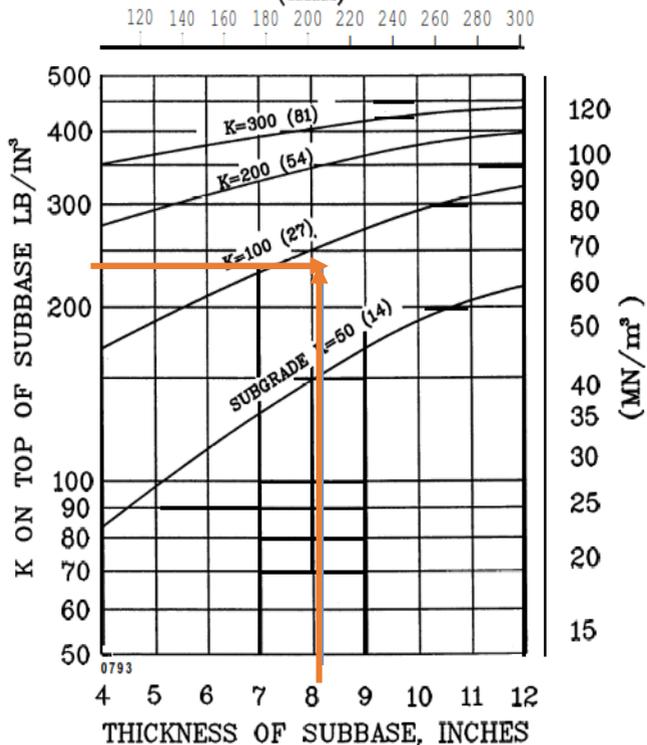
Gambar 4. 5 : Penampang Melintang Landasan
(Sumber : Ir. Heru Basuki)

5. Menentukan Tebal *Subbase Rigid Pavement*
- FAA mengajurkan bahwa dibutuhkan stabilisasi *subbase* untuk semua perkerasan kaku yang didesain untuk pesawat yang bebannya lebih dari 100.000 pounds (45.400 kg), berdasarkan peraturan FAA AC 150/5320-6D section 3 pasal 328 tentang "*Stabilized Subbase*", terdapat pilihan material stabilisasi subbase yaitu antara lain :

- *Item P-304 – Cement Treated Base Course*
- *Item P-306 – Econocrete Subbase Course*
- *Item P-401 – Plant Mix Bituminous Pavement*

Dan untuk menentukan tebal *subbase* digunakan grafik disain tebal subbase yang bersumber dari peraturan FAA, berikut adalah penerapannya pada grafik :

Grafik 4. 10 : Disain Tebal *Stabilized Subbase*
(mm)



Maka berdasarkan grafik diatas didapat tebal subbase untuk stabilized subbase sebesar 8,1 inch.

Setelah semua telah dihitung maka didapat data rincian tebal perkerasan *taxiway* yang dibutuhkan dan berikut adalah rekap tebal perkerasan *taxiway* untuk tahun 2036 :

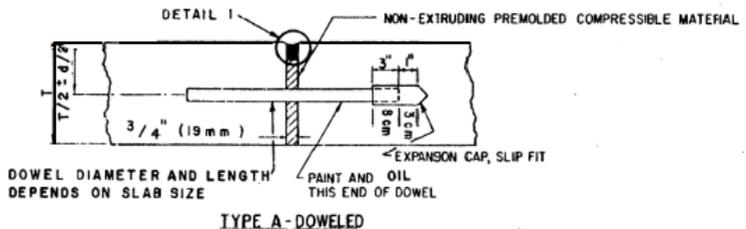
Tabel 4. 44 : Rekap Tebal Perkerasan *Apron* Tahun 2036

Komposisi Lapisan	RIGID PAVEMENT (APRON) 2036			
	Area Kritis		Area tak kritis	
	inch	cm	inch	cm
Aspal (AC)	-	0	1,9685	5
Slab Beton	16,6289	42,2375	14,9661	38,0138
Subbase Coarse	8,1	20,574	8,1	20,574
Total	24,7289	62,8115	25,0346	63,5878

4.3.4. Perencanaan Sambungan Perkerasan Kaku

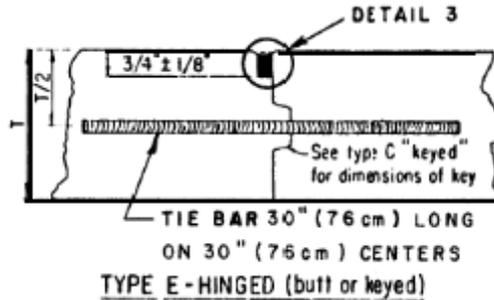
Terdapat 3 jenis sambungan yang direkomendasikan FAA AC 150/5320-6E, yaitu *Isolation Joints* (Tipe A & B), Construction Joint (Tipe C, D, dan E), dan Contraction Joint (Tipe F, G, dan H). Sambungan pada perkerasan kaku yang direncanakan menggunakan 3 jenis sambungan dimana setiap jenis sambungan memiliki tipe yang berbeda-beda, berikut adalah sambungan yang dipakai beserta alasan dipakainya sambungan tersebut :

- *Isolation Joint* Tipe A dipakai dikarenakan berdasarkan regulasi FAA merekomendasikan bahwa sambungan tipe B seharusnya dihindari sebisa mungkin dikarenakan dalam sisi pembuatan di lapangan sedikit sulit.



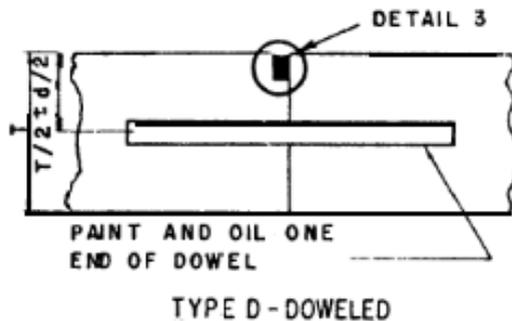
Gambar 4. 6 : *Isolation Joint* (Tipe A-Doweled)
(Sumber : FAA)

- *Construction Joint* Memanjang menggunakan Tipe E *Hinged*, dikarenakan tulangan yang digunakan pada sambungan ini menggunakan tie bar yang cocok untuk sambungan memanjang.



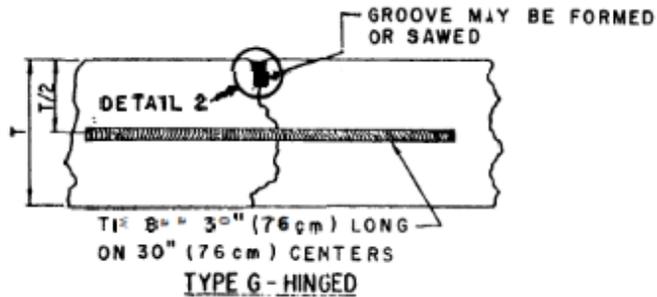
Gambar 4.7 : *Longitudinal Construction Joint (Type E-Hinged)*
(Sumber : FAA)

- *Construction Joint* Melintang menggunakan Tipe D *Doweled*, dikarenakan tulangan yang digunakan pada sambungan ini menggunakan dowel yang cocok untuk sambungan melintang.



Gambar 4.8 : *Tranverse Construction Joint (Type D-Doweled)*
(Sumber : FAA)

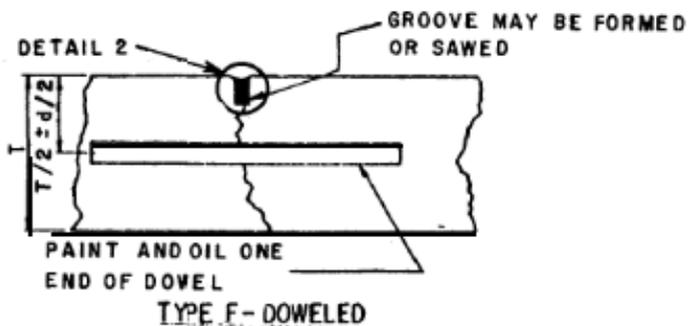
- *Constraction Joint* Memanjang menggunakan Tipe G *Hinged*, dikarenakan tulangan yang digunakan pada sambungan ini menggunakan tie bar yang cocok untuk sambungan memanjang.



Gambar 4. 9 : *Longitudinal Construction Joint (Type G-Hinged)*

(Sumber : FAA)

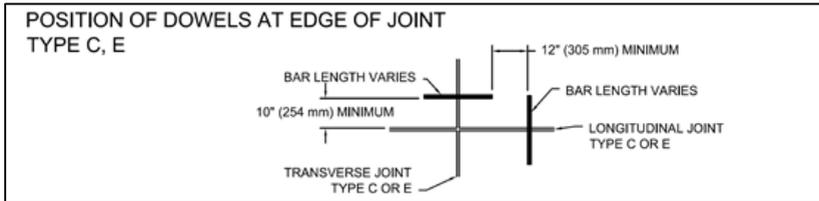
- *Constraction Joint* Melintang menggunakan Tipe F *Doweled*, dikarenakan tulangan yang digunakan pada sambungan ini menggunakan dowel yang cocok untuk sambungan melintang.



Gambar 4. 10 : *Tranverse Construction Joint (Type F-Doweled)*

(Sumber : FAA)

Serta posisi sambungan konstruksi untuk Tipe E pada tepi atau pertemuan antar perkerasan dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4. 11 : Posisi Sambungan pada Tepi Perkerasan
(Sumber : FAA)

Untuk jarak antar sambungan perkerasan kaku dengan perbaikan pondasi bawah berdasarkan peraturan FAA AC No. 150/5320-6E mengenai *Airport Pavement Design and Evaluation* yang mengatur tentang rekomendasi jarak maksimum sambungan perkerasan kaku dengan atau tanpa perbaikan pondasi bawah. Adapun jarak tersebut dapat dilihat pada tabel 4.46 dibawah ini.

Tabel 4. 45 : Rekomendasi Jarak Sambungan Perkerasan Kaku
Dengan atau Tanpa Perbaikan Pondasi Bawah

Bagian I, Tanpa Perbaikan Pondasi Bawah			
Slab Thickness		Joint Spacing ¹	
Inches	Millimeters	Feet	Meters
6	152	12.5	3.8
6.5-9	165-229	15	4.6
>9	>229	20	6.1
Bagian II, Dengan Perbaikan Pondasi Bawah			
Slab Thickness		Joint Spacing ¹	
Inches	Millimeters	Feet	Inches
8-10	203-254	12.5	3.8
10.5-13	267-330	15	4.6
13.5-16	343-406	17.5	5.3
>16	>406	20	6.1

(Sumber : FAA)

Berdasarkan tabel diatas didapatkan jarak antar sambungan untuk perkerasan kaku landas hubung dan landas parkir tahun 2036 dengan tebal minimum slab beton sebesar 16,629 inch digunakan jarak antar sambungan sebesar 6,1 inch.

4.3.5. Perencanaan Tulangan Perkerasan Beton

Perencanaan penulangan berfungsi untuk mengurangi efek susut dari beton. Tulangan memanjang maupun tulangan melintang di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$$

Dimana :

- A_s = Luas penampang tulangan baja (mm²/m')
- f_s = kuat tarik ijin tulangan (Mpa)
- g = Gravitasi (m/s²)
- h = tebal plat beton (m)
- L = Jarak antara sambungan yang tidak diikat
- M = berat per satuan volume plat (kg/m³)
- μ = Koefisien gesek antara plat beton dan pondasi bawah.

Dengan menggunakan persamaan diatas maka akan didapat luas tulangan untuk tiap slab beton, slab beton yang di tulangi terdapat 2 tipe ukuran plat, yaitu sebagai berikut :

- Plat Tipe 1 :
 - Tebal Plat : 43 cm
 - Lebar Plat : 2 x 7,5 m
 - Panjang Plat : 7,5 m
- Plat Tipe 2 :
 - Tebal Plat : 39 cm
 - Lebar Plat : 7,5 m
 - Panjang Plat : 6,25 m

Dengan spesifikasi yang telah diketahui sebagai berikut :

- Koefisien Gesek antara Plat Beton dengan Pondasi : 1
- Kuat Tarik Ijin Baja : 240 MPa
- Berat Ijin Beton : 2400 kg/m³
- Gravitasi : 9,81 m/s²
- f_{cf} : 650 psi
: 45,7 kg/cm²

Dengan didapatnya nilai f_{cf} maka dengan menggunakan persamaan

$$\begin{aligned}
 - f_c &= \left(\frac{f_{cf}}{3,13 \times 0,75} \right)^{0,5} \\
 &= 379,98 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah contoh perhitungan tulangan memanjang dan melintang untuk plat tipe 1 :

a. Plat Tipe 1

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1 \times 7,5 \times 2400 \times 9,81 \times 0,43}{2 \times 240} \\
 &= 158,19 \text{ mm}^2/\text{m}'
 \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai A_s perlu maka di bandingkan dengan A_s minimum, jika A_s perlu $>$ A_s minimum, maka digunakan A_s perlu jika A_s Minimum $>$ A_s perlu, maka digunakan A_s minimum, berikut adalah A_s minimum untuk plat tipe 1:

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Minimum} &= 0,10 \% \times 430 \times 1000 \\
 &= 430 \text{ mm}^2/\text{m}'
 \end{aligned}$$

Maka karna A_s minimum $>$ A_s Perlu maka digunakan A_s minimum, dan berdasarkan trial n error didapat tulangan

yang dipakai D 10 jarak 170 mm dengan $A_s = 462 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, dengan mengulangi cara perhitungan diatas maka didapat tulangan dan memanjang dari tiap tipe plat adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 46 : Rekap Tulangan Memanjang & Melintang Perkerasan Kaku

APRON	Tulangan Memanjang & Melintang			
	Area Kritis		Area tak kritis	
	Dia (mm)	Jarak (mm)	Dia (mm)	Jarak (mm)
Plat Tipe 1	10	170	10	170
Plat Tipe 2	10	170	10	170
TAXIWAY	Area Kritis		Area tak kritis	
	Dia (mm)	Jarak (mm)	Dia (mm)	Jarak (mm)
	Plat Tipe 1	10	170	10
Plat Tipe 2	10	170	10	170

(Sumber : Analisis Data)

Setelah didapat diameter tulangan serta jarak antar tulangan, maka dibutuhkan kontrol teoritis antar retakan, hal tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Lcr = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b \cdot (\epsilon_s \cdot E_c - f_{ct})}$$

Dimana :

$$U = 4/d$$

$$= 4/(10/10) = 4$$

$$P = A_s / (100 \times d)$$

$$= (462/100) / (100/(10/10)) = 0,0046$$

$$f_b = (1,97 \times (f_c)^{0,5}) / d$$

$$= (1,97 \times (378,98)^{0,5}) / (10/10) = 38,351 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E_s &= 400 \times 10^6 \\
 E_c &= 14850 \times (f_c)^{0,5} \\
 &= 14850 \times (378,98)^{0,5} = 289090 \text{ kg/cm}^2 \\
 E_s &= 2000000 \\
 n &= E_s / E_c \\
 &= 2000000 / 289090 = 7,2642 \\
 f_{ct} &= 0,5 \times f_{cf} \\
 &= 0,5 \times 45,7 = 22,85 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan D10-170, maka didapat nilai L_{cr} sebesar :

$$L_{cr} = \frac{(378,98)^2}{7,2642 \times (0,0045)^2 \times 4 \times 38,351 \times (0,0004 \times 289090 - 22,85)}$$

$$L_{cr} = 236,58 \text{ cm} < 250 \text{ (} L_{cr} \text{ Maks)}$$

Dikarenakan L_{cr} terjadi $< L_{cr}$ maks maka tulangan D10-170 dapat digunakan, pada kasus bandar udara Internasional Ahmad Yani Semarang digunakan tulangan wiremesh sebagai pengganti tulangan memanjang dan melintang dikarenakan metode pelaksanaan yang lebih praktis, dan maka dari itu diperlukan konversi tulangan konvensional ke tulangan wiremesh, dan berikut adalah cara untuk mengkonversi tulangan konvensional tersebut ke tulangan wiremesh :

Diketahui :

-	Fy-Tulangan Konvensional	=	240	Mpa
-	Fy-Tulangan Wire Mesh (Brosur PT Guna Bahara)	=	490	Mpa
-	As Konvensional	=	462	mm ² /m

Maka Kebutuhan Tulangan Wiremesh adalah :

$$\begin{aligned}
 - \quad A_{sw} &= A_s \times (f_y / f_{yw}) \\
 &= 462 \times (240/490) \\
 &= 226,285 \text{ mm}^2/\text{m}'
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Brosur PT Guna Bahara maka didapat :

$$- \quad \text{Tulangan Wiremesh} = D \ 7 - 150, \text{ Dengan } A_s = 256,5634 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

4.4. Perhitungan Perbaikan Tanah

Diketahui Data Tanah pada daerah Bandar Udara Ahmad Yani Semarang adalah sebagai berikut (Sumber : Project Binder PT. Geo Sarana Guna) :

Tabel 4. 47 : Data Tanah Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang

Lapisan	Depth	Jenis Tanah	Angka Pori (e)	Kadar Air W_N (%)	Specific Gravity (Gs)	Liquid Limit (LL) (%)	C_v cm^2/s
1	0-3	Sandy Silt	1,42	74,04	2,52	102,84	0,0005
2	3-6	Clay	2,2	78,74	2,56	69,22	
3	6-9	Clay	2,26	91,34	2,54	82,95	
4	9-12	Clay	2,15	80,72	2,56	95,27	
5	12-15	Clay	1,22	90,95	2,54	91,71	
6	15-33	Clay	2,18	92,58	2,46	85,83	

(Sumber : Data Laboratorium-Proyek)

Dan dikarenakan digunakan metode preloading + PVD maka diperlukan data tanah timbunan dari pada proyek ini, dan berikut adalah data tanah timbunan tersebut :

Tabel 4. 48 : Data Tanah Timbunan

	Ketebalan (m)	γ_d gr/cm^3
Diatas Air	5,5	1,72

(Sumber : Data Laboratorium-Proyek)

Untuk menghitung penurunan/settlement pada tanah dibutuhkan data seperti γ' , γ_{sat} , dan cc, nilai –nilai tersebut didapat dari perhitungan dan didapat nilai γ' , γ_{sat} , dan cc sebesar :

Tabel 4. 49 : Hasil Perhitungan Tanah

Lapisan	Depth	Jenis Tanah	γ_d (gr/cm ³)	e	γ (gr/cm ³)	γ_{sat} (gr/cm ³)	γ' (gr/cm ³)	cc
1	0-3	Sandy Silt	1,041	1,420	1,812	1,628	0,628	0,83556
2	3-6	Clay	0,800	2,200	1,430	1,488	0,488	0,53298
3	6-9	Clay	0,779	2,260	1,491	1,472	0,472	0,65655
4	9-12	Clay	0,813	2,150	1,469	1,495	0,495	0,76743
5	12-15	Clay	1,144	1,220	2,185	1,694	0,694	0,73539
6	15-33	Clay	0,774	2,180	1,490	1,459	0,459	0,68247

(Sumber : Analisis Data)

Dimana γ' , γ_{sat} , dan cc dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Untuk tanah jenuh maka γ_{sat} dihitung dengan menggunakan persamaan : $\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e}$

- Untuk menghitung $\gamma' = 1 - \gamma_{sat}$

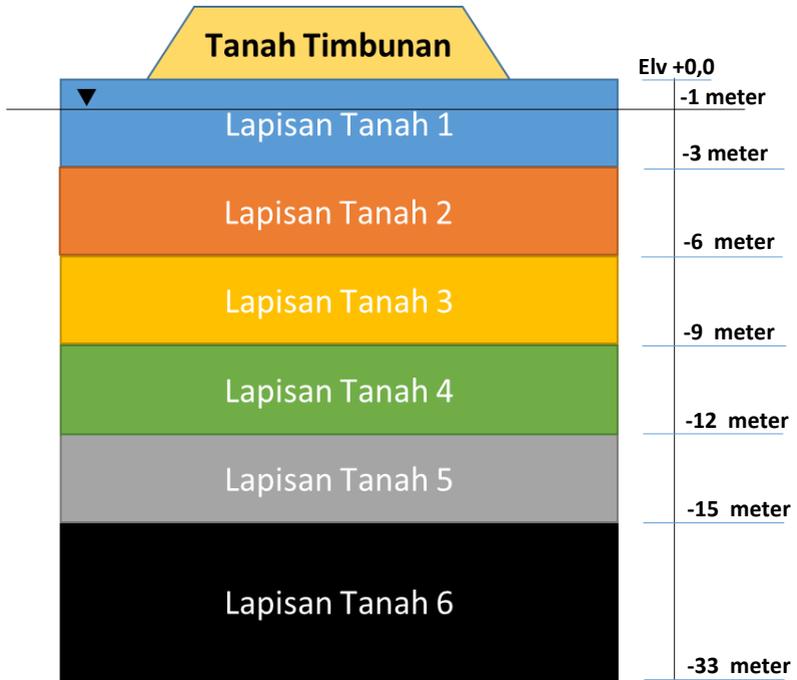
- Untuk menghitung indeks pemampatan (cc)

- Untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu / belum rusak
 $C_c = 0,009 (LL - 10)$

- Untuk lempung yang terbentuk kembali (*remodeled*)

4.4.1. Analisis Penurunan Tanah/*Settlement*

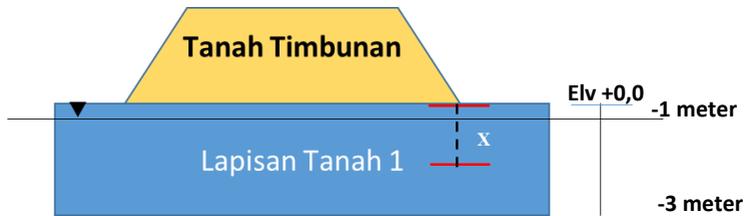
Dengan memproyeksikan data tanah pada gambar permodelan tanah maka didapat permodelan pembebanan tanah preloading terhadap tanah dasar adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 12 : Permodelan Pembebanan Tanah Preloading
(Sumber : Analisis Data)

Dengan menggunakan permodelan diatas maka akan dilakukan perhitungan penurunan tanah per lapisan tanah, berikut adalah salah satu contoh perhitungan penurunan tanah lapisan 1 yang merupakan *sand silt* :

1. Perhitungan Tegangan *Overburden* (P_o)
Tegangan *overburden* didapat dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 4. 13 : Permodelan Perhitungan Tekanan Overburden (P_o)

Maka didapat nilai $P_o = \gamma' \cdot X$, dimana X merupakan $\frac{1}{2}$ dari nilai H atau tebal lapisan tanah dalam meter, dan dengan menggunakan persamaan tersebut didapat nilai P_o untuk lapisan tanah 1 sebesar :

$$\begin{aligned} P_o &= \gamma' \cdot X \\ &= 0,0006281 \text{ kg/cm}^3 \times (1/2 \times (3 \times 100)) \times 100 \\ &= 9,422 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Tegangan Tambahan Akibat Timbunan (ΔP)
Perhitungan tegangan ini hampir sama dengan menghitung tegangan *overburden* akan tetapi dalam perhitungan ini digunakan γ_d dari timbunan dan tinggi timbunan total. Maka dengan menggunakan persamaan dibawah ini didapat nilai ΔP sebesar :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \gamma_d \cdot H \\ &= 0,00172 \text{ kg/cm}^3 \times (5,5 \times 100) \times 100 \\ &= 94,600 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Penurunan Tanah *Normally Consolidated* (S_c)
Dengan menggunakan persamaan 33 pada bab 2 dibawah maka didapat nilai S_c sebesar :

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{0,83556}{1 + 1,420} 1 \log \left(\frac{17,77 + 92,77}{17,77} \right) \\
 &= 1,080 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Dan dengan melakukan prosedur yang sama untuk tiap-tiap lapisan tanah maka akan didapat penurunan tanah dasar akibat beban tanah preloading sebesar :

Tabel 4. 50 : Rekap Perhitungan Penurunan Tanah Akibat Preloading

Soil Layer	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	ΔP (Kn/m ²)	Po (Kn/m ²)	Jenis Konsolidasi	Sc (m)
1	3	1,5	94,6	9,421	NC	1,080
2	6	4,5	94,6	21,938	NC	0,362
3	9	7,5	94,6	35,429	NC	0,341
4	12	10,5	94,6	52,000	NC	0,329
5	15	13,5	94,6	93,649	NC	0,301
6	33	24	94,6	357,545	NC	0,394
ΣS_c						2,808

(Sumber : Analisis Data)

Berdasarkan tabel diatas didapat Sc total adalah sebesar 2,8 meter dalam waktu yang tidak diketahui maka dari itu dibutuhkan perhitungan lama waktu penurunan tanah agar dapat di lakukan tindakan pencegahan apabila penurunan tanah berlangsung cukup lama.

4.4.1.1. Analisis Lama Waktu Penurunan Tanah

Dengan melihat pada sub bab 2.7.1.2 maka didapatkan prosedur untuk menghitung lama waktu penurunan tanah, dan berikut adalah perhitungan lama waktu penurunan tanah hingga mencapai penurunan total yaitu 2,8 meter.

1. Perhitungan Tebal Lapisan Terkonsolidasi Pengaruh Drainage

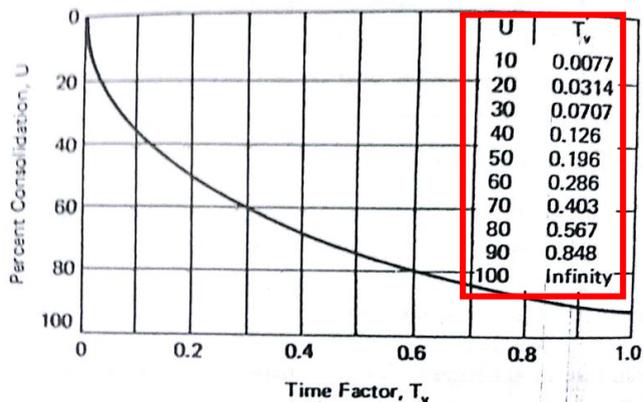
Dengan melihat permodelan tanah pada gambar 4.1, maka ditentukan bahwa tanah tersebut masuk kedalam sistim double drainage dan digunakan persamaan 36 pada bab 2, maka nilai H_t di dapat sebesar :

$$H_t = \frac{1}{2} \times 33 \text{ meter}$$

$$= 16,5 \text{ meter}$$

2. Penentuan *Time Factor* (T_v)
Berdasarkan grafik 4.11 maka berturut-turut untuk nilai derajat konsolidasi 10 – 100% adalah sebagai berikut :

Grafik 4. 11 : Time Factor (T_v)



(Sumber : Book Soil Improvement)

3. Perhitungan Waktu Konsolidasi (T)
Dengan menggunakan persamaan dibawah ini maka didapat waktu konsolidasi (T) sebesar :

Untuk $U = 10\%$ dengan $T_v = 0,0077$, dan dengan menggunakan persamaan 35 pada bab 2, maka didapat T sebesar :

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{0,0077}{1,5768 \text{ m}^2/\text{Tahun}} \times (16,5 \text{ m})^2 \\
 &= 1,381 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Ini menyatakan bahwa pada saat derajat konsolidasi 10% penurunan yang terjadi sebesar : $S = S_c \times U$ yaitu : 0,0225 meter dalam kurun waktu 1,381 tahun, dan dengan mengulangi langkah yang sama berturut-turut hingga $U = 100\%$ maka akan didapat lama penurunan hingga mencapai 2,8 meter, dan berikut adalah hasil rekap perhitungan lama waktu konsolidasi tersebut :

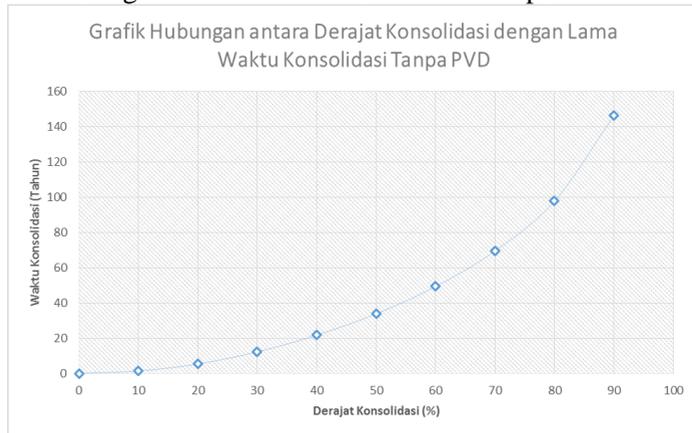
Tabel 4. 51 : Rekap Lama Waktu Konsolidasi

U	Tv	Penurunan $S = S_c \times U$	Waktu Sattlement (T)
(%)		(m)	(Tahun)
0	0	0	0
10	0,008	0,022464741	1,381
20	0,031	0,087050873	5,352
30	0,071	0,199374579	12,259
40	0,126	0,353819676	21,755
50	0,196	0,550386163	33,841
60	0,286	0,803114503	49,381
70	0,403	1,131661345	69,582
80	0,567	1,592188543	97,898
90	0,848	2,381262582	146,416
100	Infinity	2,808092668	

(Sumber : Analisis Data)

Dan dari hasil diatas diketahui bahwa untuk mencapai penurunan saat $U = 90\%$ dibutuhkan waktu sekitar 146 tahun, maka dari itu dibutuhkan percepatan dalam penurunan tanah tersebut agar tidak mengganggu aktivitas dari pengerjaan proyek bandar udara Internasional Ahmad Yani, dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

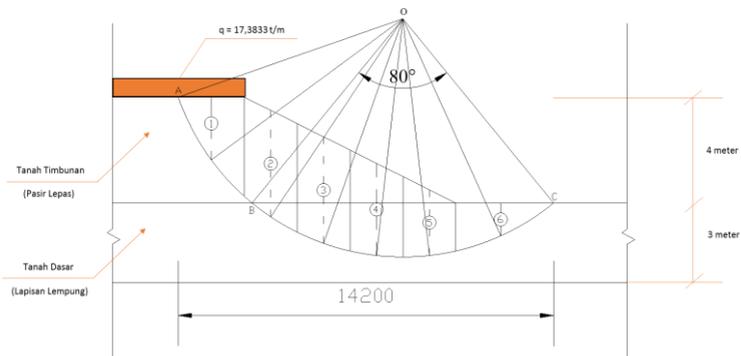
Grafik 4. 12 : Hubungan antar Derajat Konsolidasi dengan Lama Waktu Konsolidasi Tanpa PVD



(Sumber : Analisis Data)

4.4.1.2. Analisis Safety Faktor Tinggi Timbunan (Fs)

Tinggi timbunan tertinggi perlu di cek guna mengetahui apakah model timbuna jika di beri beban service pesawat boeing 737-900 akan terjadi kelongsoran atau tidak, kelongsoran terjadi jika $F_s < 1,2$ (Suyono), Berikut adalah contoh perhitungan safety faktor dengan tinggi timbunan 4 m dan perbandingan antara V dan H adalah 1V : 2H :



Gambar 4. 14 : Model Sliding (Method Of Slice)

Perhitungan Berat Irisan 1 – 6 :

Diket :

- a. Tanah Timbunan (Pasir Lepas)

$$\gamma = 17,2 \text{ kN/m}^2$$

$$c = 0$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$H = 4 \text{ meter}$$

- b. Tanah Dasar (Lapisan Lempung-Layer 1)

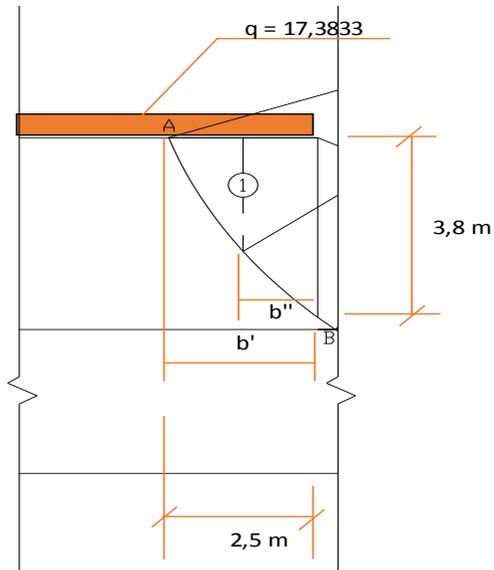
$$\gamma = 6,281 \text{ kN/m}^2$$

$$c = 1,8$$

$$\phi = 3,11^\circ$$

$$H = 3 \text{ meter}$$

1. Irisan 1



Gambar 4. 15 : Bidang Irisan 1
(Sumber : Analisis Data)

Irisan 1 dianggap sebagai bidang segitiga, maka nilai W1 merupakan luasan segitiga dari irisan 1 dikali dengan γ tanah yang berpengaruh pada bidang tersebut yaitu γ tanah timbunan, dan disebabkan adanya beban service pada bentang 2,5 m maka ada tambahan beban pada W1, dan menyebabkan nilai W1 sebesar :

Diketahui :

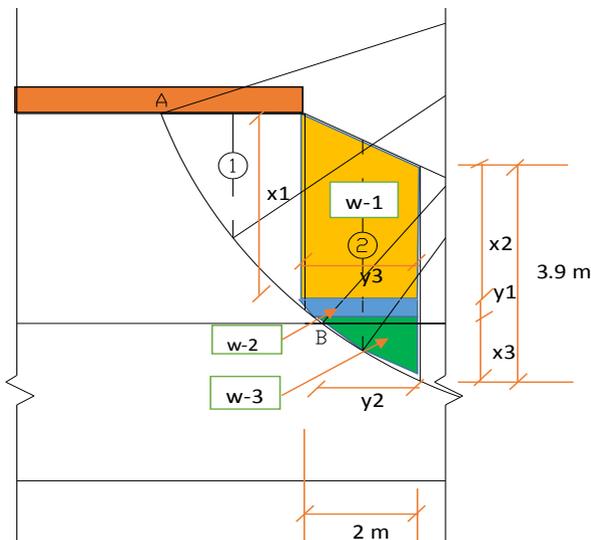
$$b = 2,5 \text{ m}$$

$$h = 3,8 \text{ m}$$

Maka W1 :

$$\begin{aligned} W1 &= \frac{1}{2} \times a \times t \times \gamma_{\text{Tanah Timbunan}} + \frac{1}{2} \times b' \times xq \\ &= \frac{1}{2} \times 2,5 \times 3,8 \times 1,72 + \frac{1}{2} \times 2,5 \times 17,833 \\ &= 51,62 \text{ Ton} \end{aligned}$$

2. Irisan 2



Gambar 4. 16 : Bidang Irisan 2
(Sumber : Analisis Data)

Pada irisan 2 terdapat 3 bidang luasan yaitu 2 bidang trapesium yang terpengaruhi oleh y timbunan, dan 1 bidang segitga yang terpengaruhi oleh y tanah dasar, maka dari itu nilai W_2 adalah jumlah dari $w-1$, $w-2$, dan $w-3$, berikut adalah perhitungannya :

Diketahui :

$$b = 2,5 \text{ m}$$

$$h = 4,2 \text{ m}$$

$$x_1 = 3,8 \text{ m}$$

$$x_2 = 2,8 \text{ m}$$

$$x_3 = 1,1 \text{ m}$$

$$y_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$y_2 = 1,65 \text{ m}$$

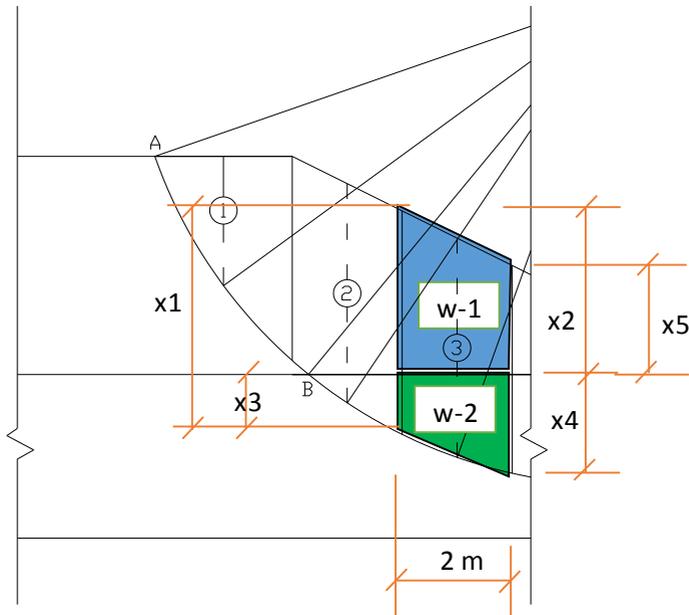
$$y_3 = 2 \text{ m}$$

Maka W_2 :

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{x_1 + x_2}{2} \times y_3 \times \gamma_{Tanah\ Timbunan} \\ &+ \frac{y_2 + y_3}{2} \times y_1 \times \gamma_{Tanah\ Timbunan} \\ &+ \frac{1}{2} \times y_2 \times x_3 \times \gamma_{Tanah\ Dasar} \\ &= \frac{3,8 + 2,8}{2} \times 2 \times 1,72 + \frac{1,65 + 2}{2} \times 0,3 \times 1,72 \\ &+ \frac{1}{2} \times 1,65 \times 2 \times 0,6281 \\ &= 12,86 \text{ Ton} \end{aligned}$$

3. Irisan 3

Pada irisan 3 terdapat 2 bidang trapesium yaitu $w-1$ yang terpengaruhi oleh y tanah timbunan, dan $w-2$ yang terpengaruhi oleh y tanah dasar, maka dari itu nilai W_3 adalah jumlah dari $w-1$ dan $w-2$, berikut adalah perhitungannya :



Gambar 4. 17 : Bidang Irisan 3
(Sumber : Analisis Data)

Diketahui :

$$b = 2 \text{ m}$$

$$h = 3,9 \text{ m}$$

$$x1 = 4,2 \text{ m}$$

$$x2 = 3,1 \text{ m}$$

$$x3 = 1,1 \text{ m}$$

$$x4 = 1,9 \text{ m}$$

$$x5 = 2 \text{ m}$$

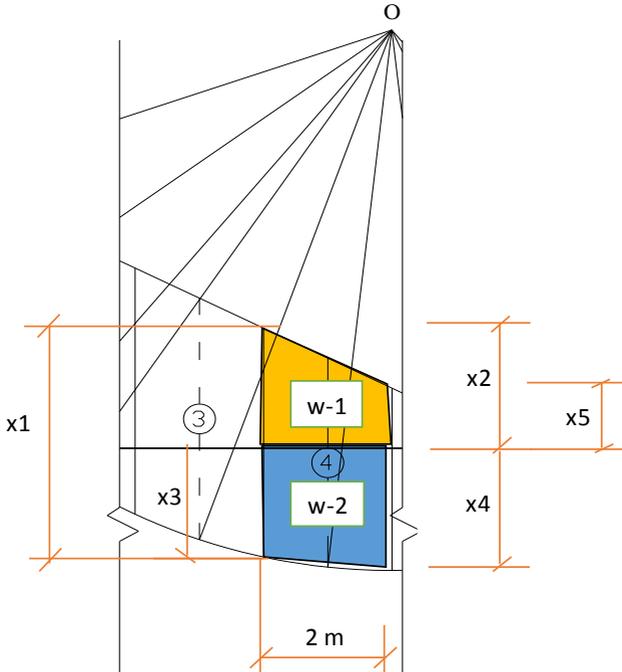
$$y1 = 2 \text{ m}$$

Maka $W3$:

$$W3 = \frac{x2 + x5}{2} x y1 x \forall_{Tanah \text{ Timbunan}} \\ + \frac{x3 + x4}{2} x y1 x \forall_{Tanah \text{ Dasar}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,1 + 2}{2} \times 2 \times 1,72 \\
 &\quad + \frac{1,1 + 1,9}{2} \times 2 \times 0,6281 \\
 &= 10,656 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4. Irisan 4



Gambar 4. 18 : Bidang Irisan 4
(Sumber : Analisis Data)

Pada irisan 4 terdapat 2 bidang trapesium yaitu w-1 yang terpengaruhi oleh y tanah timbunan, dan w-2 yang terpengaruhi oleh y tanah dasar, maka dari itu nilai W4 adalah jumlah dari w-1 dan w-2, berikut adalah perhitungannya :

Diketahui :

$$b = 2 \text{ m}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$x_1 = 3,9 \text{ m}$$

$$x_2 = 2 \text{ m}$$

$$x_3 = 1,9 \text{ m}$$

$$x_4 = 2 \text{ m}$$

$$x_5 = 1 \text{ m}$$

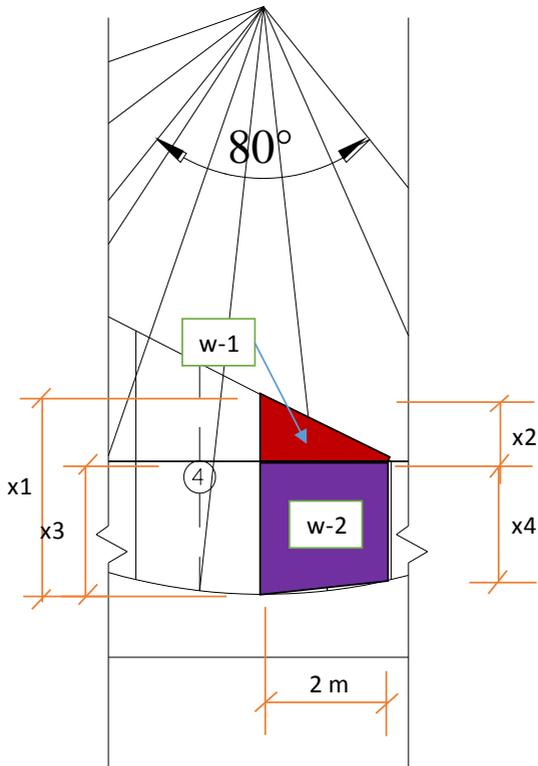
$$y_1 = 2 \text{ m}$$

Maka W4 :

$$\begin{aligned} W_4 &= \frac{x_2 + x_5}{2} \times y_1 \times \gamma_{\text{Tanah Timbunan}} \\ &\quad + \frac{x_3 + x_4}{2} \times y_1 \times \gamma_{\text{Tanah Dasar}} \\ &= \frac{2 + 1}{2} \times 2 \times 1,72 \\ &\quad + \frac{1,9 + 2}{2} \times 2 \times 0,6281 \\ &= 7,610 \text{ Ton} \end{aligned}$$

5. Irisan 5

Pada irisan 5 terdapat bidang segitiga yaitu w-1 yang terpengaruhi oleh γ tanah timbunan, dan bidang trapesium w-2 yang terpengaruhi oleh γ tanah dasar, maka dari itu nilai W5 adalah jumlah dari w-1 dan w-2, berikut adalah perhitungannya :



Gambar 4. 19 : Bidang Irisan 5
(Sumber : Analisis Data)

Diketahui :

$$b = 2 \text{ m}$$

$$h = 1,8 \text{ m}$$

$$x1 = 3 \text{ m}$$

$$x2 = 1 \text{ m}$$

$$x3 = 2 \text{ m}$$

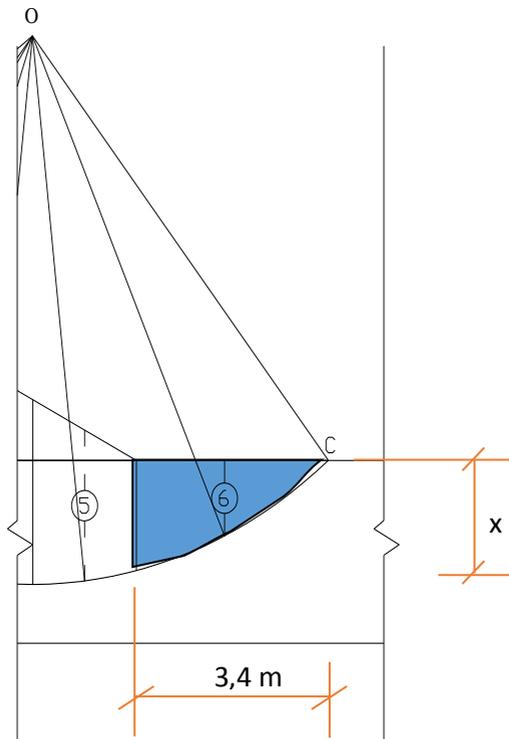
$$x4 = 1,8 \text{ m}$$

$$y1 = 2 \text{ m}$$

Maka $W5$:

$$\begin{aligned}
 W5 &= \frac{1}{2} x a x t x \gamma_{Tanah\ Timbunan} \\
 &+ \frac{x^3 + x^4}{2} x \gamma_1 x \gamma_{Tanah\ Dasar} \\
 &= \frac{1}{2} x \ 2 \ x \ 1 \ x \ 1,72 \\
 &+ \frac{2 + 1,8}{2} x \ 2 \ x \ 0,6281 \\
 &= 4,107 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

6. Irisan 6



Gambar 4. 20 : Bidang Irisan 6
(Sumber : Analisis Data)

Pada irisan 6 hanya terdapat 1 bidang yaitu segitiga yang terpengaruhi oleh γ tanah dasar, maka dari itu nilai W_6 adalah luasan bidang irisan 6 dikali dengan γ tanah dasar berikut adalah perhitungannya :

Diketahui :

$$b = 2 \text{ m}$$

$$h = 1,8 \text{ m}$$

Maka W_5 :

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{2} \times 2,5 \times 3,8 \times 1,72 + \frac{1}{2} \times 2,5 \times 17,833 \\ &= 51,62 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Setelah didapat berat masing-masing irisan maka diperlukan perhitungan jarak horizontal maupun vertikal tiap irisan terhadap titik pusat, lalu dilakukan perhitungan momen tiap irisan tersebut, berikut adalah rekap perhitungan tersebut :

Tabel 4. 52 : Rekap Perhitungan Irisan

No Irisan	Lebar Irisan	Tinggi Irisan	α	Berat Irisan	Jarak Mendatar dari titik pusat "0" (X)	W . X	Y	W.Y.tan ϕ
				(W)	(m)		r.cos α	
(1)	(2)	(3)	($^\circ$)	(Ton)	(m)	(Ton.Meter)	(m)	(Ton.Meter)
		0						
1	2,5	3,8	55	51,628	7,25	494,305	5,16	121,87
2	2	3 + 1,2	35	12,864	5	68,319	7,37	5,15
3	2	2 + 1,9	20	10,656	3	31,969	8,46	4,90
4	2	2 + 1	6	7,610	1	7,610	8,95	3,70
5	2	1,8	-7	4,107	-1	-4,107	8,93	1,99
6	3,4	0	-25	1,922	-3,4	-6,535	8,16	0,85
						$\Sigma WX :$ 591,561		$\Sigma WY :$ 138,47

(Sumber : Analisis Data)

Mengingat bahwa nilai kohesi tanah (c) hanya ada pada tanah dasar, maka panjang (l) kelongsoran terjadi di sepanjang titik BC,

dan titik BC tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\begin{aligned} L_{BC} &= 2\pi \times R \times \frac{\theta}{360} \\ &= 2\pi \times 9 \times \frac{80}{360} \\ &= 12,57 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka dengan data-data yang telah didapatkan didapat angka F_s untuk desain timbunan pada gambar 4.14 adalah sebesar :

$$F_s = \frac{138,47 \quad 12,57 \quad 0,18 \quad 9}{591,561} = 4,765 \text{ (FS melebihi 1,2)}$$

Karna F_s melebihi 1,2 maka tinggi timbunan 4 meter dengan perbandingan antara V dan H 1:2 tidak mengalami kelongsoran.

4.4.2. Analisis Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Pada Analisis PVD ini dicoba dengan menggunakan berbagai jarak konfigurasi antara lain adalah jarak 1, 1,25, 1,5, 1,75, dan 2 meter antar PVD serta konfigurasi pemasangan bujur sangkar/segitupat dan segitiga, untuk jenis dan spesifikasi PVD yang dipakai adalah sebagai berikut :

- Nama PVD = Amerdrain 407
- Lebar PVD (a) = 100 mm
= 0,1 m
- Tebal PVD (b) = 3 mm
= 0,003 m
- D_w = 0,0515 m $((a + b)/2)$

dan berikut adalah perhitungan PVD dengan konfigurasi segiempat dan segitiga :

4.4.2.1. Analisis PVD Bujur Sangkar/Segiempat

Dengan menggunakan persamaan pada sub bab 2.7.2 tentang “Prefabricated Vertical Drain (PVD)” maka didapat prosedur untuk menghitung lama konsolidasi dengan menggunakan PVD, dan berikut adalah contoh perhitungan PVD segiempat dengan jarak antar PVD sebesar 1 meter :

- Perhitungan Diameter Pengaruh (D)
 Dengan konfigurasi segiempat dan menggunakan persamaan 39 pada bab 2, maka didapat nilai D sebesar :

$$D = 1,13 \times 1$$

$$= 1,13 \text{ meter}$$
- Perhitungan Faktor Hambatan (F(n))
 Dengan menggunakan persamaan 42 pada bab 2, maka di dapat nilai F(n) sebesar :

$$F(n) = \ln\left(\frac{1,13}{0,0515}\right) - \frac{3}{4}$$

$$= 2,338$$
- Perhitungan Koefisien Konsolidasi Horizontal (C_h)
 Berdasarkan sub bab 4.7.2 dikatakan bahwa perbandingan antara koefisien permeabilitas horizontal dengan vertikal adalah 2 sampai 5 kali dari koefisien konsolidasi vertikal (C_v) maka dari itu dengan mengasumsikan perbandingan itu bernilai 3 kali maka didapat C_h sebesar :

$$C_h = 3 \times C_v$$

$$= 3 \times (0,0005 \times 60 \times 60 \times 24 \times 7)$$

$$= 0,09072 \text{ m}^2/\text{minggu}$$

- Perhitungan Derajat Konsolidasi (U)

- a. Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal (U_v)

Dengan menggunakan persamaan dibawah ini, serta menentukan $t = 1$ minggu, maka akan didapat nilai U_v sebesar :

Dimana :

$$\begin{aligned} T_v &= \frac{C_v \times t}{H_t^2} \\ &= \frac{0,03024 \times 1}{(16,5)^2} \\ &= 0,000111 \end{aligned}$$

dikarenakan $T_v < 60\%$ maka digunakan persamaan U_v

$$U_v = 2 \times \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\%$$

Maka U_v :

$$\begin{aligned} U_v &= 2 \times \sqrt{\frac{0,000111}{\pi}} \times 100\% \\ &= 1,189\% \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal (U_h)

Berdasarkan persamaan barron (1948) maka didapat nilai U_h sebesar :

$$\begin{aligned} U_h &= \left[1 - \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{t \times 8 \times Ch}{D^2 \times F(n)}\right)} \right) \right] \\ &= \left[1 - \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{1 \times 8 \times 0,0902}{(1,13)^2 \times 2,339}\right)} \right) \right] \times 100\% \\ &= 21,578\% \end{aligned}$$

Maka didapat nilai U_{Total} sebesar :

$$\begin{aligned}
 U &= [1 - (1 - Uh) \times (1 - Uv)] \times 100\% \\
 &= [1 - (1 - 0,2157780) \times (1 - 0,0118922)] \times 100\% \\
 &= 22,510\%
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk jarak pemasangan dan dengan memperhitungkan U_{Total} hingga 90% maka akan didapat waktu konsolidasi dengan menggunakan PVD hingga penurunan saat U 90% selesai terjadi, dan berikut adalah rekap perhitungan tersebut :

Tabel 4. 53 : Rekap Nilai F(n) dengan Jarak (s) berbeda-beda

Jarak PVD (S)	D 1,13 x S	Tebal PVD (a)	Lebar PVD (b)	dw (a+b)/2	F(n)
(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	
1	1,13	0,1	0,003	0,0515	2,338391
1,25	1,4125	0,1	0,003	0,0515	2,561535
1,5	1,695	0,1	0,003	0,0515	2,743856
1,75	1,9775	0,1	0,003	0,0515	2,898007
2	2,26	0,1	0,003	0,0515	3,031538

(Sumber : Analisis Data)

c. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1 meter

- D = 1,13 meter
- F(n) = 2,339
- $C_v = 0,03024 \text{ m}^2/\text{minggu}$
- $C_h = 0,09072 \text{ m}^2/\text{minggu}$

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga U = 90% adalah:

Tabel 4. 54 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1 meter

t (Minggu)	Tv (%)	Uv (%)	Uh (%)	Utotal (%)
1	0,00011	1,189219463	21,57780	22,51041
2	0,00022	1,681810294	38,49958	39,5339
3	0,00033	2,059788532	51,77001	52,76345
4	0,00044	2,378438927	62,17698	63,07658
5	0,00056	2,659175561	70,33835	71,12711
6	0,00067	2,912980878	76,73868	77,41628
7	0,00078	3,146378955	81,75796	82,33193
8	0,00089	3,363620588	85,69419	86,17539
9	0,00100	3,56765839	88,78107	89,18132
10	0,00111	3,760642142	91,20187	91,53273

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 2,5 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

d. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1,25 meter

- $D = 1,4125$ meter
- $F(n) = 2,561$
- $C_v = 0,03024$ m²/minggu
- $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 55 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,25 meter

t (Minggu)	Tv (%)	Uv (%)	Uh (%)	Utotal (%)
1	0,000	1,189	13,239	14,270

2	0,000	1,682	24,725	25,991
3	0,000	2,060	34,690	36,035
4	0,000	2,378	43,336	44,684
5	0,001	2,659	50,838	52,145
6	0,001	2,913	57,346	58,589
7	0,001	3,146	62,993	64,157
8	0,001	3,364	67,892	68,972
9	0,001	3,568	72,143	73,137
10	0,001	3,761	75,831	76,740
11	0,001	3,944	79,030	79,858
12	0,001	4,120	81,807	82,556
13	0,001	4,288	84,215	84,892
14	0,002	4,450	86,305	86,914
15	0,002	4,606	88,118	88,665
16	0,002	4,757	89,691	90,181
17	0,002	4,903	91,056	91,494

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 4 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

- c. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1,5 meter
- $D = 1,695$ meter
 - $F(n) = 2,744$
 - $C_v = 0,03024$ m²/minggu
 - $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 56 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,5 meter

t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(Minggu)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0,000	1,189	8,795	9,880
2	0,000	1,682	16,817	18,216
3	0,000	2,060	24,133	25,696
4	0,000	2,378	30,806	32,452
5	0,001	2,659	36,892	38,570
6	0,001	2,913	42,443	44,119
7	0,001	3,146	47,505	49,157
8	0,001	3,364	52,122	53,733
9	0,001	3,568	56,333	57,891
10	0,001	3,761	60,174	61,672
11	0,001	3,944	63,677	65,109
12	0,001	4,120	66,871	68,236
13	0,001	4,288	69,785	71,081
14	0,002	4,450	72,443	73,669
15	0,002	4,606	74,866	76,024
16	0,002	4,757	77,077	78,167
17	0,002	4,903	79,093	80,118
18	0,002	5,045	80,932	81,894
19	0,002	5,184	82,609	83,511
20	0,002	5,318	84,139	84,982
21	0,002	5,450	85,534	86,322
22	0,002	5,578	86,806	87,542
23	0,003	5,703	87,967	88,653
24	0,003	5,826	89,025	89,664

25	0,003	5,946	89,990	90,585
26	0,003	6,064	90,871	91,424

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 6,25 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

- d. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1,75 meter
- $D = 1,9775$ meter
 - $F(n) = 2,898$
 - $C_v = 0,03024$ m²/minggu
 - $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 57 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,75 meter

t (Minggu)	Tv (%)	Uv (%)	Uh (%)	Utotal (%)
1	0,000	1,189	6,203	7,319
2	0,000	1,682	12,022	13,502
3	0,000	2,060	17,480	19,179
4	0,000	2,378	22,599	24,440
5	0,001	2,659	27,400	29,331
6	0,001	2,913	31,904	33,887
7	0,001	3,146	36,128	38,138
8	0,001	3,364	40,090	42,105
9	0,001	3,568	43,807	45,811
10	0,001	3,761	47,293	49,275
11	0,001	3,944	50,562	52,512

12	0,001	4,120	53,629	55,539
13	0,001	4,288	56,506	58,371
14	0,002	4,450	59,204	61,019
15	0,002	4,606	61,734	63,497
16	0,002	4,757	64,108	65,816
17	0,002	4,903	66,335	67,985
18	0,002	5,045	68,423	70,016
19	0,002	5,184	70,382	71,917
20	0,002	5,318	72,219	73,697
21	0,002	5,450	73,943	75,363
22	0,002	5,578	75,559	76,922
23	0,003	5,703	77,075	78,383
24	0,003	5,826	78,497	79,750
25	0,003	5,946	79,831	81,030
26	0,003	6,064	81,082	82,230
27	0,003	6,179	82,256	83,352
28	0,003	6,293	83,357	84,404
29	0,003	6,404	84,389	85,389
30	0,003	6,514	85,357	86,311
31	0,003	6,621	86,266	87,175
32	0,004	6,727	87,118	87,984
33	0,004	6,832	87,917	88,742
34	0,004	6,934	88,666	89,452
35	0,004	7,036	89,370	90,117
36	0,004	7,135	90,029	90,740
37	0,004	7,234	90,648	91,324

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 8,75 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

e. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 2 meter

- $D = 2,26$ meter
- $F(n) = 3,031$
- $C_v = 0,03024$ m²/minggu
- $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 58 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 2 meter

t (Minggu)	T_v (%)	U_v (%)	U_h (%)	U_{total} (%)
1	0,000	1,189	4,579	5,714
2	0,000	1,682	8,948	10,480
3	0,000	2,060	13,118	14,907
4	0,000	2,378	17,096	19,068
5	0,001	2,659	20,892	22,996
6	0,001	2,913	24,515	26,714
7	0,001	3,146	27,971	30,237
8	0,001	3,364	31,269	33,581
9	0,001	3,568	34,417	36,756
10	0,001	3,761	37,420	39,773
11	0,001	3,944	40,285	42,641
12	0,001	4,120	43,020	45,367
13	0,001	4,288	45,629	47,960

14	0,002	4,450	48,118	50,427
15	0,002	4,606	50,494	52,774
16	0,002	4,757	52,761	55,008
17	0,002	4,903	54,924	57,134
18	0,002	5,045	56,988	59,158
19	0,002	5,184	58,958	61,085
20	0,002	5,318	60,837	62,920
21	0,002	5,450	62,630	64,667
22	0,002	5,578	64,342	66,331
23	0,003	5,703	65,974	67,915
24	0,003	5,826	67,532	69,424
25	0,003	5,946	69,019	70,861
26	0,003	6,064	70,438	72,230
27	0,003	6,179	71,791	73,535
28	0,003	6,293	73,083	74,777
29	0,003	6,404	74,316	75,960
30	0,003	6,514	75,492	77,088
31	0,003	6,621	76,614	78,162
32	0,004	6,727	77,685	79,186
33	0,004	6,832	78,707	80,161
34	0,004	6,934	79,682	81,091
35	0,004	7,036	80,612	81,976
36	0,004	7,135	81,500	82,820
37	0,004	7,234	82,347	83,624
38	0,004	7,331	83,155	84,390
39	0,004	7,427	83,927	85,120
40	0,004	7,521	84,663	85,816

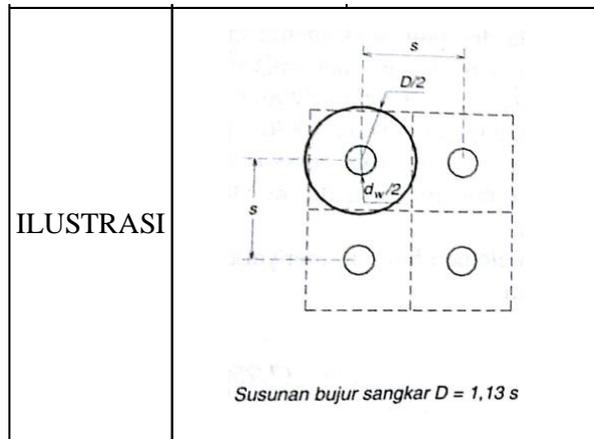
41	0,005	7,615	85,365	86,479
42	0,005	7,707	86,035	87,111
43	0,005	7,798	86,675	87,714
44	0,005	7,888	87,285	88,288
45	0,005	7,978	87,867	88,835
46	0,005	8,066	88,423	89,356
47	0,005	8,153	88,953	89,853
48	0,005	8,239	89,459	90,327
49	0,005	8,325	89,941	90,779
50	0,006	8,409	90,402	91,209

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 12 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$, dan berikut adalah rekap lama penurunan dari semua jarak pemasangan yang telah dicoba pada konfigurasi segiempat :

Tabel 4. 59 : Rekap Lama Waktu Konsolidasi pada Jarak (S) yang berbeda-beda

Jarak PVD (S)	POLA BUJUR SANGKAR	
	Utotal	Waktu Konsolidasi
(Meter)	(%)	(Bulan)
0,5	93,800	0,5
1	91,533	2,5
1,25	90,181	4
1,5	90,585	6,25
1,75	90,117	8,75
2	90,327	12



(Sumber : Analisis Data)

4.4.2.2. Analisis PVD Segitiga

Dengan menggunakan persamaan pada sub bab 2.7.2 tentang “Prefabricated Vertical Drain (PVD)” maka didapat prosedur untuk menghitung lama konsolidasi dengan menggunakan PVD, dan berikut adalah contoh perhitungan PVD seitiga dengan jarak antar PVD sebesar 1 meter :

- Perhitungan Diameter Pengaruh (D)
 Dengan konfigurasi segiempat dan menggunakan persamaan 40 pada bab 2, maka didapat nilai D sebesar :
 $D = 1,05 \times 1$
 $= 1,05 \text{ meter}$
- Perhitungan Faktor Hambatan (F(n))
 Dengan menggunakan persamaan 42 pada bab 2, maka di dapat nilai F(n) sebesar :

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \\
 &= \ln\left(\frac{1,05}{0,0515}\right) - \frac{3}{4} \\
 &= 2,265
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Koefisien Konsolidasi Horizontal (C_h)
Berdasarkan sub bab 4.7.2 dikatakan bahwa perbandingan antara koefisien permeabilitas horizontal dengan vertikal adalah 2 sampai 5 kali dari koefisien konsolidasi vertikal (C_v) maka dari itu dengan mengasumsikan perbandingan itu bernilai 3 kali maka didapat C_h sebesar :

$$\begin{aligned} C_h &= 3 \times C_v \\ &= 3 \times (0,0005 \times 60 \times 60 \times 24 \times 7) \\ &= 0,09072 \text{ m}^2/\text{minggu} \end{aligned}$$

- Perhitungan Derajat Konsolidasi (U)
 - a. Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal (U_v)
Dengan menggunakan persamaan dibawah ini, serta menentukan $t = 1$ minggu, maka akan didapat nilai U_v sebesar :

Dimana :

$$\begin{aligned} T_v &= \frac{C_v \times t}{H_t^2} \\ &= \frac{0,03024 \times 1}{(16,5)^2} \\ &= 0,000111 \end{aligned}$$

dikarenakan $T_v < 60\%$ maka digunakan persamaan U_v

$$U_v = 2 \times \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\%$$

Maka U_v :

$$\begin{aligned} U_v &= 2 \times \sqrt{\frac{0,000111}{\pi}} \times 100\% \\ &= 1,189\% \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Derajat Konsolidasi Horizontal (U_h)
Berdasarkan persamaan barron (1948) maka didapat nilai U_h sebesar :

$$\begin{aligned}
 U_h &= \left[1 - \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{t \times 8 \times Ch}{D^2 \times F(n)}\right)} \right) \right] \\
 &= \left[1 - \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{1 \times 8 \times 0,0902}{(1,05)^2 \times 2,265}\right)} \right) \right] \times 100\% \\
 &= 25,221 \%
 \end{aligned}$$

Maka didapat nilai U_{Total} sebesar :

$$\begin{aligned}
 U &= [1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)] \times 100\% \\
 &= [1 - (1 - 0,25221) \times (1 - 0,0118922)] \times 100\% \\
 &= 26,111\%
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk jarak pemasangan dan dengan memperhitungkan U_{Total} hingga 90% maka akan didapat waktu konsolidasi dengan menggunakan PVD hingga penurunan saat U 90% selesai terjadi, dan berikut adalah rekap perhitungan tersebut :

Tabel 4. 60 : Rekap Nilai F(n) dengan Jarak (s) berbeda-beda

Jarak PVD (S)	D 1,05 x S	Tebal PVD (a)	Lebar PVD (b)	dw (a+b)/2	F(n)
(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	
0,5	0,525	0,1	0,003	0,052	1,572
1	1,05	0,1	0,003	0,052	2,265
1,25	1,3125	0,1	0,003	0,052	2,488
1,5	1,575	0,1	0,003	0,052	2,670
1,75	1,8375	0,1	0,003	0,052	2,825
2	2,1	0,1	0,003	0,052	2,958

(Sumber : Analisis Data)

a. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1 meter

- $D = 1,05$ meter
- $F(n) = 2,265$
- $C_v = 0,03024$ m²/minggu
- $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 61 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1 meter

t (Minggu)	T_v (%)	U_v (%)	U_h (%)	U_{total} (%)
1	0,00011	1,189	25,221	26,111
2	0,00022	1,682	44,082	45,022
3	0,00033	2,060	58,185	59,046
4	0,00044	2,378	68,731	69,475
5	0,00056	2,659	76,618	77,240
6	0,00067	2,913	82,515	83,024
7	0,00078	3,146	86,925	87,336
8	0,00089	3,364	90,223	90,552
9	0,00100	3,568	92,689	92,950

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 2 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

b. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1,25 meter

- $D = 1,313$ meter
- $F(n) = 2,488$
- $C_v = 0,03024$ m²/minggu
- $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 62 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,25 meter

t (Minggu)	T _v (%)	U _v (%)	U _h (%)	U _{total} (%)
1	0,00011	1,189	15,577	16,581
2	0,00022	1,682	28,727	29,926
3	0,00033	2,060	39,829	41,068
4	0,00044	2,378	49,202	50,410
5	0,00056	2,659	57,114	58,255
6	0,00067	2,913	63,795	64,849
7	0,00078	3,146	69,434	70,396
8	0,00089	3,364	74,195	75,063
9	0,00100	3,568	78,215	78,992
10	0,00111	3,761	81,608	82,300
11	0,00122	3,944	84,473	85,085
12	0,00133	4,120	86,892	87,432
13	0,00144	4,288	88,933	89,408
14	0,00156	4,450	90,657	91,073

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 3,5 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

- c. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1,5 meter
- $D = 1,575$ meter
 - $F(n) = 2,670$
 - $C_v = 0,03024$ m²/minggu
 - $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 63 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,5 meter

t (Minggu)	Tv (%)	Uv (%)	Uh (%)	Utotal (%)
1	0,00011	1,189	10,377	11,443
2	0,00022	1,682	19,677	21,028
3	0,00033	2,060	28,013	29,495
4	0,00044	2,378	35,483	37,017
5	0,00056	2,659	42,178	43,715
6	0,00067	2,913	48,178	49,688
7	0,00078	3,146	53,556	55,017
8	0,00089	3,364	58,375	59,775
9	0,00100	3,568	62,695	64,026
10	0,00111	3,761	66,566	67,823
11	0,00122	3,944	70,036	71,217
12	0,00133	4,120	73,145	74,251
13	0,00144	4,288	75,932	76,964
14	0,00156	4,450	78,429	79,389
15	0,00167	4,606	80,668	81,558
16	0,00178	4,757	82,674	83,498
17	0,00189	4,903	84,472	85,233
18	0,00200	5,045	86,083	86,785
19	0,00211	5,184	87,527	88,174
20	0,00222	5,318	88,822	89,416
21	0,00233	5,450	89,982	90,528
22	0,00244	5,578	91,021	91,522

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 5,25 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

- d. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 1,75 meter
- $D = 1,8375$ meter
 - $F(n) = 2,825$
 - $C_v = 0,03024$ m²/minggu
 - $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 64 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 1,75 meter

t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(Minggu)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0,00011	1,189	7,328	8,430
2	0,00022	1,682	14,118	15,563
3	0,00033	2,060	20,411	22,051
4	0,00044	2,378	26,243	27,998
5	0,00056	2,659	31,648	33,466
6	0,00067	2,913	36,657	38,502
7	0,00078	3,146	41,298	43,145
8	0,00089	3,364	45,600	47,429
9	0,00100	3,568	49,586	51,385
10	0,00111	3,761	53,280	55,037
11	0,00122	3,944	56,704	58,411
12	0,00133	4,120	59,876	61,529
13	0,00144	4,288	62,816	64,411
14	0,00156	4,450	65,541	67,074

15	0,00167	4,606	68,066	69,537
16	0,00178	4,757	70,406	71,814
17	0,00189	4,903	72,575	73,919
18	0,00200	5,045	74,584	75,867
19	0,00211	5,184	76,447	77,668
20	0,00222	5,318	78,173	79,333
21	0,00233	5,450	79,772	80,874
22	0,00244	5,578	81,254	82,300
23	0,00255	5,703	82,628	83,619
24	0,00267	5,826	83,901	84,839
25	0,00278	5,946	85,080	85,968
26	0,00289	6,064	86,174	87,012
27	0,00300	6,179	87,187	87,979
28	0,00311	6,293	88,126	88,873
29	0,00322	6,404	88,996	89,701
30	0,00333	6,514	89,802	90,466
31	0,00344	6,621	90,549	91,175

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 7,5 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$

e. Lama Waktu Konsolidasi dengan Jarak antar PVD 2 meter

- $D = 2,1$ meter
- $F(n) = 2,958$
- $C_v = 0,03024$ m²/minggu
- $C_h = 0,09072$ m²/minggu

Maka didapat waktu lama konsolidasi hingga $U = 90\%$ adalah:

Tabel 4. 65 : Rekap Nilai Lama Waktu Konsolidasi Jarak antar PVD 2 meter

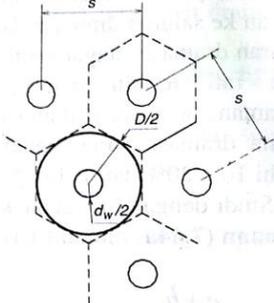
t	Tv	Uv	Uh	Utotal
(Minggu)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0,00011	1,189	5,411	6,536
2	0,00022	1,682	10,530	12,035
3	0,00033	2,060	15,372	17,115
4	0,00044	2,378	19,951	21,855
5	0,00056	2,659	24,283	26,297
6	0,00067	2,913	28,381	30,467
7	0,00078	3,146	32,256	34,388
8	0,00089	3,364	35,922	38,078
9	0,00100	3,568	39,390	41,552
10	0,00111	3,761	42,670	44,826
11	0,00122	3,944	45,772	47,911
12	0,00133	4,120	48,707	50,820
13	0,00144	4,288	51,482	53,563
14	0,00156	4,450	54,108	56,150
15	0,00167	4,606	56,591	58,591
16	0,00178	4,757	58,940	60,893
17	0,00189	4,903	61,162	63,067
18	0,00200	5,045	63,264	65,117
19	0,00211	5,184	65,252	67,053
20	0,00222	5,318	67,132	68,880
21	0,00233	5,450	68,911	70,605
22	0,00244	5,578	70,593	72,234

24	0,00267	5,826	73,690	75,223
25	0,00278	5,946	75,114	76,593
26	0,00289	6,064	76,460	77,888
27	0,00300	6,179	77,734	79,110
28	0,00311	6,293	78,939	80,264
29	0,00322	6,404	80,079	81,355
30	0,00333	6,514	81,157	82,384
31	0,00344	6,621	82,177	83,357
32	0,00355	6,727	83,141	84,275
33	0,00367	6,832	84,053	85,143
34	0,00378	6,934	84,916	85,962
35	0,00389	7,036	85,733	86,736
36	0,00400	7,135	86,505	87,468
37	0,00411	7,234	87,235	88,158
38	0,00422	7,331	87,926	88,811
39	0,00433	7,427	88,579	89,427
40	0,00444	7,521	89,197	90,010
41	0,00455	7,615	89,782	90,560
42	0,00467	7,707	90,335	91,080

(Sumber : Analisis Data)

Dari tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan waktu selama 10 bulan untuk mencapai total penurunan saat $U = 90\%$, dan berikut adalah rekap lama penurunan dari semua jarak pemasangan yang telah dicoba pada konfigurasi segitiga :

Tabel 4. 66 : Rekap Lama Waktu Konsolidasi pada Jarak (S) yang berbeda-beda

Jarak PVD (S)	POLA SEGITIGA SAMA SISI	
	Uttotal	Waktu Konsolidasi
(Meter)	(%)	(Bulan)
0,5	96,55210696	0,5
1	90,55158518	2
1,25	91,0730017	3,5
1,5	90,52764129	5,25
1,75	90,46645792	7,5
2	90,00964642	10
ILUSTRASI	 <p>Susunan segitiga sama sisi $D = 1,05 s$</p>	

(Sumber : Analisis Data)

Dan dengan pertimbangan hasil lama waktu konsolidasi pada masing-masing konfigurasi jarak serta konfigurasi pola segi empat maupun segitiga maka dipilihlah pola segi empat dengan jarak 1 meter antar PVD dengan derajat konsolidasi mencapai 91,533% yang dimana melewati batas aman yaitu $U = 90\%$

4.5. Analisis Drainase

Dalam Analisis drainase dibutuhkan data-data curah hujan dan kondisi eksisting yang ada. Berdasarkan data yang didapat dari BMKG kota Semarang didapat data curah hujan maksimum pada tahun 2006 – 2015 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 67 : Data Curah Hujan tahun 2006 - 2015

No	Tahun	R _{Maks} (mm)
1	2006	148.1
2	2007	96.8
3	2008	107.4
4	2009	230.5
5	2010	147.5
6	2011	111.8
7	2012	94.7
8	2013	170.4
9	2014	112
10	2015	145.7

(Sumber : Analisis Data)

4.5.1. Uji Statistik Data Curah Hujan

Telah dijelaskan pada bab 2.8.1 bahwa hujan rencana dapat dihitung dengan menggunakan berbagai metode, untuk menentukan metode yang tepat perlu dilakukan “Uji Parameter Statistik”, dan berikut adalah perhitungan statistik tersebut :

4.5.1.1. Uji Parameter Statistik Distribusi

Uji ini merupakan awalan dari pengujian data yang ada, dengan uji ini kita dapat mengetahui bahwa metode distribusi mana yang diterima untuk melakukan uji selanjutnya yaitu “Uji Chi-Square”, dan berikut adalah contoh perhitungan uji parameter statistik distribusi :

1. Pengurutan Data Berdasarkan R_{Maks}
 Dalam uji ini data R_{Maks} yang ada harus di urutkan dari urutan terbesar hingga terkecil, dan berikut adalah hasil rekapan tersebut :

Tabel 4. 68 : Rekap Hasil Pengurutan R_{Maks}

No	Tahun	R_{maks}
		(mm)
1	2009	230,5
2	2013	170,4
3	2006	148,1
4	2010	147,5
5	2015	145,7
6	2014	112
7	2011	111,8
8	2008	107,4
9	2007	96,8
10	2012	94,7
Jumlah		1364,9

(Sumber : Analisis Data)

2. Perhitungan Data Tabel Parameter Statistik
 Perhitungan ini merupakan perhitungan variabel yang ada, guna perhitungan selanjutnya yaitu perhitungan parameter statistik, dan berikut adalah contoh perhitungan tersebut :

$$R_{Rata-rata} = \frac{\Sigma R_{Maks}}{n}$$

Dimana :

n = Jumlah Data

maka didapat nilai $R_{Rata-rata}$ sebesar :

$$R_{Rata-rata} = \frac{1364,9}{10}$$

$$= 136,49 \text{ mm}$$

Selanjutnya dibutuhkan nilai $R - R_{Rata-rata}$, $(R - R_{Rata-rata})^2$, $(R - R_{Rata-rata})^3$, dan $(R - R_{Rata-rata})^4$, Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai-nilai tersebut pada tahun 2009 :

$$R - R_{Rata-rata} = 230,5 \text{ mm} - 136,49 \text{ mm}$$

$$= 94,01 \text{ mm}$$

$$(R - R_{Rata-rata})^2 = (94,01)^2$$

$$= 8837,88 \text{ mm}$$

$$(R - R_{Rata-rata})^3 = (94,01)^3$$

$$= 830849,11 \text{ mm}$$

$$(R - R_{Rata-rata})^4 = (94,01)^4$$

$$= 78108124,66 \text{ mm}$$

Dan dengan melakukan langkah yang sama untuk tahun lainnya maka berturut-turut didapat nilai $R - R_{Rata-rata}$, $(R - R_{Rata-rata})^2$, $(R - R_{Rata-rata})^3$, dan $(R - R_{Rata-rata})^4$, berikut ini adalah rekap perhitungan tersebut :

Tabel 4. 69 : Rekap Nilai Data Tabel Parameter Statistik

No	Tahun	R_{maks}	$R_{rata-rata}$	$R - R_{rata-rata}$	$(R - R_{rata-rata})^2$	$(R - R_{rata-rata})^3$	$(R - R_{rata-rata})^4$
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2009	230,5		94,01	8837,88	830849,11	78108124,66
2	2013	170,4		33,91	1149,89	38992,71	1322242,64
3	2006	148,1		11,61	134,79	1564,94	18168,91
4	2010	147,5		11,01	121,22	1334,63	14694,31

5	2015	145,7	136,49	9,21	84,82	781,23	7195,13
6	2014	112		-24,49	599,76	-14688,12	359712,18
7	2011	111,8		-24,69	609,60	-15050,93	371607,41
8	2008	107,4		-29,09	846,23	-24616,78	716102,00
9	2007	96,8		-39,69	1575,30	-62523,50	2481557,80
10	2012	94,7		-41,79	1746,40	-72982,23	3049927,28
Jumlah		1364,9		15705,89	683661,06	86449332,32	

(Sumber : Analisis Data)

3. Perhitungan Parameter Statistik

Hal ini diperlukan untuk mengetahui nilai parameter statistik untuk data curah hujan maksimum tahun 2006-2015, yang nantinya dibandingkan dengan kriteria masing-masing nilai distribusi sehingga mengerti metode mana yang digunakan untuk uji *chi-square*, dan berikut adalah perhitungannya :

a. Standar Deviasi

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{\sum(R - \bar{R})^2}{n - 1}} \\
 &= \sqrt{\frac{15705,89}{10 - 1}} \\
 &= 41,7744
 \end{aligned}$$

b. Koefisien Kemencengan

$$\begin{aligned}
 Cs &= \frac{\sum(R - \bar{R})^3 n}{(n - 1)(n - 2)Sd^3} \\
 &= \frac{(683661,06 \times 10)}{(10 - 1)(10 - 2)(41,774)^3} \\
 &= 1,3025
 \end{aligned}$$

c. Koefisien Ketajaman

$$\begin{aligned}
 Ck &= \frac{\sum(R - \bar{R})^4 n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \\
 &= \frac{(86449332,32x(10)^2)}{(10-1)(10-2)(10-3)(41,774)^4} \\
 &= 5,6324
 \end{aligned}$$

d. Koefisein Variasi

$$\begin{aligned}
 Cv &= \frac{Sd}{\bar{R}} \\
 &= \frac{41,774}{136,49} \\
 &= 0,3061
 \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai semua variabel parameter statistik maka dilanjutkan dengan membandingkan nilai variabel tersebut dengan tabel parameter statistik distribusi berikut ini :

Tabel 4. 70 : Tabel Parameter Statistik Disribusi

No	Data	Hasil	Parameter Statistik Distribusi			
			Normal	Log Normal	Gumbel	LogPearson Type III
1	R _{rata-rata}	136,490				Cv & Ck
2	Sd	41,774				Selain
3	Cv	0,306				Nilai
4	Cs	1,303	0	0,946855484	1,139	Distribusi
5	Ck	5,632	3	1,635412164	5,402	Lain
Keterangan			Tidak Diterima	Tidak Diterima	Diterima (Mendekati)	Diterima

Maka dari tabel diatas didapatkan kesimpulan bahwa metode gumbel dan log pearson type III yang dapat digunakan untuk perhitungan, dikarenakan terdapat 2 metode yang dapat

digunakan, dan dipilihlah metode gumbel untuk perhitungan hujan rencana, akan tetapi diperlukan uji kecocokan yang menguji apakah data curah hujan yang ada sudah sesuai dengan jenis metode distribusi yang digunakan, uji statistik tersebut adalah uji *Chi-Square*.

4.5.1.2. Uji *Chi-Square*

Uji ini merupakan uji kecocokan antara metode distribusi yang telah dipilih secara empiris dengan data curah hujan yang ada, dan dapat dikatakan cocok apabila nilai dari Xn^2 (*Chi-Square* Hitung) $< Xh^2$, dan berikut ini adalah perhitungan dari uji *Chi-Square* tersebut :

1. Perhitungan Jumlah Sub Kelompok (G)
Dengan menggunakan persamaan 52 pada bab 2, maka di dapat nilai G :

$$\begin{aligned} G &= 1 + 3,322 \log (10) \\ &= 4,322 \\ &= 4 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Derajat Kebebasan (Dk)
Dengan menggunakan persamaan 53 pada bab 2, maka didapat nilai Dk :

$$\begin{aligned} Dk &= 4 - (1 + 1) \\ &= 2 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Ei
Dengan menggunakan persamaan 55, pada bab 2, maka di dapat nilai Ei :

$$\begin{aligned} Ei &= 10/4 \\ &= 2,5 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Nilai Δ_x

Dengan menggunakan persamaan 56 pada bab 2, maka di dapat nilai Δ_x :

$$\begin{aligned}\Delta_x &= (230,5 - 94,7) / (4-1) \\ &= 45,267\end{aligned}$$

Dan X_{awal} dari kelas 1 didapat dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}X_{\text{awal}} &= 94,7 - (0,5 \times 45,267) \\ &= 72,067\end{aligned}$$

Dan X_{akhir} dari kelas 1 didapat dengan menambahkan X_{awal} dengan Δ_x , maka didapat nilai X_{awal} :

$$\begin{aligned}X_{\text{akhir}} &= 72,067 + 45,267 \\ &= 117,334\end{aligned}$$

5. Perhitungan Nilai *Chi-Square*

Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama,

Dengan contoh kasus kelas 1 yaitu $72,067 < x < 117,334$, maka dengan melihat data curah hujan diketahui bahwa nilai x yang diantara $72,067$ dan $117,334$ terdapat 5 buah, berturut-turut yaitu : 94,7 pada tahun 2012, 96,8 pada tahun 2007, 107,4 pada tahun 2008, 111,8 pada tahun 2011, dan 112 pada tahun 2014. Dengan menggunakan persamaan 54 pada bab 2, maka di dapat nilai Xn^2 :

$$\begin{aligned}Xn^2 &= \frac{(Ei - Oi)^2}{Ei} \\ &= \frac{(2,5 - 5)^2}{2,5} \\ &= 2,5\end{aligned}$$

Maka dengan mengulang langkah-langkah diatas pada 3 kelas sisanya maka didapat nilai X_n^2 :

Tabel 4. 71 : Rekap Nilai X_n^2

No	Probabilitas (%)	Jumlah Data		Ei-Oi	$\sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i}$
		Oi	Ei		
1	$72,067 < x < 117,334$	5	2,5	-2,5	2,5
2	$117,334 < x < 162,601$	3	2,5	-0,5	0,1
3	$162,601 < x < 207,868$	1	2,5	1,5	0,9
4	$> 207,868$	1	2,5	1,5	0,9
Total		10	10		4,4

(Sumber : Analisis Data)

Dan dengan melihat nilai X_h^2 kritis dengan tingkat kepercayaan 5% pada tabel 4.72, maka diketahui bahwa

Tabel 4. 72 : Nilai Kritis Untuk Chi-Square

Dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838

(Sumber : Artikel)

Nilai X_n^2 (*Chi-Square* Hitung) < X_h^2 Kritis dan berdasarkan alasan tersebut disebut bahwa perencanaan hujan rencana dengan metode gumbel relevan dengan data curah hujan pada tahun 2006-2015 yang didapat dari BMKG.

4.5.2. Analisis Curah Hujan Maksimum Periode 20 tahun Menggunakan Metode Gumbel

Untuk menentukan besarnya debit banjir rencana yang akan terjadi di bandar udara Ahmad Yani Semarang, maka terlebih dahulu dicari kemungkinan curah hujan harian maksimum, metode yang digunakan adalah metode gumbel yang telah di uji statistik korelevanannya.

$$R_t = \bar{R} + k\sigma$$

Dimana :

R_t = Curah hujan dengan periode ulang T

\bar{R} = Curah hujan rata-rata

k = faktor frekuensi, nilai k dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

Dimana :

S_n = *Reduced Standart Deviation*

Y_n = *Reduced Mean*

Y_t = *Reduce mean variate*, dan nilai Y_t didapat dengan menggunakan persamaan :

$$Y_t = -\ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right)$$

σ = Standart deiviasi, nilai standart deviasi didapat dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(R_i - \bar{R})^2}{n-1}}$$

Maka dengan menggunakan nilai R yang telah dihitung sebelumnya yaitu pada tabel 4.69, dan persamaan diatas akan didapat nilai R untuk T 20 tahun, dan berikut adalah perhitungan tersebut :

1. Perhitungan Standart Deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(R_i - \bar{R})^2}{n-1}}$$

Tabel 4. 74 : Nilai Reduced Mean (Y_n)

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5209	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5322	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5564	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5523	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5577	0,5559	0,5561	0,5562	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5585	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

$$S_n = 0,9496$$

$$Y_n = 0,4952$$

Maka nilai k :

$$k = \frac{2,9702 - 0,4952}{0,9496}$$

$$= 2,606$$

4. Perhitungan Curah Hujan Maksimum Periode $T = 20$ Tahun

$$R_t = \bar{R} + k\sigma$$

$$= 136,49 + (2,606 \times 41,7744)$$

$$= 245,369 \text{ mm}$$

4.5.3. Analisis Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan dalam merencanakan debit banjir adalah metode rasional dengan syarat bahwa metode ini dipakai jika luas lahan < 150 ha. Pada bab 2.8.2 telah dijelaskan persamaan-persamaan pada metode rasional, faktor penting dalam merencanakan debit banjir yang nantinya mempengaruhi ukuran drainase adalah pada t_0 dan juga t_f yang merupakan waktu konsentrasi berdasarkan waktu yang dibutuhkan air hujan dari permukaan hingga mencapai saluran dan juga waktu yang

dibutuhkan air hujan yang mengalir dari saluran hulu ke saluran hilir. Untuk mengetahui itu semua dibutuhkan rencana drainase awal yang nantinya akan dibuat dan gambar tersebut terlampir pada lampiran gambar, gambar tersebut adalah rencana drainase yang akan dibuat pada bandar udara Internasional Ahmad Yani dengan rencana saluran diperkirakan cukup untuk menampung curah hujan maksimum untuk periode ulang $T = 20$ Tahun. Pada contoh kali ini akan diperlihatkan perhitungan untuk rencanan saluran 2 bagian kiri, berikut ini adalah perhitungan debit banjir untuk rencana saluran 2 bagian kiri :

1. Perhitungan Waktu Konsentrasi (T_c)

Diketahui bahwa T_c didapat dari $t_0 + t_f$ yang masing-masing didapat dari persamaan sebagai berikut :

a. Persamaan Kerby (t_0)

$$t_0 = 0,0195 \left[\frac{L_0}{\sqrt{I_0}} \right]^{0,77} \text{ untuk } L_0 > 400 \text{ m}$$

$$1,44 \left[n \times \frac{L_0}{\sqrt{I_0}} \right]^{0,467} \text{ untuk } L_0 \leq 400 \text{ m}$$

Dimana :

L_0 = Jarak Mengalirnya air hujan diatas permukaan sampai inlet (km)

I_0 = Kemiringan rata-rata dari daerah aliran

n = kekerasan daerah pengaliran menurut kerby

Kemiringan lahan (I_0) didapat berdasarkan perhitungan serta denah eksisting yang didapat dari PT. Angkasa Pura I, Semarang sebesar 0,0230, dan untuk L_0 didapat berdasarkan gambar “Denah Luas Catchment Area dan L_0 ” yang telah direncanakan tadi, maka didapat $L_0 = 0,34594$ km , setelah didapat data-data tersebut maka t_0 bernilai :

$$t_0 = 1,44 \left[0,22 \frac{0,34594}{\sqrt{0,0230}} \right]^{0,467}$$

$$= 0,3716 \text{ jam}$$

b. Persamaan Rhiza (t_f)

$$t_f = \frac{L}{V} \text{ dengan } V = 72 \left[\frac{\Delta H}{L} \right]^{0,6}$$

Dimana :

L = Panjang Saluran (km)

V = Kecepatan air pada saluran (km/jam)

Δh = Beda tinggi antara titik terjauh dihilu dengan titik pengamatan (km)

berdasarkan gambar “Denah Luas Catchment Area dan L_o ” serta gambar eksisting maka akan didapat V pada masing-masing saluran, dan untuk rencana saluran 2 bagian kiri didapat $V = 1,616$ km/jam dan untuk panjang saluran rencana adalah $L = 0,2200$ km, akan tetapi saluran 2 bagian kiri merupakan saluran tunggal yang dimana saluran tersebut tidak terpengaruhi oleh aliran saluran manapun, maka dari itu nilai t_f dianggap 0 dan yang berpengaruh pada waktu konsentrasi hanya nilai t_o saja.

Maka dari itu didapat nilai T_c untuk saluran 2 bagian kiri sebesar 0,466 jam

2. Perhitungan Intensitas Hujan Metode Mononobe

$$I_t = \frac{R_{20}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3}$$

$$I_t = \frac{245,37}{24} \left(\frac{24}{0,466} \right)^{2/3}$$

$$= 141,589 \text{ mm/jam}$$

3. Perhitungan Debit Banjir Rencana

$$Q = 0,278 \cdot \beta \cdot C \cdot I_t \cdot A$$

Dimana :

Q = Debit Banjir Rencana pada Periode Ulang Tertentu (m^3/s)

β = Koefisien Penyebaran Hujan, nilai ini didapat dengan memperhatikan luas catchmen area yang diperlihatkan oleh tabel 4.75, dan berdasarkan gambar “Denah Luas Catchment Area dan L_o ”, didapat luas catchmen area total adalah $1,1681 \text{ km}^2$

Tabel 4. 75 : Nilai Koeifsien Penyebaran Hujan (β)

Luas Catchment Area (km^2)	Koefisien β
0-4	1
5	0.995
10	0.98
15	0.955
20	0.92
25	0.875
30	0.82
50	0.5

C = Koefisien Pengaliran, didapat berdasarkan tata guna lahan yang ada, nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel 4.76 berikut ini :

Tabel 4. 76 : Nilai Koefisien Pengaliran (C)

Tata Guna Lahan	Nilai C
PERKANTORAN	
Pusat Kota	0,70 - 0,95
Daerah Sekitar Kota	0,50 - 0,70
DAERAH INDUSTRI	
Rumah Tinggal	0,30 - 0,50
Rumah Susun terpisah	0,40 - 0,60
Rumah Susun bersambung	0,60 - 0,75
Ping giran Kota	0,25 - 0,40
DAERAH INDUSTRI	
Kurang Padat Industri	0,50 - 0,80
Padat Industri	0,60 - 0,90

TANAH LAPANG	
Berpasir, datar (2%)	0,05 - 0,10
Berpasir agak rata (2% - 7%)	0,10 - 0,15
Berpasir Miring (7%)	0,15 - 0,20
Tanah Gemuk, datar (2%)	0,13 - 0,17
tanah Gemuk, rata-rata (2% - 7%)	0,18 - 0,22
Tanah Gemuk, curam (7%)	0,25 - 0,35
TANAH PERTANIAN	
Rata	0,30 - 0,60
Kasar	0,20 - 0,50
Taman, kuburan	0,10 - 0,25
Tempat Bermain	0,20 - 0, 35
Daerah Stasiun Kereta Api	0,20 - 0,40
Daerah Tidak Berkembang	0,10 - 0,30
HUTAN BERVEGETASI	0,05 - 0,25
PADANG RUMPUT BERPASIR	0,75 - 0,95

I_t = Intensitas Hujan pada Periode Ulang tertentu
(mm/jam), berdasarkan perhitungan sebelumnya didapat nilai I_t sebesar 141,599 mm/jam

A = Luas Daerah Pengaliran (km^2), berdasarkan gambar “Denah Luas Catchment Area dan L_o ”, didapat luas catchmen area saluran 2 bagian kiri sebesar 0,0571 km^2

berdasarkan data-data diatas maka didapat debit banjir rencana untuk saluran 2 bagian kiri sebesar :

$$Q = 0,278 \times 1 \times 0,22 \times 141,599 \times 0,0571$$

$$= 0,495 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan mengulangi langkah-langkah diatas maka akan didapat nilai debit banjir tiap-tiap saluran rencana, dan berikut ini adalah rekap debit banjir rencana untuk masing-masing saluran rencana :

Tabel 4. 77 : Rekap Perhitungan Debit Banjir Rencana Tiap Saluran

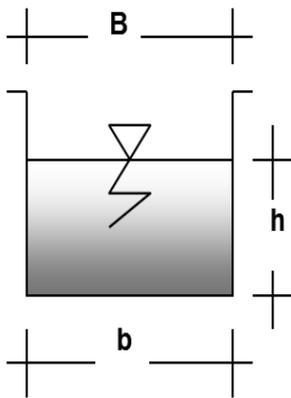
No	Nama Saluran	Luas Catchmen		L ₀ (km)	L (km)	I ₀	t ₀ (Jam)	V km/jam	t _f (Jam)	T _c (Jam)	I (mm/jam)	β	Q (m ³ /s)
		km ²											
1	Renc. Sal 2 Kiri	0,0571		0,34594	0,2200	0,0230	0,466	1,616	0,000	0,466	141,599		0,495
2	Renc. Sal 2 Kanan	0,0605		0,35936	0,2200	0,0230	0,474	1,616	0,000	0,474	139,930		0,518
3	Renc. Sal 4	0,2467		0,32981	0,4450	0,0210	0,465	1,074	0,414	0,879	92,681		1,399
4	Renc. Sal 5 Kiri	0,0549		0,28656	0,5200	0,0003	1,157	0,576	0,000	1,157	77,182		0,259
5	Renc. Sal 5 Kanan	0,0555		0,24840	0,9450	0,0003	1,082	0,576	0,000	1,082	80,693		0,274
6	Renc. Sal 6	0,2941		0,64906	1,0950	0,0190	0,064	0,851	1,287	1,351	69,590		1,252
7	Renc. Sal 3 Kanan	0,0587		0,10387	0,5950	0,0123	0,307	1,048	0,568	0,875	92,969	1,0000	0,334
8	Renc. Sal 3 Tengah	0,7051		0,58320	2,8250	0,0190	0,059	0,597	4,735	4,795	29,917		1,290
9	Renc. Sal 3 Kiri	0,0381		0,10872	0,5750	0,0123	0,314	0,775	0,742	1,056	82,033		0,191
10	Renc. Sal 7	0,8564		0,62919	2,9750	0,0123	0,074	0,715	4,163	4,238	32,484		1,701
11	Renc. Sal 1 Kiri	1,1680		0,44726	3,5750	0,0190	0,048	0,851	4,202	4,251	32,418		2,316
12	Renc. Sal 1 Kanan	0,1615		0,32342	0,5000	0,0190	0,472	0,851	0,588	1,060	81,847		0,809
12	Renc. Sal 8	0,3075		0,14639	1,9800	0,0230	0,312	0,597	3,319	3,631	36,011		0,677

(Sumber : Analisis Data)

4.5.4. Analisis Penampang Saluran Drainase

Penampang saluran drainase bergantung pada nilai debit banjir rencana untuk saluran tersebut, penampang drainase sendiri memiliki banyak jenis seperti; trapesium, segiempat, lingkaran, segitiga, dan lain-lain, akan tetapi dalam perencanaan penampang untuk bandar udara Internasional Ahmad Yani Semarang direncanakan menggunakan penampang segiempat dengan bentuk sebagai berikut :

Tabel 4. 78 : Persamaan Pehitungan Penampang Segiempat



	Rumus	Satuan
Lebar dasar	b	(m)
Lebar puncak	$B = b$	(m)
Kedalaman air	h	(m)
Luas penampang basah	$A = b \cdot h$	(m ²)
Keliling basah penampang	$P = b + 2h$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{A}{P}$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

Gambar 4. 21 : Penampang Segiempat

Dengan berdasarkan hasil perhitungan debit banjir rencana tiap saluran yang tertera pada tabel 4.77, dan dengan menggunakan persamaan pada tabel 4.78 maka didapat ukuran penampang tiap-tiap saluran adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 79 : Ukuran Penampang Tiap-tiap Rencana Saluran

No	Nama Saluran	V	Q	A	b
		(m/s)	(m ³ /s)	(m ²)	(m)
1	Renc. Sal 2 Kiri	1,61583	0,494927	0,3062987	0,6
2	Renc. Sal 2 Kanan	1,61583	0,518071	0,320622	0,6

3	Renc. Sal 4	1,07443	1,398524	1,3016403	1,1
4	Renc. Sal 5 Kiri	0,57600	0,259009	0,4496691	0,7
5	Renc. Sal 5 Kanan	0,57600	0,273804	0,4753547	0,7
6	Renc. Sal 6	0,85071	1,251731	1,4713942	1,2
7	Renc. Sal 3 Kanan	1,04758	0,333899	0,3187329	0,6
8	Renc. Sal 3 Tengah	0,59657	1,290087	2,162502	1,5
9	Renc. Sal 3 Kiri	0,77486	0,191278	0,246855	0,5
10	Renc. Sal 7	0,71456	1,701464	2,3811204	1,5
11	Renc. Sal 1 Kiri	0,85071	2,31584	2,7222408	1,6
12	Renc. Sal 1 Kanan	0,85071	0,808632	0,9505363	1,0
13	Renc. Sal 8	0,59657	0,677221	1,1351883	1,1

(Sumber : Analisis Data)

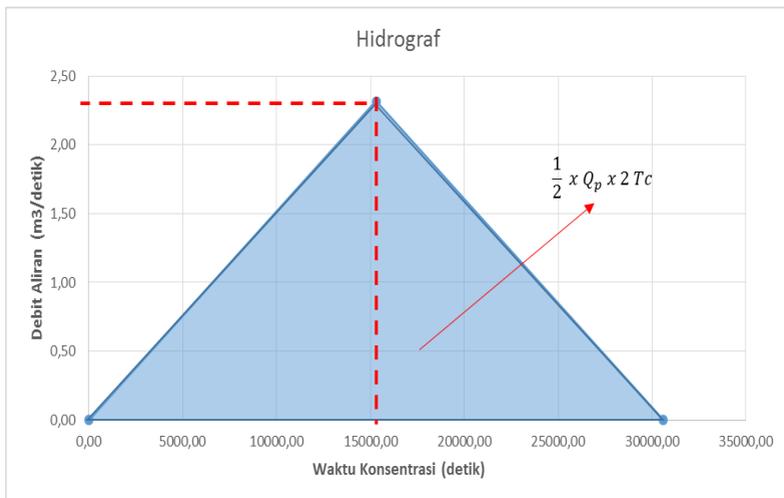
4.6. Analisis Kolam Tampung

Direncanakan saluran 1 bagian kiri adalah sebagai tempat penyalur pada kolam tampung yang nantinya akan dipompa menggunakan rumah pompa, maka dari itu debit banjir pada saluran tersebut adalah debit yang akan disalurkan pada kolam tampung nantinya yang berarti kolam tampung tersebut harus dapat menampung sebesar debit tersebut, dan maka dari itu dibutuhkan volume dari debit saluran tersebut. Volume tersebut dapat diketahui dengan menggunakan diagram hidrograf, debit banjir (Q) pada saluran 1 bagian kiri adalah $2,32 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan waktu konsentrasi adalah 4,2506 jam, Q_{awal} yang bernilai $0 \text{ m}^3/\text{s}$ membutuhkan waktu 4,2506 jam untuk mencapai Q_{puncak} yaitu $2,32 \text{ m}^3/\text{s}$ dan debit tersebut berangsur-angsur berkurang hingga menjadi $0 \text{ m}^3/\text{s}$ kembali, dan waktu yang dibutuhkan untuk kembali menjadi $Q = 0$ adalah $2 \times T_c$ (kentuan diagram hidrograf), maka didapat $T_{\text{Akhir}} = 2 \times 4,2506$ jam, dan didapat diagram sebagai berikut :

Tabel 4. 80 : Data Hidrograf

t	Q
(s)	(m ³ /s)
0,00	0,00
15302,28	2,32
30604,57	0,00

(Sumber : Analisis Data)

**Gambar 4. 22 : Diagram Hidrograf**

(Sumber : Analisis Data)

Berdasarkan diagram diatas terlihat volume dari rencana kolam tampung merupakan luas segitiga yang dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$$L\Delta = \frac{1}{2} \times \text{Alas} \times \text{Tinggi}$$

Dan berdasarkan diagram hidrograf diatas maka didapat persamaan volume kolam tampung adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Volume Kolam Tampung} &= \frac{1}{2} \times Q_p \times 2 T_c \\ &= \frac{1}{2} \times (2,48 \text{ m}^3/\text{s}) \times (26753,67 \text{ s}) \\ &= 33166 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka dengan cara *trial and error*, didapat ukuran kolam tampung yaitu panjang, lebar, serta tinggi kolam tampung, dan didapat ukuran kolam tampung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} B &= 200 \text{ m} \\ L &= 100 \text{ m} \\ h &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan volume total mencapai 40.000 m³

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

METODE PELAKSANAAN

5.1. Umum

Metode pelaksanaan dari pada Bandar Udara Internasional Ahmad Yani dibagi menjadi 3 kelompok besar yaitu :

1. Pekerjaan Perbaikan Tanah
2. Pekerjaan Rigid Pavement, dan
3. Pekerjaan Flexible Pavement

Dalam ketiga kelompok besar pekerjaan tersebut sudah mencakup pekerjaan konstruksi sisi udara bandar udara tersebut, yang terdiri dari ; Apron, Taxiway, dan Runway, dan pada sub bab berikutnya akan dijelaskan metode pelaksanaan dari ketiga kelompok besar pekerjaan tersebut.

5.2. Metode Pekerjaan

Sebelum melakukan pekerjaan utama, tentunya kita harus melakukan perencanaan serta pekerjaan persiapan guna mempersiapkan lahan untuk melakukan kegiatan konstruksi terkait, maka dari itu berikut ini adalah penjelasan untuk perencanaan site plan serta pekerjaan persiapan menuju pekerjaan utama :

5.2.1. Perencanaan Site Plan

Perencanaan site plan dibutuhkan untuk menentukan hal-hal yang dianggap penting dalam menentukan kelancaran proyek kedepannya, antara lain adalah :

- a. Penentuan Kantor Proyek, hal ini diperuntukkan untuk melakukan kegiatan administratif, seperti kontroling owner, pembuatan laporan harian, dll.
- b. Penentuan Gudang Material dan Peralatan, hal ini sangat berpengaruh dalam metode pelaksanaan dari

setiap proyek, dikarenakan penumpukan material yang tepat dapat membudahkan mobilisasi maupun demobilisasi dari setiap poin pekerjaan., selain itu tentu untuk menyimpan bahan-bahan yang memang harus terlindungi dari pengaruh cuaca sekitar.

- c. Penentuan Pagar Proyek, dalam suatu proyek bandara wajib hukumnya untuk memberi pagar proyek, dikarenakan pada suatu otoritas bandara tidak diperbolehkan orang yang tidak berkenaan dengan proses konstruksi untuk masuk dalam kawasan bandara umumnya dan kawasan air side khususnya.
- d. Perencanaan Jalan Akses, jalan akses dibutuhkan untuk mobilisasi maupun demobilisasi dari alat berat serta pengiriman stok material guna kelangsungan proyek.

5.2.2. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awalan untuk persiapan konstruksi lain dalam proyek, pekerjaan ini meliputi :

- a. Mobilisasi-1
- b. Pembersihan Lahan
- c. Pengukuran Lapangan
- d. Pembuatan Jalan Akses, dan
- e. Mobilisasi-2

Berikut ini akan dijelaskan fungsi dari tiap-tiap pekerjaan beserta metodenya :

- a. Mobilisasi-1
Mobilisasi-1 merupakan mobilisasi guna melakukan pembersihan lahan, alat berat yang akan dimobilisasi pada kegiatan ini adalah ; *bulldozer*, *eksavator*, dan *dump truck*

b. Pembersihan Lahan

Pembersihan lahan berfungsi untuk membersihkan lokasi proyek dari berbagai tanaman atau pohon-pohon maupun halangan-halangan berupa konstruksi rumah yang akan memperlambat jalannya kegiatan konstruksi nantinya. Metode yang akan dilakukan dalam pembersihan lahan adalah sebagai berikut :



b.1. Pembersihan dengan *Bulldozer & Eksavator*

Dalam pembersihan lahan bulldozer digunakan untuk membersihkan tanaman-tanaman yang tidak memiliki batang seperti pohon, ekskavator digunakan dalam pembersihan apabila terdapat pohon dan konstruksi rumah, yang bersifat susah untuk di hancurkan dengan bulldozer.



Gambar 5. 1 : Pembersihan Lahan dengan Bulldozer

(Sumber : Dokumen Pribadi)

- b.2. Pengambilan Sampah Pembersihan Lahan
Pengambilan sampah dilakukan menggunakan ekskavator, dalam hal ini diperlukan ketepatan waktu saat diperlukannya pembuangan tanah hasil pembersihan, dikarenakan jika pengambilan tanah lebih cepat pekerjaannya dari pada pembersihan dengan bulldozer maka ekskavator akan mengaggur



Gambar 5. 2 : Pengambilan Sampah oleh
Ekskavator
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- b.3. Pengangkutan dan Pembuangan Sampah Pembersihan Lahan.
Pengangkutan dan pembuangan/dumping dilakuakn oleh dump truck dan sampah tersebut akan dibuang diluar proyek, dalam perencanaan tempat pembuangan harus lah diperhitungkan betul jarak serta kecepatan pengemudi pada umumnya karna hal tersbut berpengaruh dalam menentukan jumlah dump truck yang dibutuhkan untuk kegiatan ini.

c. Pengukuran Lapangan

Setelah selesainya pekerjaan pembersihan, maka dilakukan pengukuran lahan, sebagai pencocokan ukuran lapangan dengan ukuran yang ada pada perencanaan, serta sebagai pengecekan elevasi eksisting pada lahan guna perencanaan timbunan.



Gambar 5.3 : Pengukuran Lapangan
(Sumber : Dokumen Pribadi)

d. Pembuatan Jalan Akses

Pembuatan jalan akses ini bertujuan untuk mempermudah jalannya proyek, seperti pengangkutan material ke lokasi proyek, dll, pekerjaan pembuatan jalan akses ini meliputi diantaranya :

1. Pengerukan Lumpur pada Tambak, Pengerukan ini bertujuan untuk mengurangi dampak penurunan yang akan dialami akibat jenis tanah clay pada tambak tersebut.
2. Penimbunan Tanah & Pemasatan pada Area yang telah ditentukan, Penimbunan tanah dilakukan pada 2 area, yaitu ; area tambak dan area darat, 2 area tersebut memiliki metode

pelaksanaan yang berbeda, berikut ini adalah metode pelaksanaan dari pada penimbunan untuk 2 area tersebut :

2.a. Area Tambak

Sebelum diberi timbunan, di buuthkan perkuatan guna menaham beban timbunan nantinya, dan perkuatan tersebut berupa cerucuk bambu, setelah diberi perkuatan cerucuk bambu, daerah tambak tersebut di timbun setinggi dari dasar tambak sampai dengan permukaan tanah sekitar tambak tersebut, dan cara penimbunan tersebut dilakukan secara langsung (tidak berlapis), saat tanah timbunan telah mencapai elevasi yang sama dengan elevasi tanah eksisting maka dilakukan pemadatan dengan menggunakan tandem roller.



Gambar 5. 4 : Penimbunan Area Tambak
(Sumber : Dokumen Pribadi)

2.b. Area Darat

Daerah darat di timbun setinggi tinggi rencana dari timbunan awal yaitu sekitar 3 m , dengan metode pelaksanaan ditimbun secara berlapis,

dan setiap lapis setebal 15 cm dilakukan pemadatan secara berkala hingga mencapai tinggi rencana yaitu 3 m.



- 2.b.1. Penumpukan Material Tanah Timbunan
Penumpukan dilakukan sebagai persiapan dalam melakukan penghambaran, hal ini dilakukan dengan menumpuk material pada badan jalan sebanyak yang dibutuhkan.



Gambar 5.5 : Penumpukan Material Tanah Timbunan
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- 2.b.2. Penghambaran Tanah Timbunan
Penghambaran dilakukan dengan menggunakan *bulldozer*, fungsi dari penghambaran adalah untuk meratakan elevasi tanah timbunan agar saat pemadatan dilakukan lebih mudah.



Gambar 5. 6 : Pengamparan Tanah Timbunan dengan Bulldozer
(Sumber : Dokumen Pribadi)

2.b.3. Penghamparan Tanah Timbunan

Pemadatan dilakukan setelah penghamparan dilakukan, dimana posisi dari *vibrator roller* dibelakangi oleh *bulldozer*, pemadatan dilakukan sebanyak jumlah lintasan yang telah di rencanakan sebelumnya, jumlah lintasan tersebut diketahui dari percobaan *trial compactor*, dalam pemadatan perlu diperhatikan beberapa hal agar pemadatan mencapai pada kepadatan yang diinginkan, pemadatan diukur dari berat volume kering yang dipadatkan, maka dari itu hal yang menjadi faktor utama dalam mencapai kepadatan yang diinginkan adalah penambahan air, penambahan air ini jika diberi sebanyak yang dibutuhkan maka akan membuat kedudukan partikel-partikel tanah semakin rapat/padat, sebab berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat.



Gambar 5. 7 : Pemadatan Tanah Timbunan

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Setelah pemadatan tanah timbunan selesai maka telah selesailah pembuatan jalan akses maka dapat dilakukan kegiatan mobilisasi-2 yang merupakan kegiatan mobilisasi untuk material-material perbaikan tanah serta alat-alat seperti *asphalt finisher*, *tire roller*, *hydraulic rig*, dll, baru setelah itu dilakukan pekerjaan utama yaitu pekerjaan perbaikan tanah, pekerjaan *rigid pavement*, dan pekerjaan *flexible pavement*, berikut ini adalah metode pelaksanaan dari tiap pekerjaan tersebut :

5.2.3. Pekerjaan Perbaikan Tanah

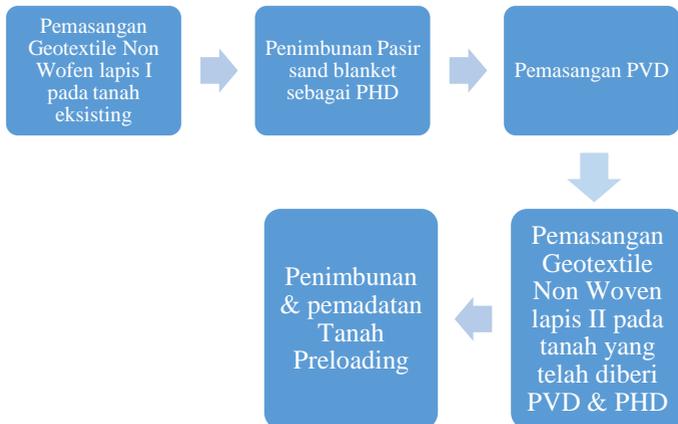
Tanah Semarang merupakan tanah yang cenderung memiliki lapisan lempung yang sangat dalam, dari data N-SPT yang didapat dari Universitas Diponegoro, terlihat bahwa harga N > 25 berada pada kedalaman 33 m, hal itu di katakan bahwa tanah keras pada proyek ini terdapat pada kedalaman 33 m, maka dari itu

dibutuhkan suatu perbaikan tanah guna memperkuat lapisan tanah subgrade, dan berikut adalah metode pekerjaan perbaikan tanah tersebut :

- a. Perbaikan Tanah (Preloading + PVD)
- b. Pembongkaran Tanah Preloading
- c. Penimbunan Tanah Timbunan

Berikut adalah penjelasan tiap item pekerjaan :

- a. Perbaikan Tanah (Preloading + PVD)
Perbaikan tanah menggunakan tanah preloading dengan tinggi total 5,5 m, dan prefabricated vertical drain tipe amerdrain dan berkonfigurasi segiempat dengan jarak antar PVD 1 m, proses perbaikan tanah ini dilakukan dengan metode sebagai berikut :



1. Pemasangan Geotextile Non Wofen Lapis 1
Geotextile non woven, atau disebut *filter fabric* adalah sebuah jenis *geotextile* yang tidak teranyam, berbentuk seperti karpet kain. lapisan *geotextile* 1

berfungsi sebagai filter/penyaring yaitu mencegah terbawanya partikel-partikel tanah yang ada pada aliran air sehingga air dapat keluar melalui vertikal drain, selain itu pada lapis 1 geotextile juga berfungsi sebagai *stabilisator* timbunan tanah di atasnya, setiap pertemuan antara *roll geotextile non woven* dengan *roll* yang lain dijahit dengan *overlap* ± 15 cm



Gambar 5. 8 : Pemasangan *Geotextile Non Woven*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

2. Penimbunan Pasir (Sand Blanket)

Penggelaran sand blanket berfungsi sebagai horizontal drain yang menyalurkan air yang keluar dari PVD secara horizontal menuju pada area yang sudah ditentukan, penimbunan pasir ini di hamparkan diatas lapisan *geotextile* I setebal 70 cm pada zona yang telah ditetapkan. Pengiriman *sand blanket* menggunakan *dump truck* dan langsung di *dump* di zona tersebut.



Gambar 5. 9 : Penggelaran *Sand Blanket* Sebagai PHD

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Setelah material PHD (*Prefabricated Horizontal Drain*) telah di dump maka dilakukan perataan/penghamparan menggunakan *bulldozer*, secara merata hingga batas STA yang ditentukan.



Gambar 5. 10 : Penghamparan *Sand Blanket* dengan *Bulldozer*

(Sumber : Dokumen Pribadi)

3. Pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)
Sebelum dilakukannya pemasangan PVD perlu dilakukannya pematokan titik-titik PVD yang telah direncanakan sebelumnya, setelah semua patok telah di tetapkan pada lapangan, maka dilakukan pemasangan PVD dengan cara dipancang,



Gambar 5. 11 : *Prefabricated Vertical Drain*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Pemancangan dilakukan menggunakan alat *Hydraulic Rig*, PVD dipancang hingga kedalam 33 m di dalam tanah, karna tanah keras berada di kedalam 33 m (N-SPT > 25)



Gambar 5. 12 : Pemancangan PVD dengan
Hydraulic Rig
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Setelah terpasangnya semua PVD pada bagian yang diinginkan, maka perlu adanya monitoring dengan menggunakan 2 metode yaitu : pembacaan keruntuhan tanah timbunan dengan menggunakan *inclino meter* dan *piezo meter*, dan *settlement sensor* guna mengetahui elevasi tanah sebelum dan sesudah settlement akibat beban tanah di atasnya.

4. Pemasangan *Geotextile Non Woven* Lapis 2

Apabila berdasarkan pengamatan dengan menggunakan *inclino meter*, *piezo meter*, dan *settlement sensor* telah dikatakan bahwa tanah sudah siap untuk diberi beban tanah *preloading*, maka sebelum tanah di timbun dengan tanah *preloading*, perlu dilakukan pemasangan *geotextile non woven* lapis 2, yang berfungsi sebagai *stabilisator* timbunan tanah yang ada di atasnya, lapisan ke 2 ini juga dapat mencegah naiknya lumpur ke sistem perkerasan agar tidak terjadi pumping efek yang akan mudah merusak perkerasan jalan



Gambar 5. 13 : Penyambungan Geotextile antara Lapis 1 dan Lapis 2
(Sumber : Dokumen Pribadi)

5. Penimbunan & Pemasatan Tanah PreLoading

Penimbunan tanah preloading dilakukan setelah pemasangan *geotextile* lapis 2 selesai, dan penimbunan ini dilakukan secara berlapis per 15 cm dan setiap lapis dilakukan pematatan, hingga mencapai 5,5 m, material tanah timbunan di dapat dari luar lokasi proyek, setiap pematatan tiap lapis selesai dilakukan tes sandcone untuk menguji kepadatan lapis tersebut.

d. Pembongkaran Tanah Preloading

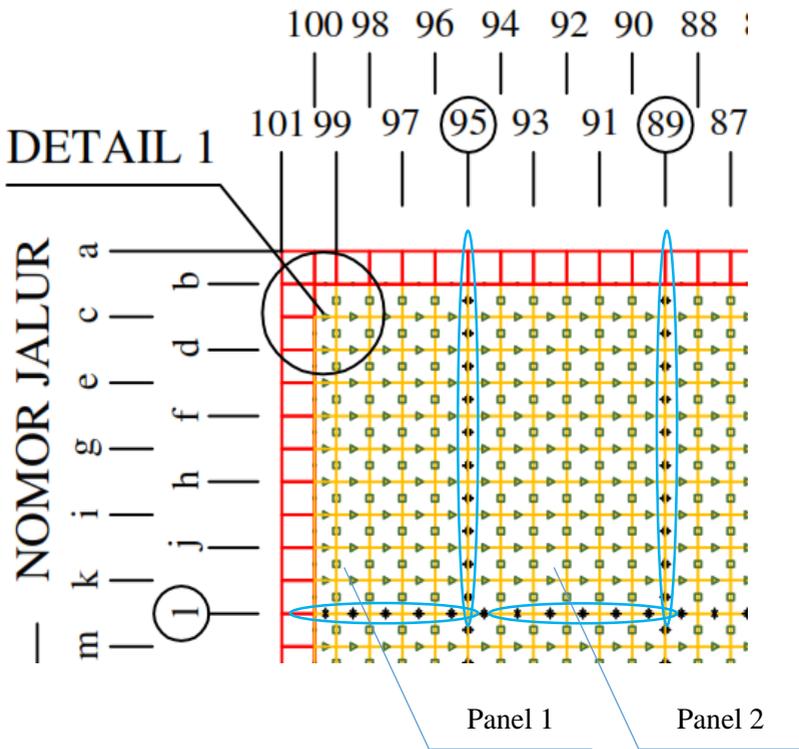
Jika dari hasil kontrol lapangan (Uji Konsolidasi) dinyatakan bahwa tanah sudah settle sepenuhnya, maka tanah preloading dibongkar dan diganti dengan tanah timbunan yang baru. Pembongkaran dilakukan dengan menggunakan *eksavator*.

e. Penimbunan Tanah Timbunan

Timbunan yang baru tersebut ditimbunan pada zona rencana masing-masing yaitu untuk daerah apron di timbun hingga mencapai tinggi $\pm 3,9$ m, dan daerah taxiway $\pm 2,35$ m. Dalam pekerjaan penimbunan dilakukan sama seperti pekerjaan penimbunan sebelumnya yaitu dengan metode di timbun berlapis dengan tebal per lapis 15 cm (dipadatkan).

5.2.4. Pekerjaan *Rigid Pavement*

Pekerjaan rigid pavement dilakukan dengan cara pengecoran panel yang rencananya telah dibuat seperti gambar denah sambungan apron, pekerjaan rigid pavement dilakukan pada daerah apron dan taxiway serta daerah paved shoulder untuk taxiway maupun apron pekerjaan ini meliputi beberapa pekerjaan yaitu adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 14 : Contoh Pembagian Panel Pengecoran
 (Sumber : Analisis Data)

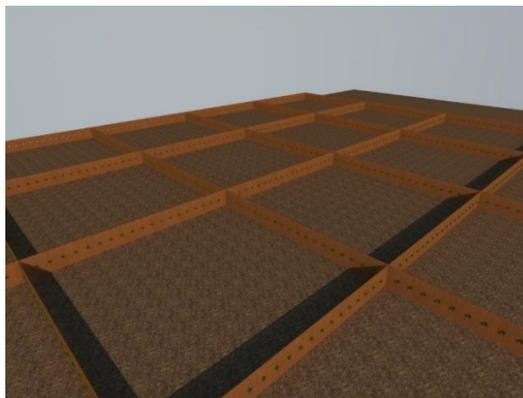




Berikut akan dijelaskan tiap-tiap item pekerjaan :

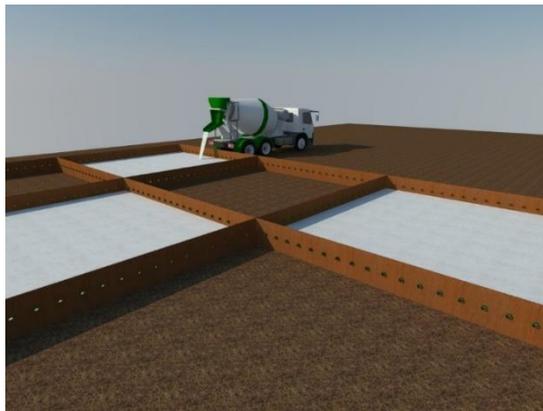
a. Pembuatan Bekisting Panel

Bekisting dibuat berfungsi sebagai cetakan sekaligus sebagai tempat meletakkan tulangan, bekisting dibuat setinggi dari pada tebal total dari perkerasan rigid tersebut, dengan bagian tengah dilubangi sebagai tempat sambungan, bekisting dibuat dengan ukuran 7,5 x 7,5 m untuk tipe plat 1 dan 6,25 x 7,5 m untuk tipe plat 2



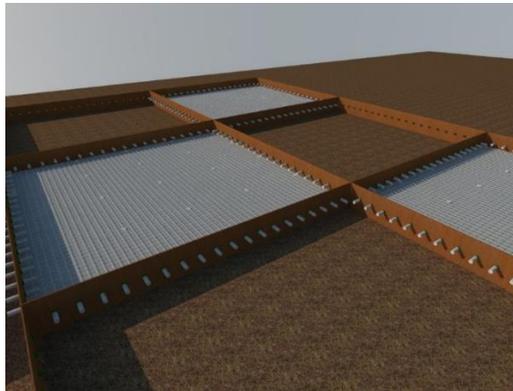
Gambar 5. 15 : Pembuatan Bekisting Panel
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- b. Pemasangan Membran Kedap Air
Membran kedap air harus terdiri dari lembaran plastik yang kedap air setebal 125 micron yang berguna agar air semen dari CTB yang dicor tidak meresap ke dalam lapisan subgrade. Pemasangan lembar kedap air harus dilakukan secara hati-hati untuk mencegah sobeknya lembar tersebut, dan harus dipaku pada permukaan lapis subgrade agar tidak mudah tergulung akibat tiupan angin.
- c. Pekerjaan Penggelaran Subbase
Berdasarkan anjuran FAA dengan desain perkerasan yang beban pesawat melebihi 100.000 pounds, maka dibutuhkan stabilized subbase dengan material stabilisasi berupa Cement Treated Base Course setebal 8,1 inch atau 21 cm. CTB di buat dengan campuran setengah kering, yang nantinya segera sesudah selesai pencampuran dan penghampanan secara manual dengan menggunakan truck molen adonan harus dibentuk dan dipadatkan secara merata dengan penggilas berupa baby roller, pemadatan dalam 2 jam sesudah pencampuran.



Gambar 5. 16 : Penggelaran CTB Tebal 21 cm
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- d. Pemasangan Tulangan dan Sambungan
- Tulangan untuk sambungan di pasang pada daerah yang sudah dilubangi pada bekisting, jarak dan ukuran dari sambungan sesuai pada spesifikasi teknis yang ada pada FAA, dan untuk tulangan di letakan setelah subbase telah digelar, sebelum letakan tulangan wiremesh tipe M-7 (D7-150) dipasang beton decking/ beton tahu dengan tebal 2 cm, guna memberi spasi antara tulangan wiremesh dengan subbase.



Gambar 5. 17 : Pemasangan Tulangan dan Sambungan
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- e. Pengecoran Panel
- Sebelum pengecoran dimulai pastikan sela-sela pada tulangan maupun daerah panel yang akan di cor tidak terdapat kotoran yang dapat mengakibatkan mutu beton berkurang. Pengecoran dilakukan menggunakan concrete pump, dan dipadatkan menggunakan vibrator dan diratakan dengan jidar, saat setelah lapisan surface telah mencapai elevasi yang diinginkan maka dilakukan pembuatan alur.

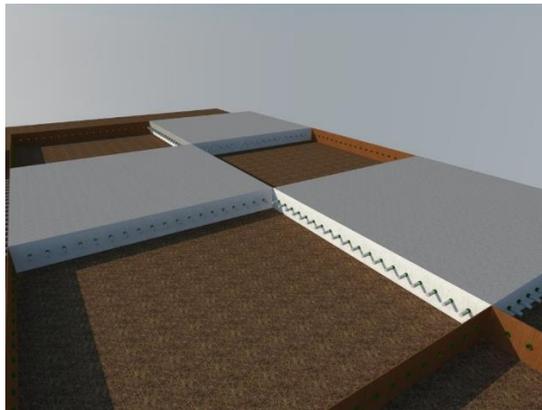


Gambar 5. 18 : Pembuatan Alur Pada Permukaan Beton

(Sumber : Dokumen Pribadi)

f. Pembongkaran Bekisting

Setelah pengecoran selesai dan beton telah mengeras dilakukan curing dengan meletakkan sak yang berisi air/ dapat disiram langsung dengan air, fungsi dari curing adalah untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembapan dan suhu beton, segera setelah proses finishing beton selesai dan waktu total setting tercapai.



Gambar 5. 19 : Pembongkaran Bekisting

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Setelah dibongkar seperti gambar diatas dilakukan pengecoran panel selanjutnya yang telah di rencanakan pada rute pengecoran, dan setelah semua pengecoran selesai atau sudah mencakup banyak panel maka dilakukan proses pembuatan joint sealer.

g. Pembuatan Joint Sealant

Jika pengecoran pada semua panel atau semua segmen telah selesai maka dilakukan pembuatan sealant, dengan cara memotong daerah antara beton, yang telah ditentukan dengan gerinda, setelah dilakukan pemotongan maka lubang pada daerah antar slab beton diberi selang berdiameter 19 mm lalu diberi sealant material berupa filler atau aspal.



Gambar 5. 20 : Pemotongan Slab Beton
(Sumber : Dokumen Pribadi)

h. Pekerjaan Finishing

Pekerjaan finishing merupakan pekerjaan pengecatan marka pada apron seperti pada gambar rencana. Pengecatan dilakukan cetakan yang dibuat dari matras. Matras tersebut dibentuk berupa huruf maupun garis yang telah ditentukan ukurannya, lalu matras tersebut diletakkan pada gambar yang telah ditentukan lalu di cat.



Gambar 5. 21 : Pengecatan Marka Menggunakan Cetakan Matras

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Pembuatan marka berupa garis dilakukan dengan membuat secara manual dengan menggunakan theodolit sebagai penentu titik per garis, lalu digunakan tali yang telah dilumuri dengan cat berwarna hitam sebagai pembuat garis, lalu dicetak pada apron hingga garis hitam terlihat pada permukaan apron.



Gambar 5. 22 : Pembuatan Garis Marka
(Sumber : Dokumen Pribadi)

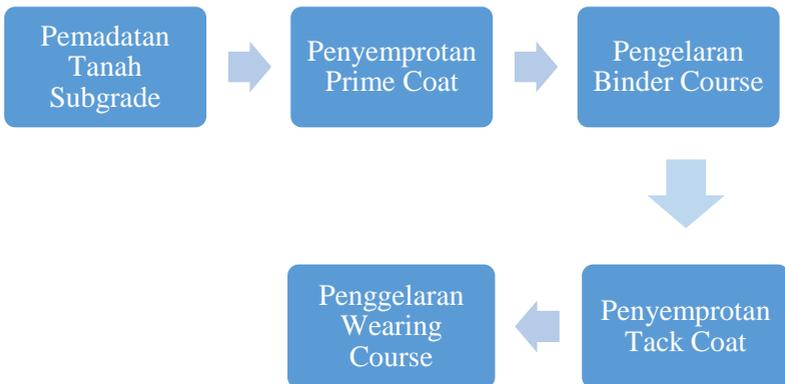
untuk pengecatan garis dilakukan dengan menggunakan truck marka.



Gambar 5. 23 : Penggunaan Marka
(Sumber : Dokumen Pribadi)

5.2.5. Pekerjaan *Flexible Pavement*

Pekerjaan flexible pavement utama dilakukan pada daerah runway, dan untuk pekerjaan sampingan flexible pavement dilakukan pada daerah paved shoulder, dan taxiway, pekerjaan flexible pavement utama berbeda pada pekerjaan sampingan flexible pavement, karna untuk pekerjaan utama dibutuhkan pemadatan tanah pada daerah runway guna menambah kekuatan CBR, dan pekerjaan sampingan hanya melakukan pengaspalan saja, tidak memerlukan pemadatan tanah subgrade, sebab lapisan dibawah aspal merupakan lapisan perkerasan beton. Pekerjaan flexible pavement terdiri dari :

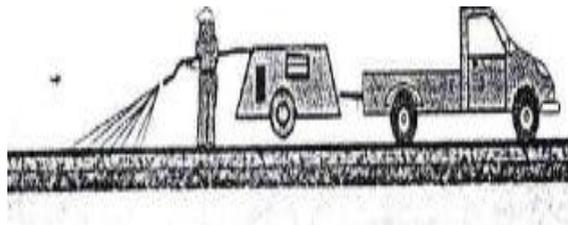


- a. Pemadatan Tanah Subgrade
Pemadatan dilakukan berdasarkan jumlah lintasan yang dibutuhkan dari percobaan trial compactor, pemadatan dilakukan menggunakan vibrator roller.
- b. Penyemprotan *Prime Coat* (Lapis Pengikat-Aspal Cair)
Aspal emulsi merupakan campuran aspal minyak (petroleum bitumen), air dan zat kimia yang disebut

emulsifier, aspal emulsi ini digunakan sebagai *prime coating* sekaligus resapan untuk mengikat antara material subbase dengan laston lapis antara (*binder course*). Sebelum di *prime coating* / disemprot dengan *asphalt sprayer*, lapis permukaan harus bersih dari kotoran agar lapisan *prime coat* tidak menempel pada debu yang mengakibatkan kekuatan mengikat dari lapisan *prime coat* menjadi berkurang, oleh sebab itu diperlukan pembersihan lapis permukaan dari debu dan benda-benda kecil lainnya, dengan menggunakan *air compressor*, setelah dirasa sudah tidak terdapat debu dan benda lainnya maka dilakukan penyemprotan *prime coat* dengan *asphalt sprayer*.



Gambar 5. 24 : Pembersihan Permukaan Beton dengan menggunakan Air Compressor



Gambar 5. 25 : Penyemprotan *Prime Coat* pada Lapisan Permukaan Beton
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- c. Penggelaran *Binder Course* (Laston Lapis Antara)
 Penggelaran dilakukan dengan menggunakan *asphalt finisher* yang telah diarahkan menggunakan *guide line* pada sisi dan di *center line* dari rencana *taxiway*, *binder course* didatangkan menggunakan *dump truck* dan sebelum dihampar/ digelar perlu dilakukan pengecekan suhu temperatur, dengan syarat temperatur sebelum penggelaran adalah 135°C - 155°C , setelah pengecekan sudah terpenuhi *binder course* dituangkan pada *asphalt finisher* yang sudah di set elevasinya, setelah itu dilakukan tiga tahapan pemadatan, yaitu :
- *Break Down* (Pemadatan Awal) oleh *tandem roller*
 - *Intermediate* (Pemadatan Kedua) oleh *tire roller*
 - *Finishing Rolling* (Pemadatan Akhir) oleh *tandem roller*

Jumlah dari pada lintasan didapat dari *compaction test*



Gambar 5. 26 : Proses Penggelaran *Binder Course*
 (Sumber : Dokumen Pribadi)

- d. Penyemprotan *Take Coat* (Lapis Perkat –Aspal Cair)
 Lapis perekat atau *tack coat* dipergunakan sebagai coating dengan kekentalan tertentu sesuai spesifikasi

dan dihampar diatas permukaan yang sudah di aspal (diatas lapisan binder course). Sama seperti penyemprotan *prime coat*, sebelum penyemprotan *take coat* dilakukan perlu dilakukannya pembersihan permukaan dari debu maupun benda-benda kecil lainnya dengna menggunakan *air compresor*.



Gambar 5. 27 : Pembersihan Lapis *Binder Course* dengan *Air Compressor*
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5. 28 : Penyemprotan *Take Coat* dengan *Asphalt Sprayer*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

- e. Penggelaran *Wearing Course* / AC-WC (Laston Lapis Aus)

Metode yang dilakukan sama dengan penggelaran *binder course*, akan tetapi dalam akhir dari pada pekerjaan ini dilakukan *test corring* guna mengetahui ketebalan dan kepadatan dari pada perkerasan yang telah dibuat.



Gambar 5. 29 : Pemasokan AMP pada Asphalt Finisher
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5. 30 : Penggelaran *Wearing Course* dengan Asphalt Finisher
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5. 31 : Proses Break down dengan Tandem Roller
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5. 32 : Proses Intermediate dengan Tire Roller
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5. 33 : Proses Final Rolling dengan Tandem Roller
(Sumber : Dokumen Pribadi)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah melakukan Analisis dan perhitungan, penulis menyimpulkan beberapa hal terkait pengembangan bandar udara Internasional Ahmad Yani Semarang sebagai berikut :

1. Dalam Analisis landas pacu/*runway*, terdapat suatu koreksi dimana pesawat B737-800 yang memiliki jumlah pergerakan terbesar pada 2036 memiliki kebutuhan panjang runway lebih kecil dari pada B737-400 yaitu 2256 m sedangkan B737-400 sebesar 2540 m, maka dari itu ditentukan untuk pesawat rencana dalam mendisain Bandar Udara Ahmad Yani adalah pesawat tipe B737-400 dengan kode reference 4C, dan berdasarkan data tersebut maka didapat ukuran masing-masing komponen *Airside* yang dibutuhkan untuk perancangan bandar udara Internasional Ahmad Yani Semarang yaitu sebagai berikut :
 - a. Panjang landas pacu yang dibutuhkan jenis pesawat rencana (Boeing 737-400) untuk Take Off sepanjang 2941,9 m dan dibulatkan menjadi 3000 m sedangkan untuk kebutuhan landing sepanjang 2432 m. Digunakan kebutuhan panjang landas pacu terpanjang, yaitu 3000 m, dengan lebar runway 45 m.
 - b. Berdasarkan regulasi KP no 29 tahun 2014 didapat lebar landas hubung total adalah 35 m dengan disertai bahu pada kiri dan kanan landas hubung sebesar 19 m total, dan berdasarkan perhitungan didapatkan letak exit taxiway berada pada :
 - STA 1+200
 - STA 1+725 dan
 - STA 3+000

- c. Berdasarkan perhitungan disimpulkan bahwa pesawat rencana pada landas parkir pesawat berbeda dari pesawat rencana untuk merancang landas pacu dan landas hubung, dikarenakan untuk landas parkir harus didisain sedemikian rupa agar pesawat yang memiliki badan paling lebar harus dapat ditampung pada landas parkir yang ada, maka dari itu pesawat rencana untuk landas parkir pesawat kelas B adalah Boeing 737-900 dan untuk Kelas C adalah ATR 720, dalam perencanaan landas parkir dibutuhkan 2 kali pengembangan secara bertahap yaitu pada tahun 2017 berukuran 575 m x 141 m dengan luas sebesar 81.287 m² dan untuk pengembangan fase 2 dilakukan pada tahun 2036 yaitu berukuran 1330 m x 141 m dengan luas sebesar 187.985 m² agar dapat menampung jumlah pergerakan pesawat saat peak hours pada tahun 2016-2036.
- d. Dibutuhkan kolam tampung untuk menanggulangi banjir pada daerah airside dengan panjang (b) 200 meter, lebar (b) 100 meter dan kedalaman 2 meter.
2. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa tebal perkerasan untuk perencanaan bandar udara Internasional Ahmad Yani, Semarang yang direncanakan untuk 20 tahun mendatang yaitu tahun 2036, masing-masing sebesar :

a. *Runway*

FLEXIBLE PAVEMENT	2036			
	Area Kritis		Area tak kritis	
	inch	cm	inch	cm
Surface Coarse	4	10,16	3	7,62
Base Coarse	14	35,56	15	38,1
Subbase Coarse	21	53,34	21	53,34
Total	39	99,06	39	99,06

b. *Taxiway*

RIGID PAVEMENT (TAXIWAY)	2036			
Komposisi Lapisan	Area Kritis		Area tak kritis	
	inch	cm	inch	cm
Aspal (AC)	3,93701	10	5,51181	14
Slab Beton	16,6289	42,2375	14,9661	38,0138
Subbase Coarse	8,1	20,574	8,1	20,574
Total	28,666	72,8115	28,5779	72,5878

c. *Apron*

RIGID PAVEMENT (APRON)	2036			
Komposisi Lapisan	Area Kritis		Area tak kritis	
	inch	cm	inch	cm
Aspal (AC)	-	0	1,9685	5
Slab Beton	16,6289	42,2375	14,9661	38,0138
Subbase Coarse	8,1	20,574	8,1	20,574
Total	24,7289	62,8115	25,0346	63,5878

Selain itu pada perencanaan perkerasan kali ini dibutuhkan perbaikan tanah guna memperbaiki subgrade tanah yang masuk klasifikasi clay dengan CBR 6%, dan didapat hasil sebagai berikut :

Spesifikasi PVD :

- Nama PVD = Amerdrain 407
- Lebar PVD (a) = 100 mm
= 0,1 m
- Tebal PVD (b) = 3 mm
= 0,003 m
- Konfigurasi Bujur Sangkar dengan jarak antar PVD 1 meter

Dengan menggunakan PVD Amerdrain serta konfigurasi yang telah disebutkan maka tanah tersebut akan mencapai kepadatan pada $U = 90\%$ pada kurun waktu 2,5 bulan.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari perencanaan ini adalah :

1. Dan dalam merencanakan pengembangan ini juga harus diperhatikan tingkat elevasi bandara, disebabkan daerah semarang yang rawan banjir, dan karna bandara berdekatan dengan laut maka harus diperhitungkan pasang surut dari laut tersebut agar sisi udara tidak terendam air yang dapat mengakibatkan gangguan pada jam operasi
2. Perlu dilakukannya perhitungan RAB (Rencana Anggaran Biaya) sebab judul tugas akhir adalah perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, Heru, 1986. **Merancang, Merencana Lapangan Terbang**. Jakarta
- Horonjeff, R and F.X. Mckelvey, 1998, **Perencanaan dan Perancangan Bandara (terjemahan)**, Edisi Ketiga, Jilid 1, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Horonjeff, R and F.X. Mckelvey, 1998, **Perencanaan dan Perancangan Bandara (terjemahan)**, Edisi Ketiga, Jilid 2, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Sosarodarsono Suyono dan Kazuto Nakazawa, 1981, **Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi**, Jakarta, Penerbit Pradnya Paramita
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. **Mekanika Tanah 2**. Jogjakarta: Gadjah Mada University Press.
- Triatmodjo, Bambang, 2008. **Hidrologi Terapan**. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, Bambang. 1996. **Hidrolika I**. Beta Offset, Yogyakarta.
- Peraturan Jendral Perhubungan Udara, 2014, **Manual Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil – bagian 139 Aerodrome**. Jakarta

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 – Brosur Wiremesh (PT. Gunung Gahapi Bahara)

Lampiran 2 – Data Tanah Bor Log

Lampiran 3 – Gambar DED (Detail Engineering Design)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

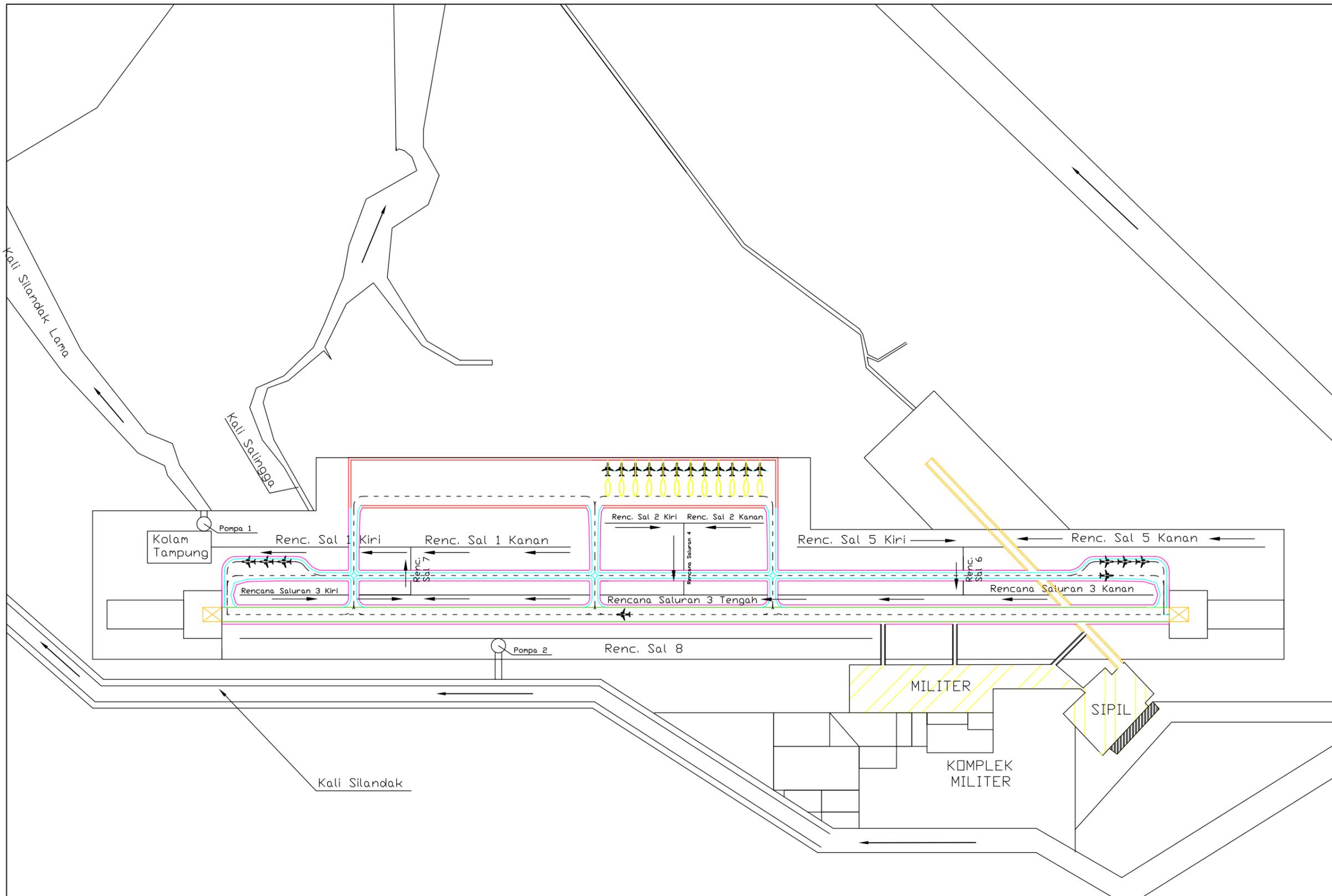
SKALA

NO. LMBR

JML LMBR

1

23



Denah / Peta Lokasi Proyek
SKALA 1 : 12.000



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

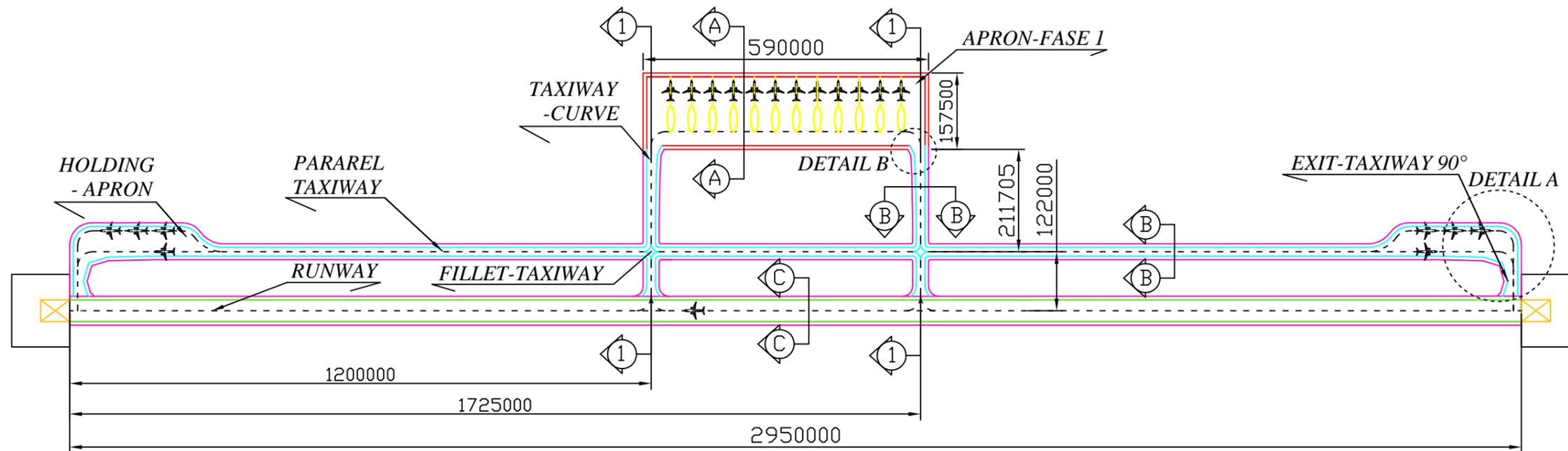
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR

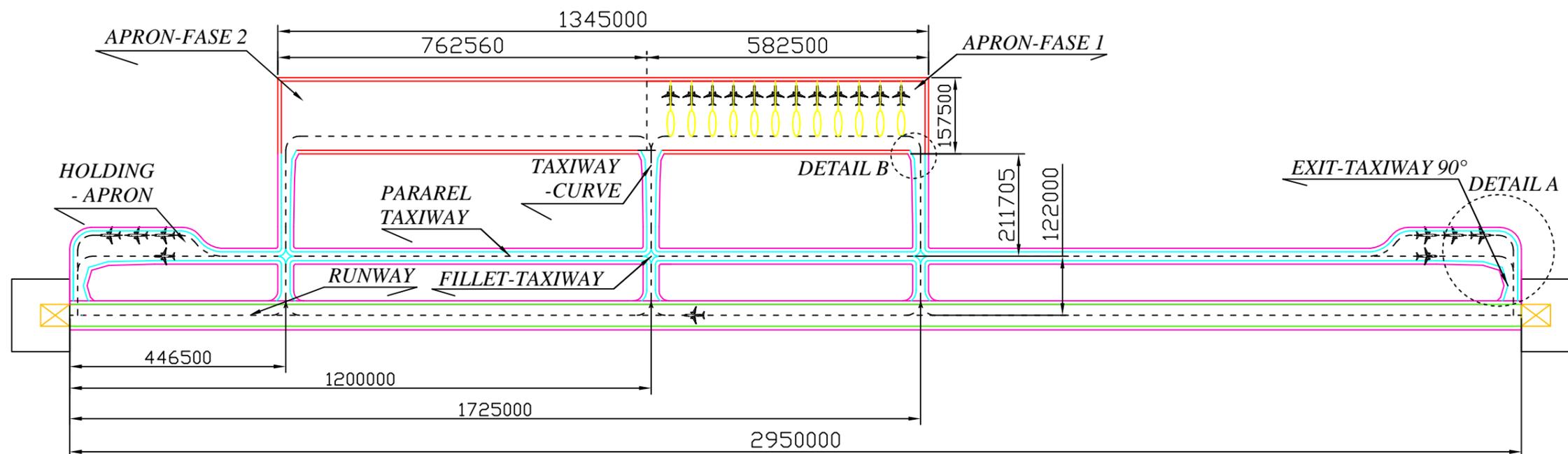
JML LMBR

2

23



DENAH BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI FASE-1 (2017)
SKALA 1 : 10.000



DENAH BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI FASE-2 (2036)
SKALA 1 : 10.000



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

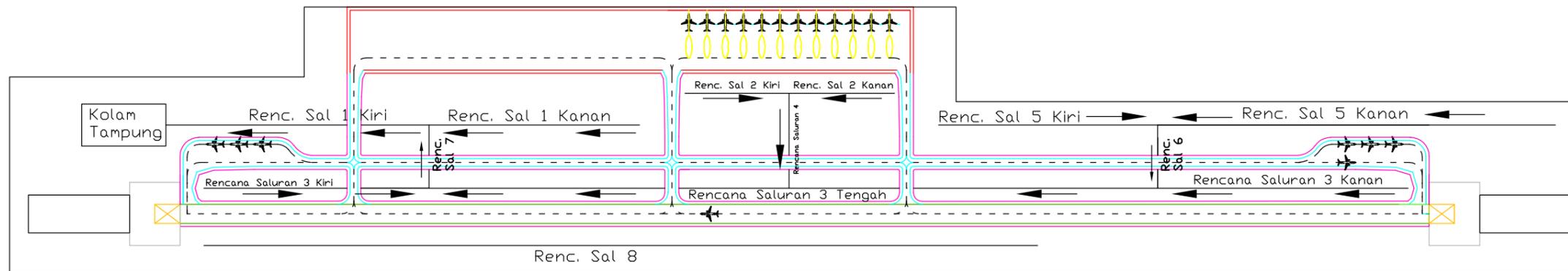
SKALA

NO. LMBR

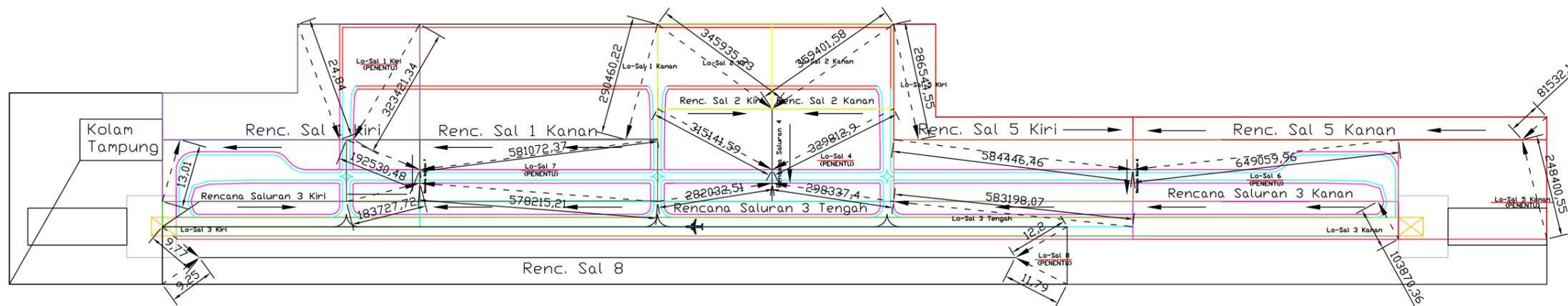
JML LMBR

3

23



DENAH RENC. DRAINASE BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI
SKALA 1 : 10.000



DENAH CATCHMENT AREA BANDARA INTERNASIONAL AHMAD YANI
SKALA 1 : 10.000



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

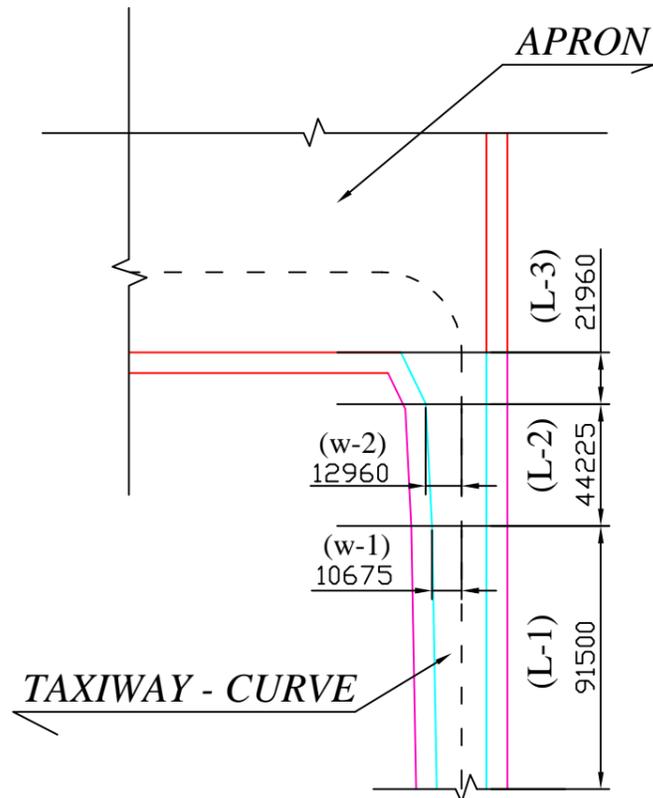
SKALA

NO. LMBR

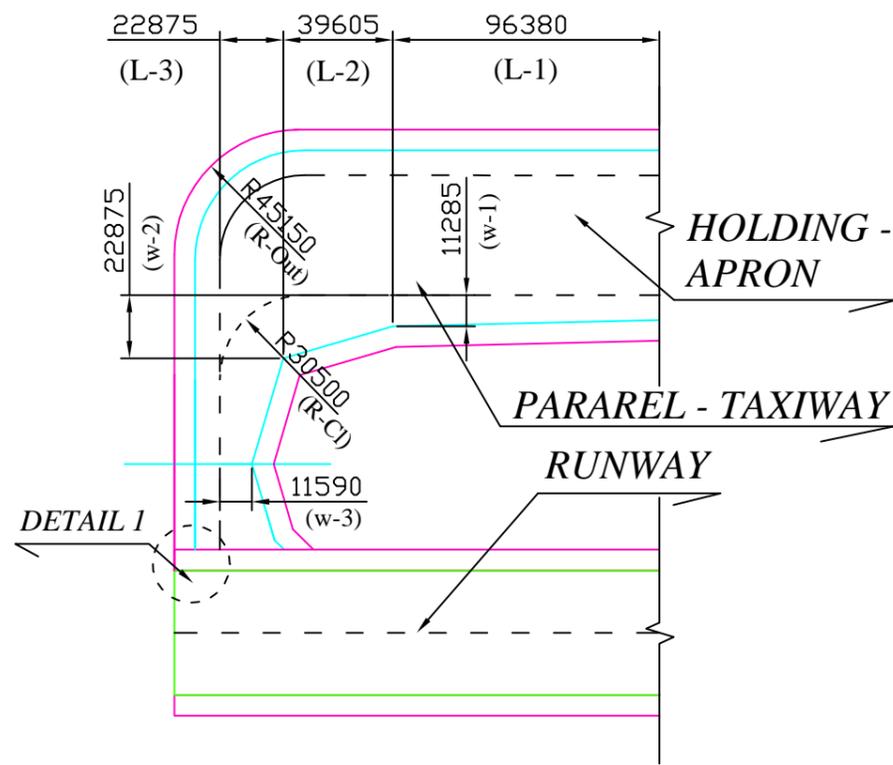
JML LMBR

4

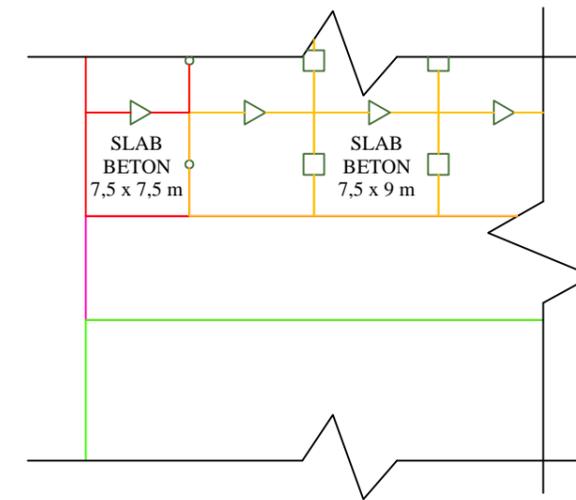
23



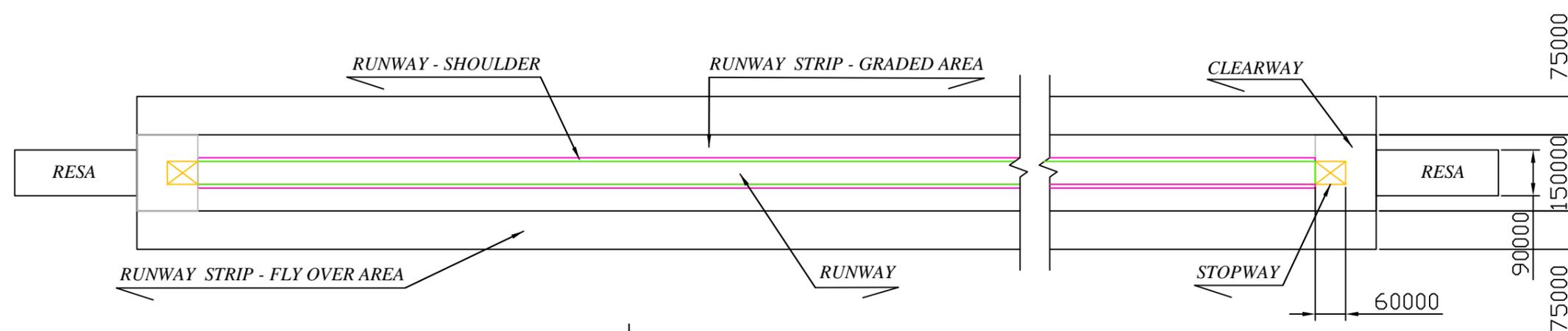
DETAIL B (TAXIWAY CURVE)
SKALA 1 : 2500



DETAIL A (EXIT TAXIWAY 90°)
SKALA 1 : 2500



DETAIL 1 (SAMBUNGAN EXIT TAXIWAY 90°)
SKALA 1 : 500



ELEMEN-ELEMEN RUNWAY SECARA UMUM
SKALA 1 : 10.000



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

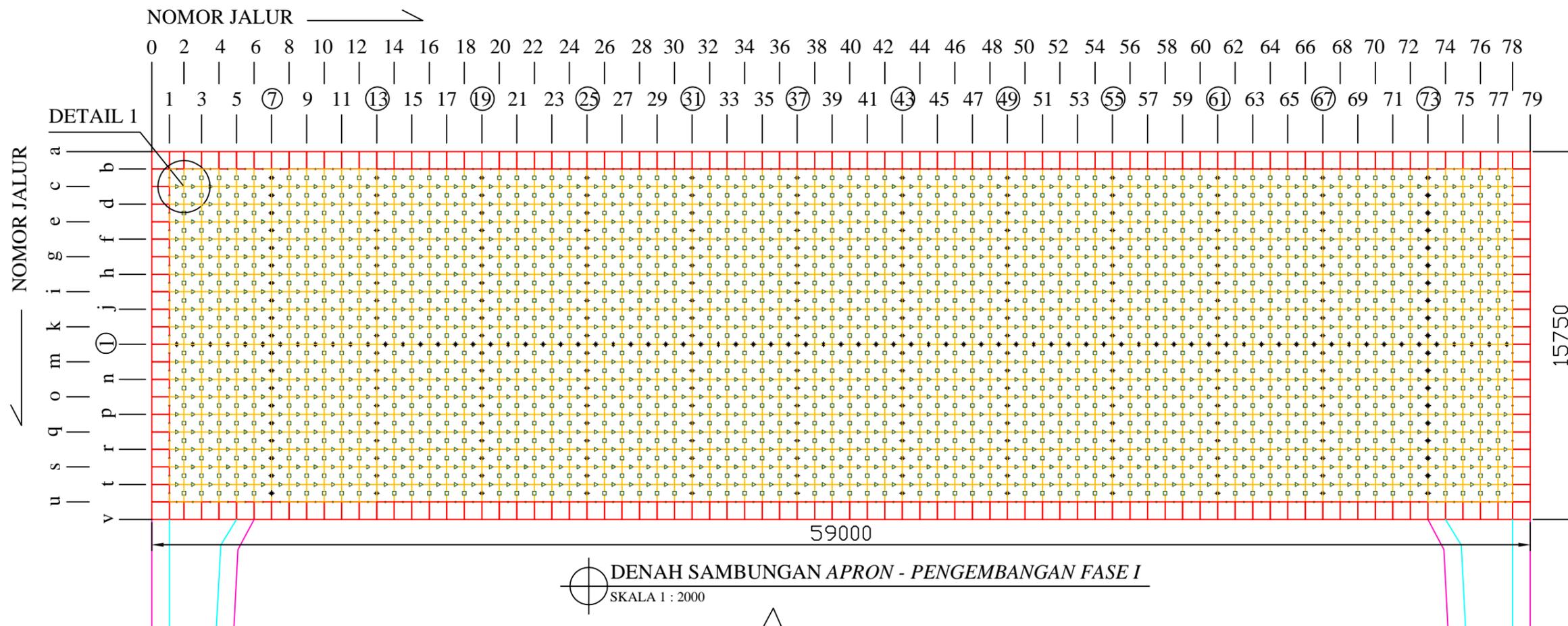
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR

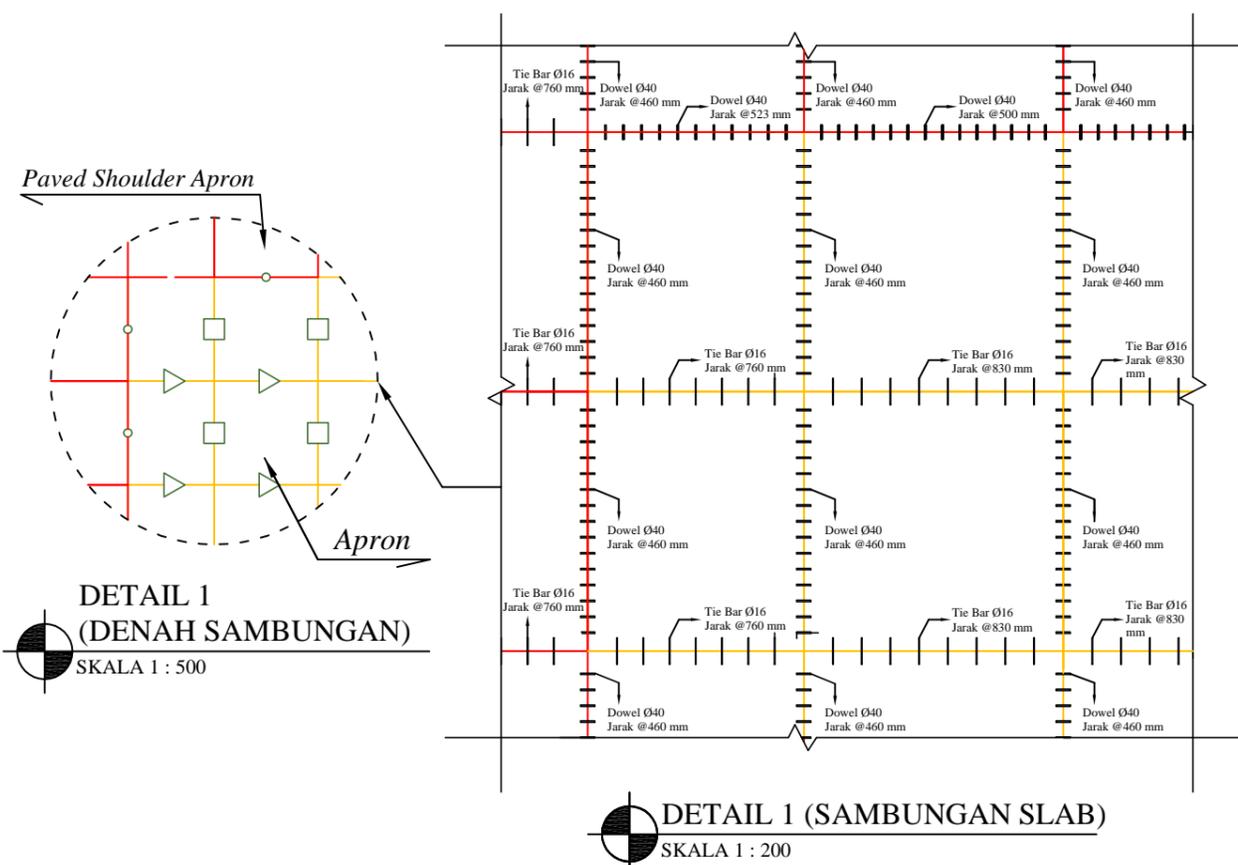
JML LMBR

5

23

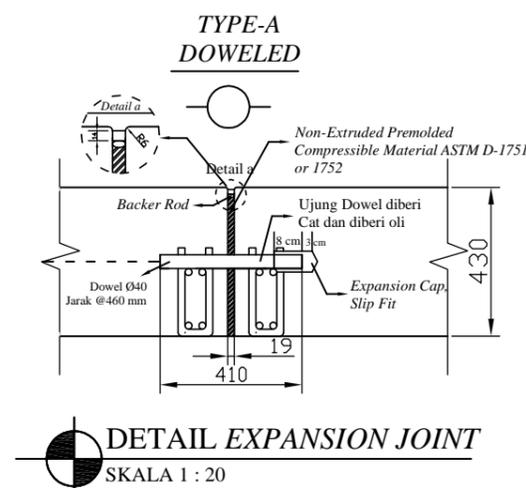


DENAH SAMBUNGAN APRON - PENGEMBANGAN FASE I
SKALA 1 : 2000

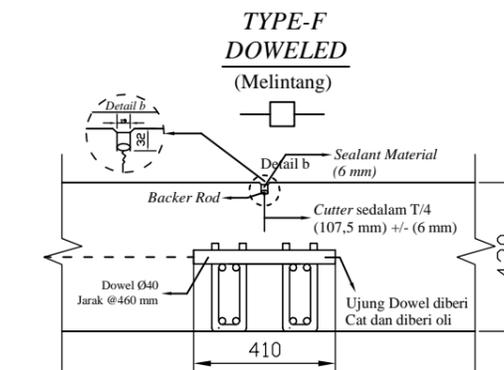
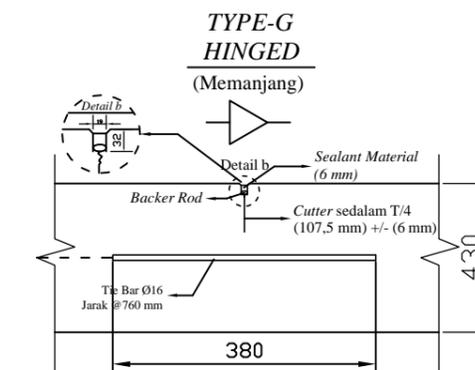


DETAIL 1
(DENAH SAMBUNGAN)
SKALA 1 : 500

DETAIL 1 (SAMBUNGAN SLAB)
SKALA 1 : 200



DETAIL EXPANSION JOINT
SKALA 1 : 20



DETAIL CONSTRUCTION JOINT
SKALA 1 : 20



**INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL**

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG**

DOSEN PEMBIMBING

**Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001**

NAMA MAHASISWA

**Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036**

KETERANGAN

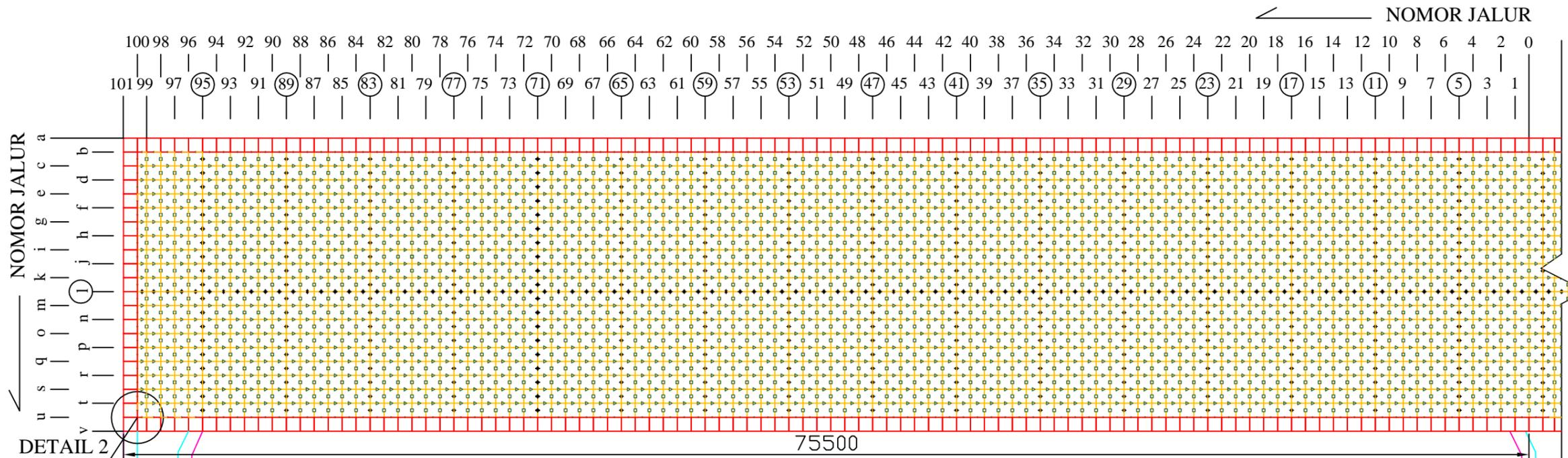
1. Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

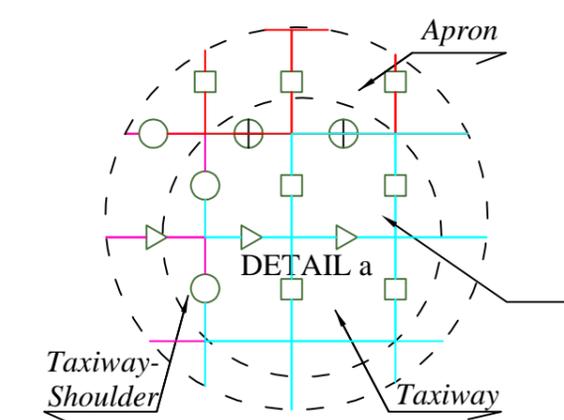
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR JML LMBR

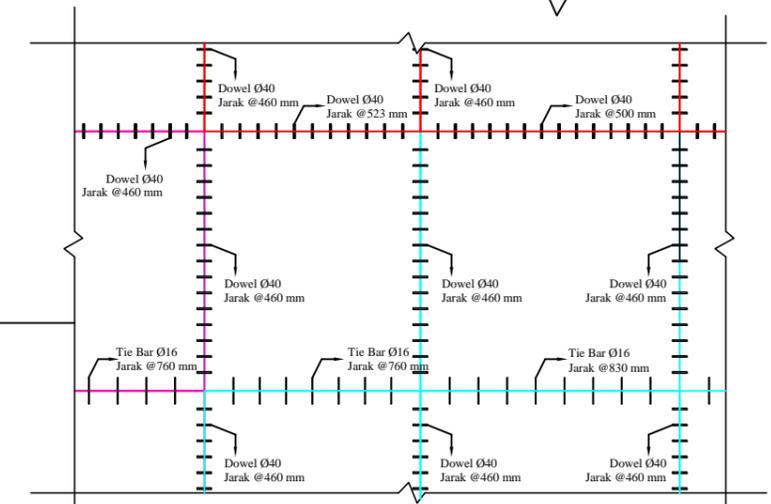
6 23



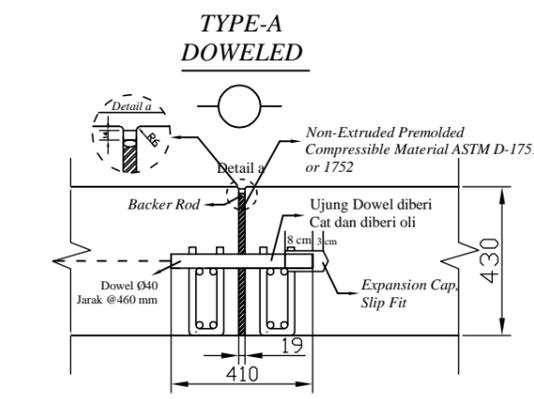
DENAH SAMBUNGAN APRON - PENGEMBANGAN FASE II
SKALA 1 : 2500



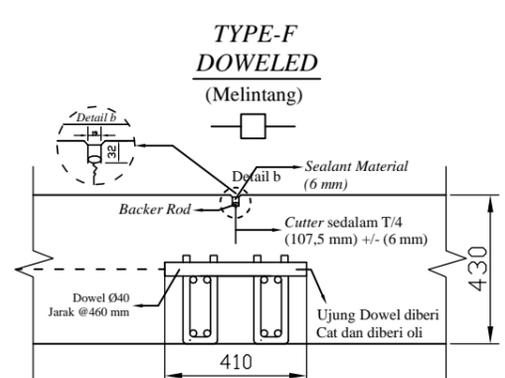
DETAIL 2 (DENAH SAMBUNGAN)
SKALA 1 : 500



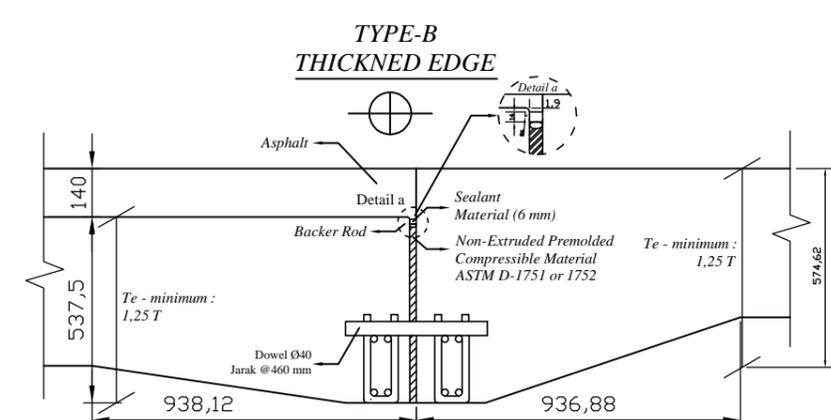
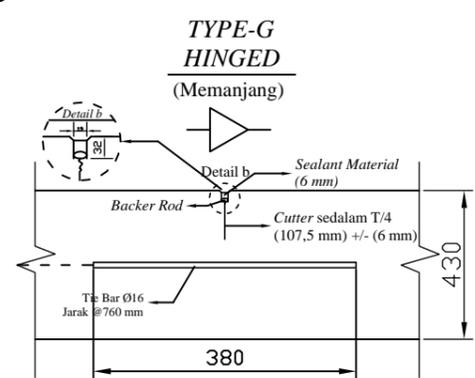
DETAIL 2-a (SAMBUNGAN SLAB)
SKALA 1 : 200



DETAIL EXPANSION JOINT
SKALA 1 : 20



DETAIL CONSTRUCTION JOINT
SKALA 1 : 20



DETAIL EXPANSION JOINT
SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

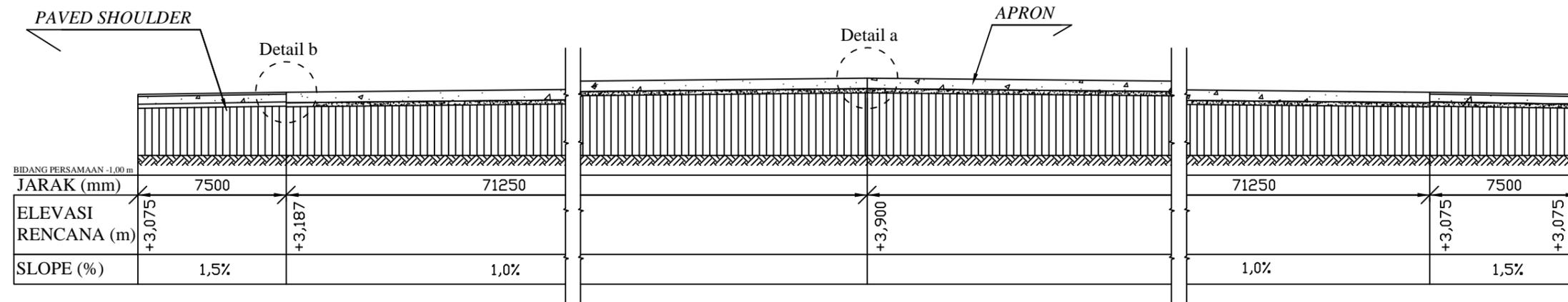
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

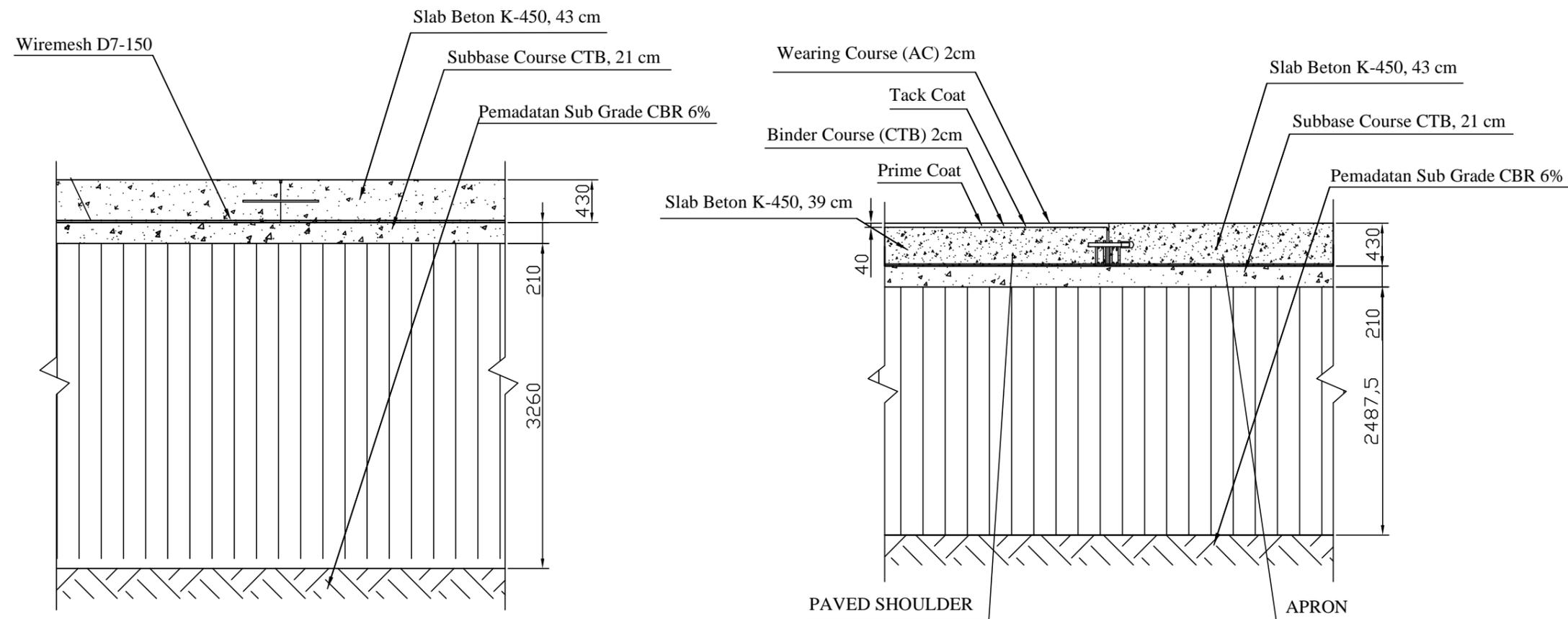
NO. LMBR	JML LMBR
----------	----------

7

23



POTONGAN A-A (Apron Melintang)
SKALA 1 : 250



DETAIL a
SKALA 1 : 50

DETAIL b
SKALA 1 : 50



**INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL**

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG**

DOSEN PEMBIMBING

**Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001**

NAMA MAHASISWA

**Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036**

KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

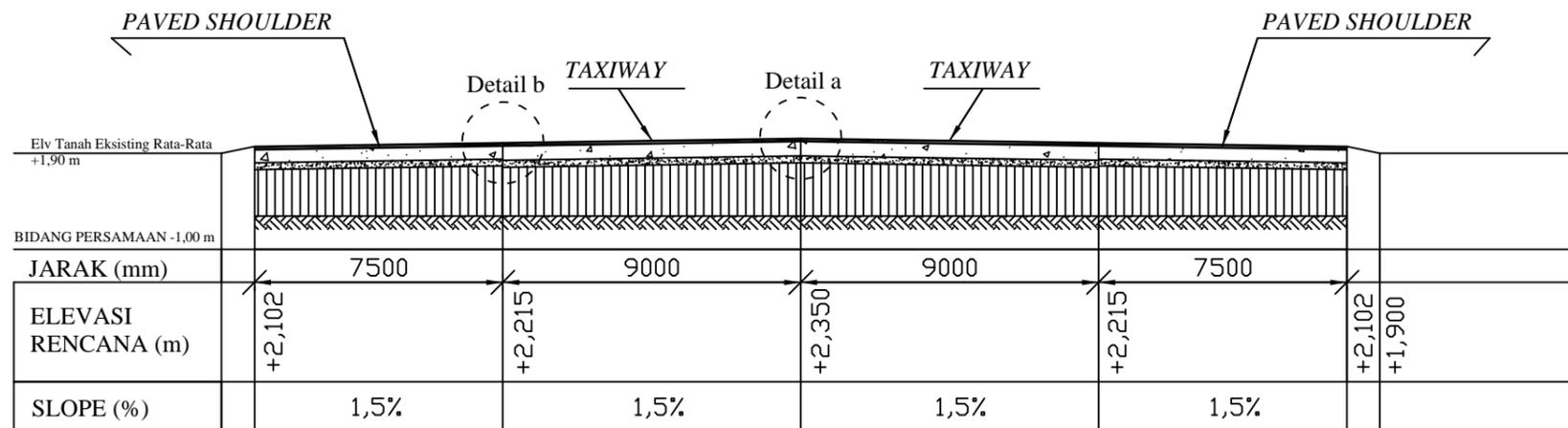
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR

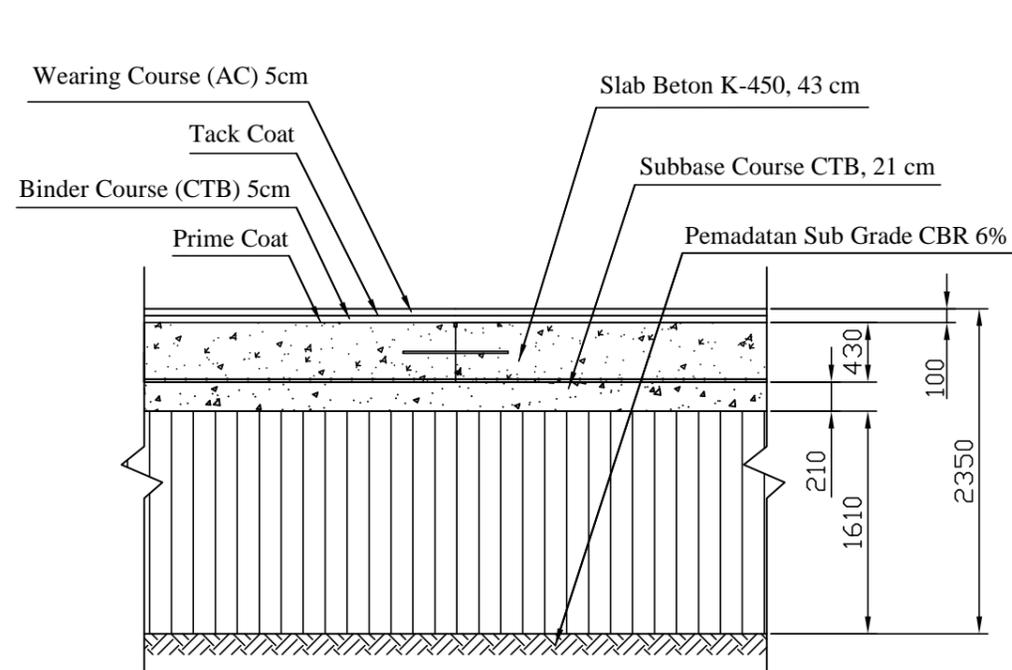
JML LMBR

8

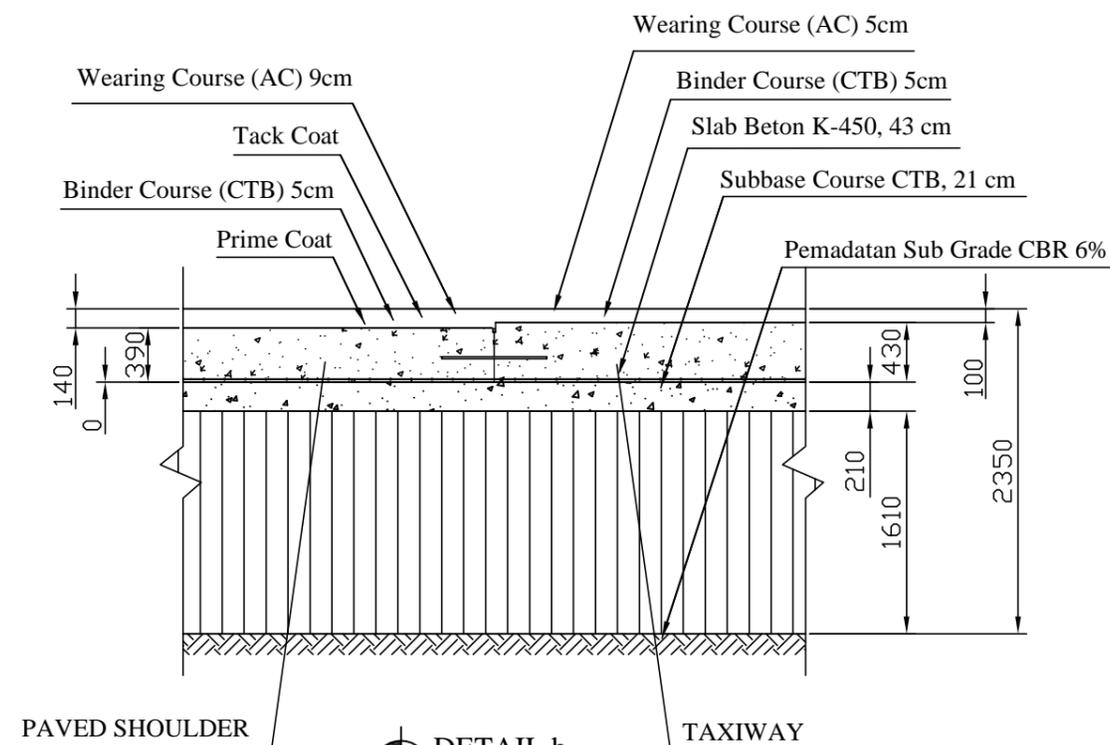
23



POTONGAN B-B (Taxiway Melintang)
SKALA 1 : 200



DETAIL a
SKALA 1 : 50



DETAIL b
SKALA 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

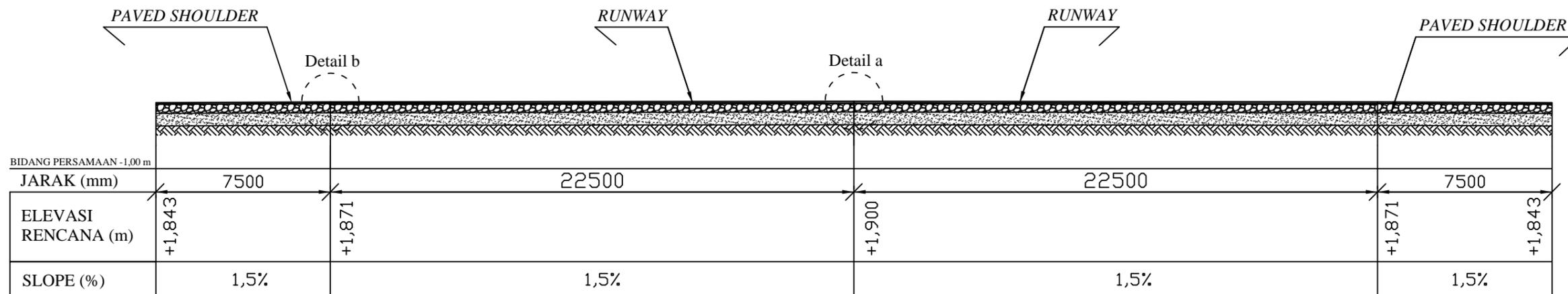
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR

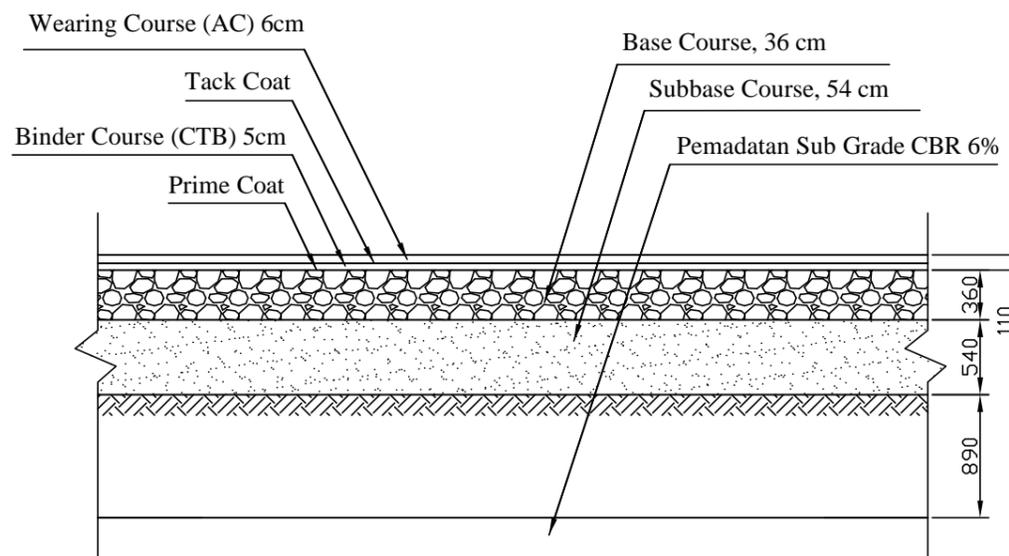
JML LMBR

9

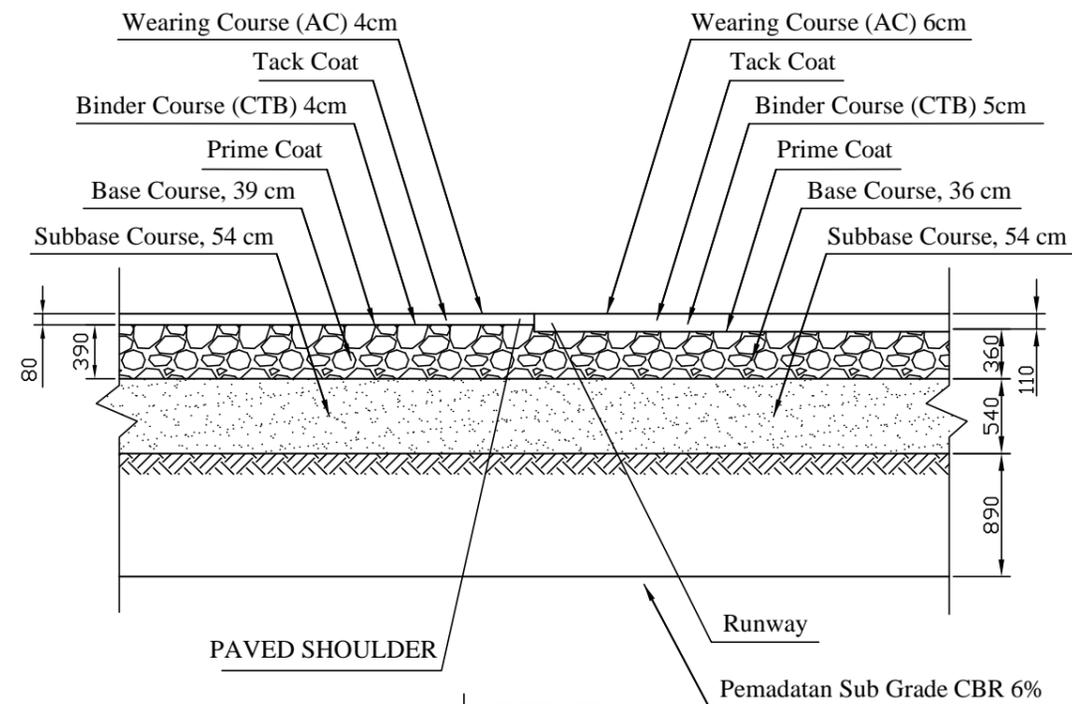
23



POTONGAN C-C (Runway Melintang)
SKALA 1 : 200



DETAIL a
SKALA 1 : 50



DETAIL b
SKALA 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

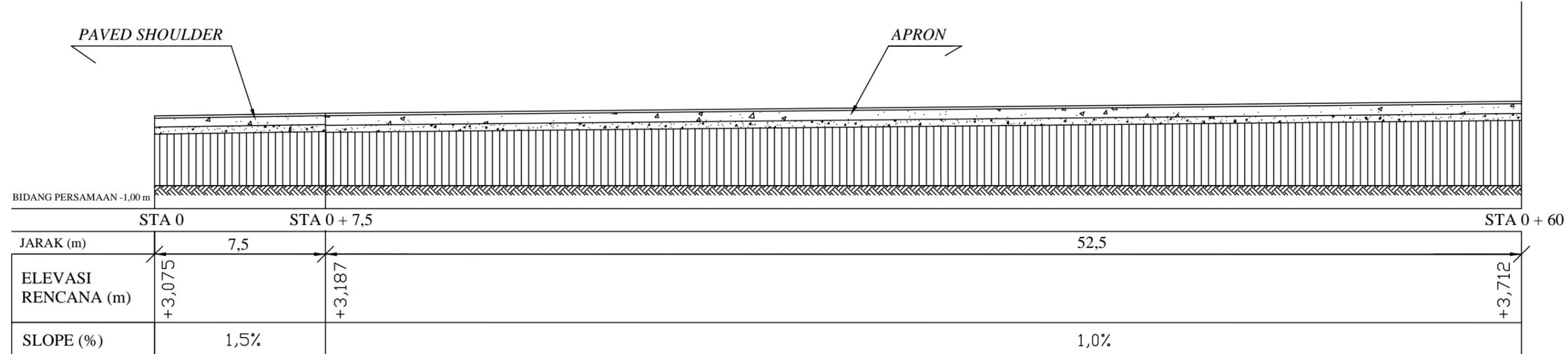
KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

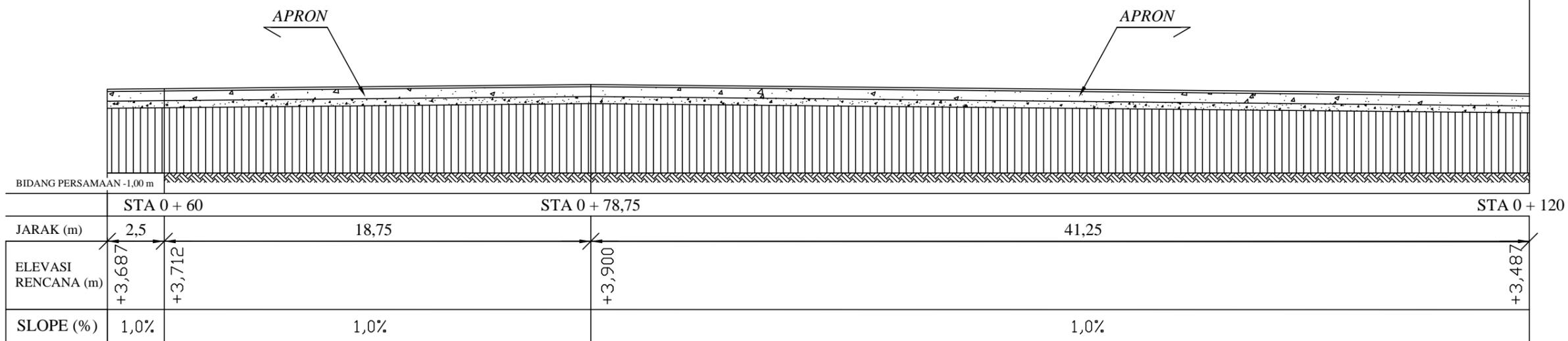
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

10 23



POTONGAN 1-1 STA 0 + 60
SKALA 1 : 200



POTONGAN 1-1 STA 0 + 120
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

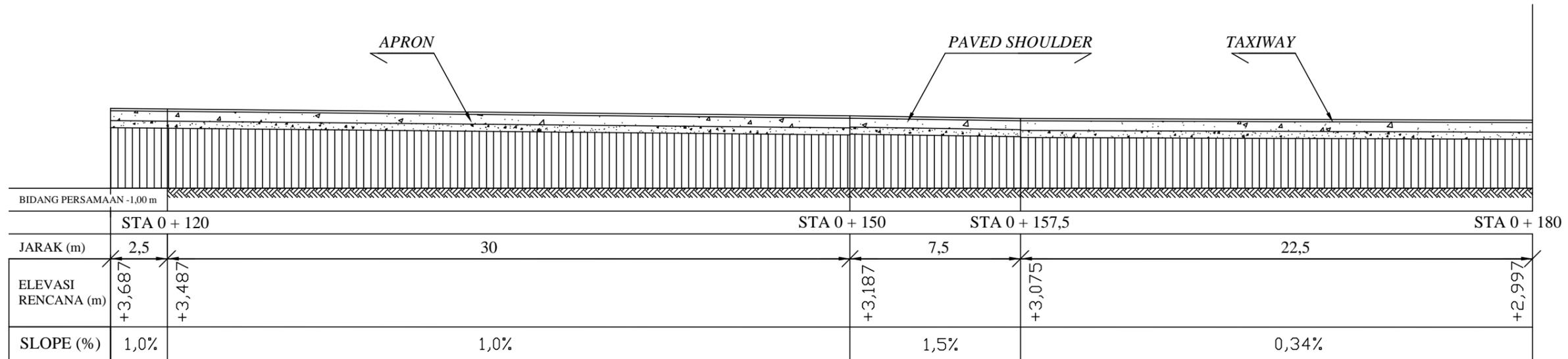
KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

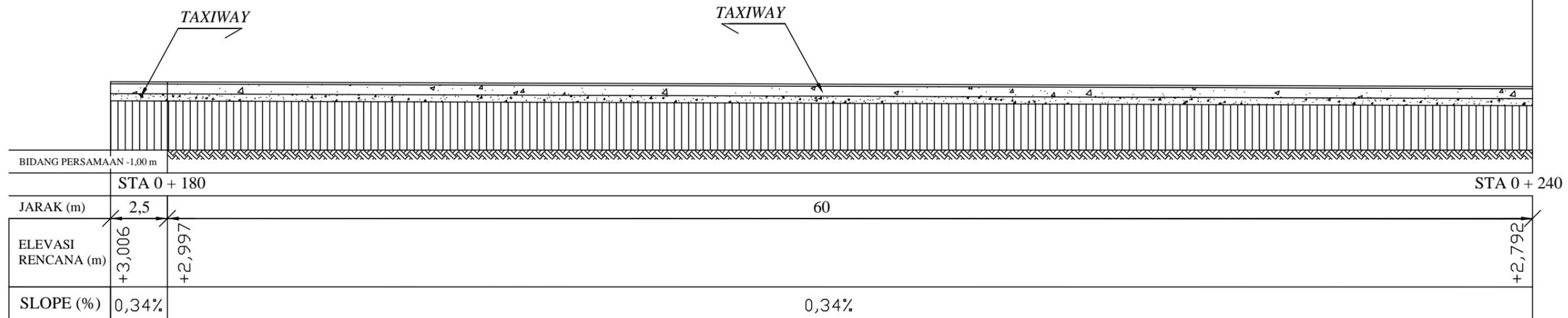
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

11 23



POTONGAN 1-1 STA 0 + 180
SKALA 1 : 200



POTONGAN 1-1 STA 0 + 240
SKALA 1 : 200



**INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL**

JUDUL TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG**

DOSEN PEMBIMBING

**Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001**

NAMA MAHASISWA

**Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036**

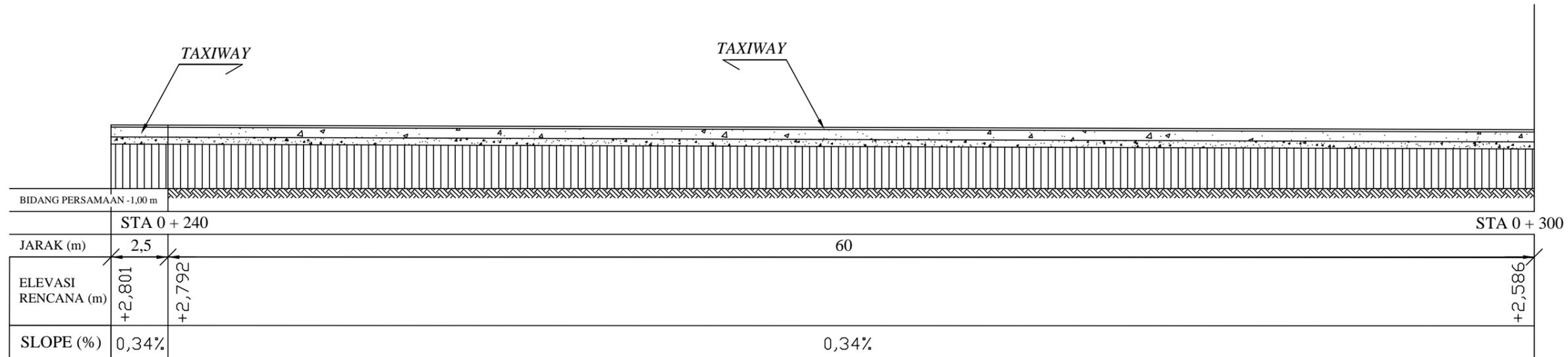
KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

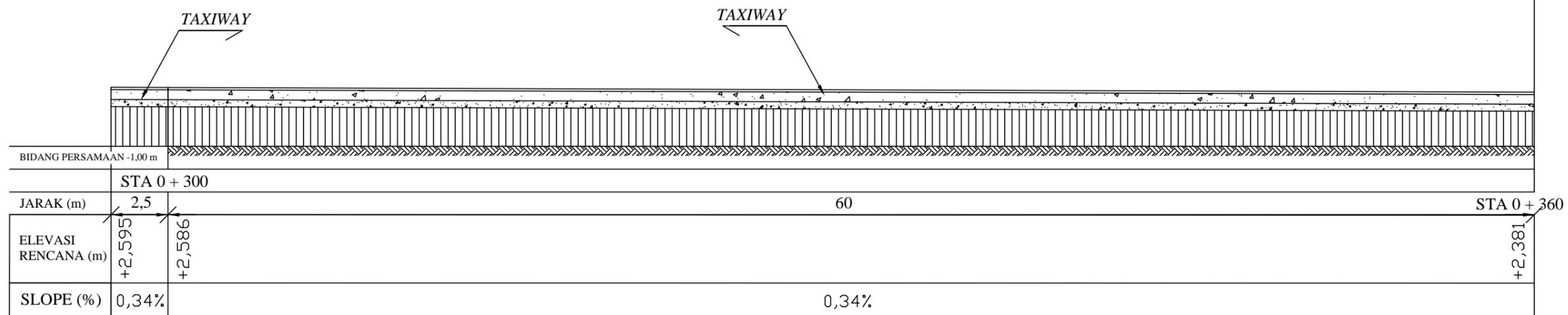
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

12 23



POTONGAN 1-1 STA 0 + 300
SKALA 1 : 200



POTONGAN 1-1 STA 0 + 360
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

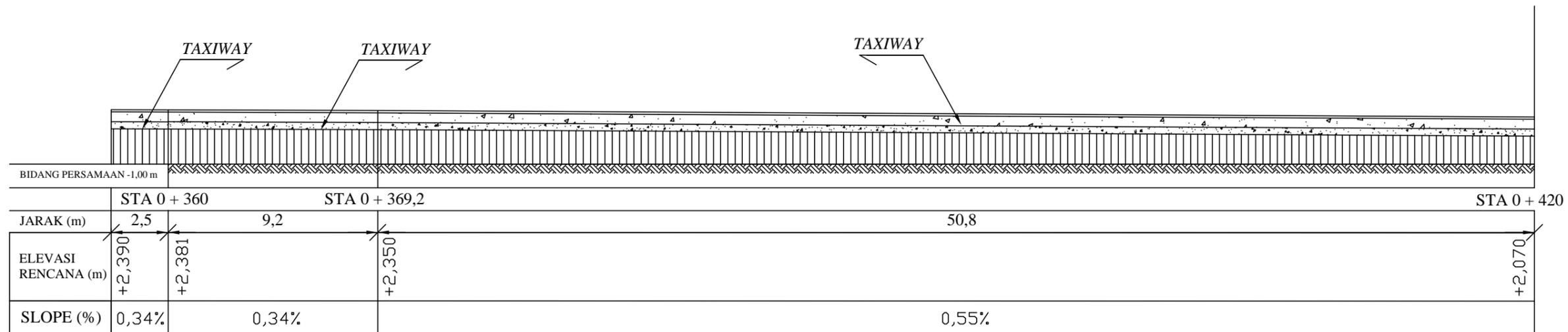
KETERANGAN

1. Satuan dalam milimeter (mm)

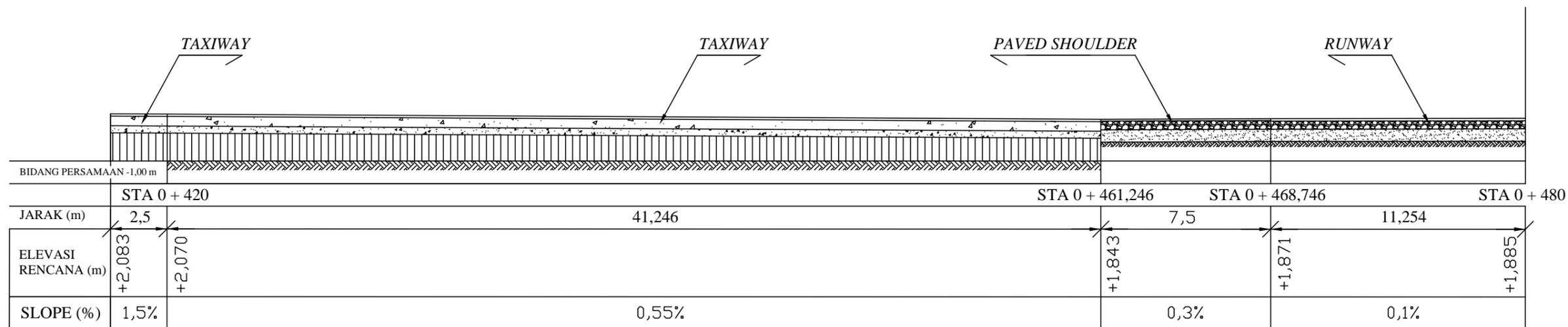
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

13 23



POTONGAN 1-1 STA 0 + 420
SKALA 1 : 200



POTONGAN 1-1 STA 0 + 480
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

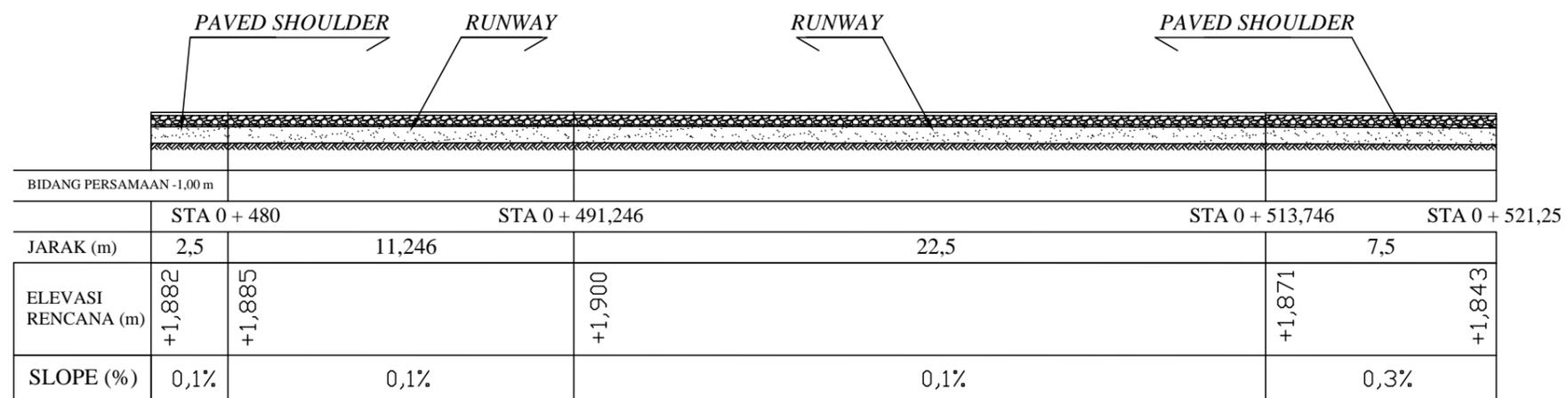
Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

14 23



POTONGAN 1-1 STA 0 + 521,25
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

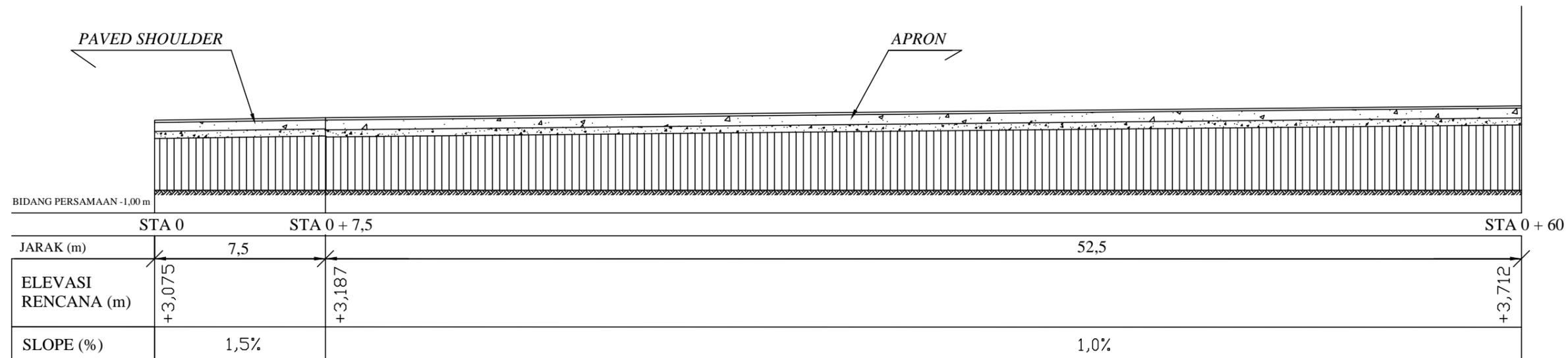
KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

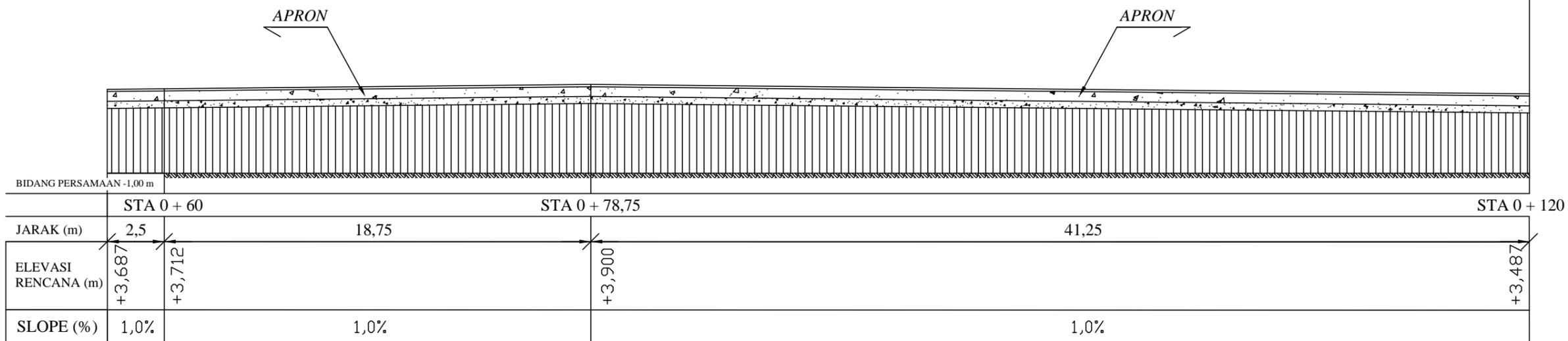
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

15 23



POTONGAN 2-2 STA 0 + 60
SKALA 1 : 200



POTONGAN 2-2 STA 0 + 120
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

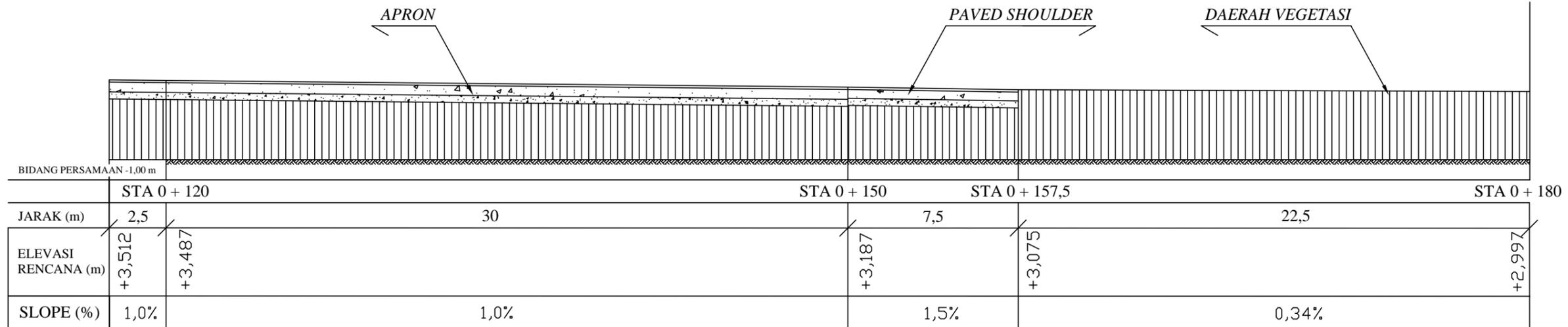
KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

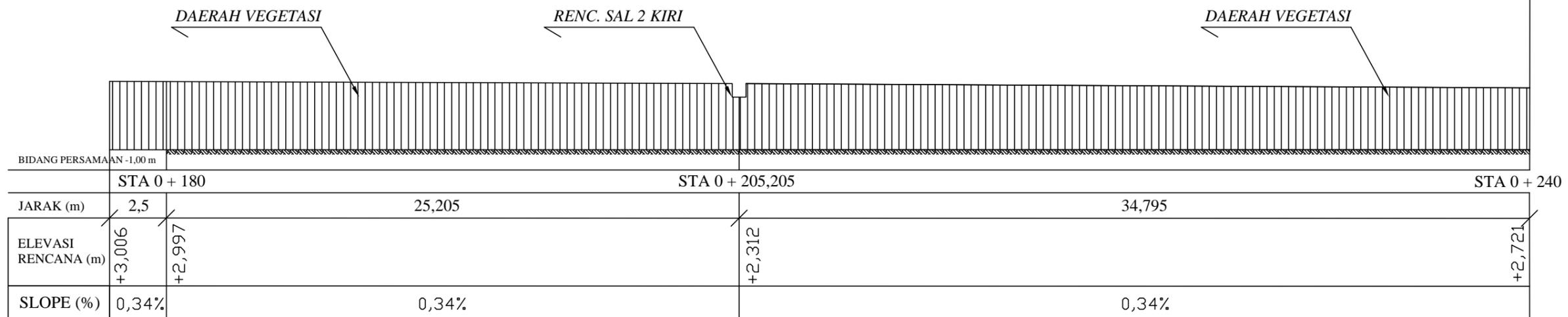
SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

16 23



POTONGAN 2-2 STA 0 + 180
SKALA 1 : 200



POTONGAN 2-2 STA 0 + 240
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

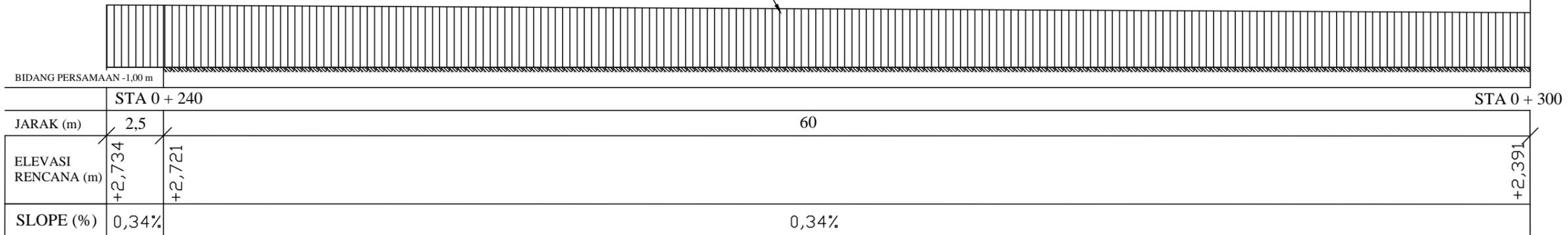
- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

17 23

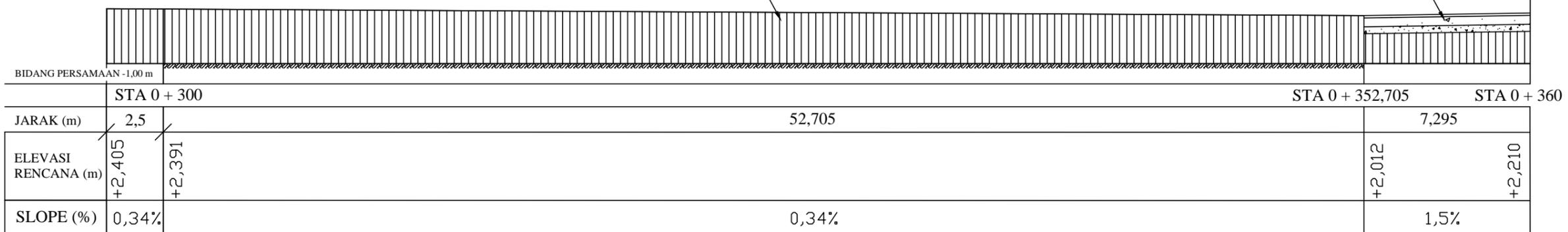
DAERAH VEGETASI



POTONGAN 2-2 STA 0 + 300
SKALA 1 : 200

DAERAH VEGETASI

PAVED SHOULDER



POTONGAN 2-2 STA 0 + 360
SKALA 1 : 200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

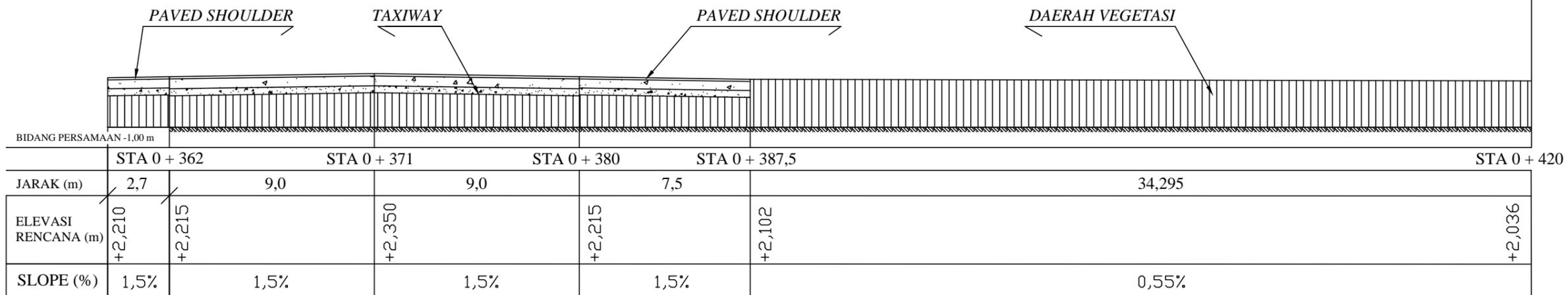
- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

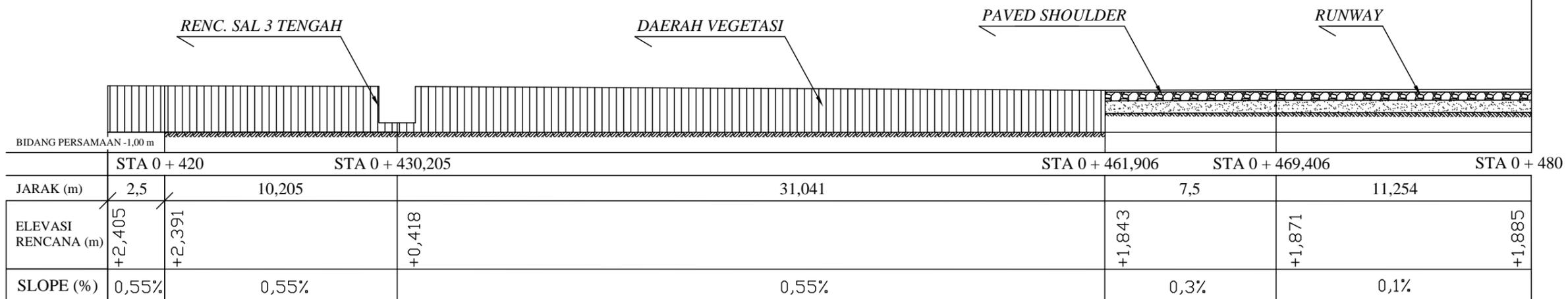
TERLAMPIR PADA GAMBAR

18

23



POTONGAN 2-2 STA 0 + 420
SKALA 1 : 200



POTONGAN 2-2 STA 0 + 480
SKALA 1 : 200



**INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL**

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

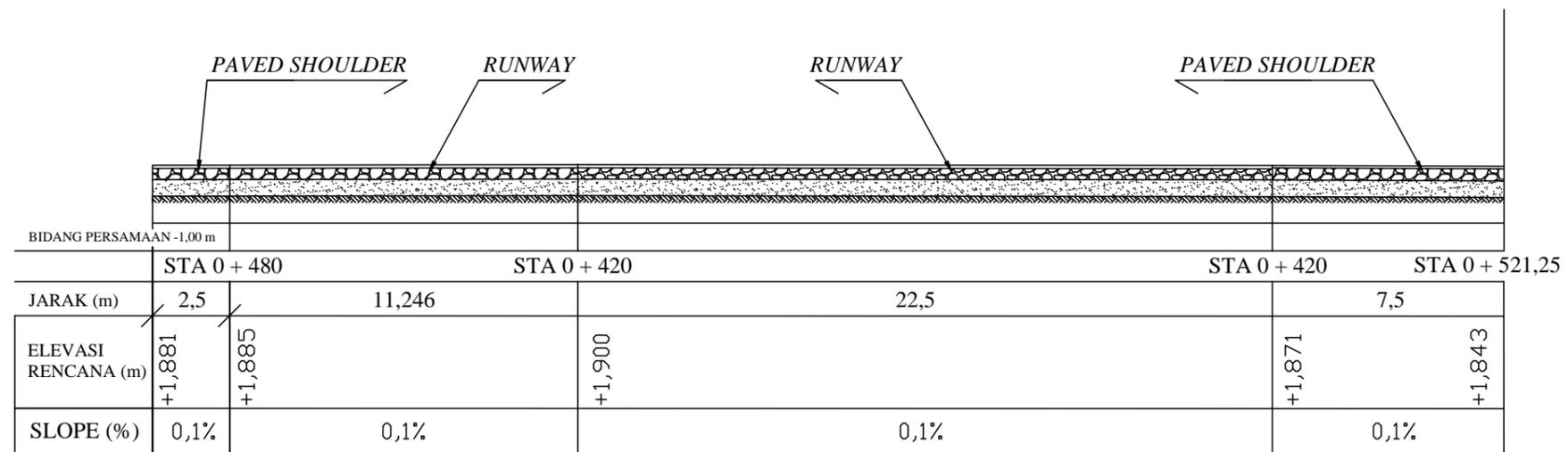
NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR



POTONGAN 2-2 STA 0 + 521,25
SKALA 1 : 200

19

23



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

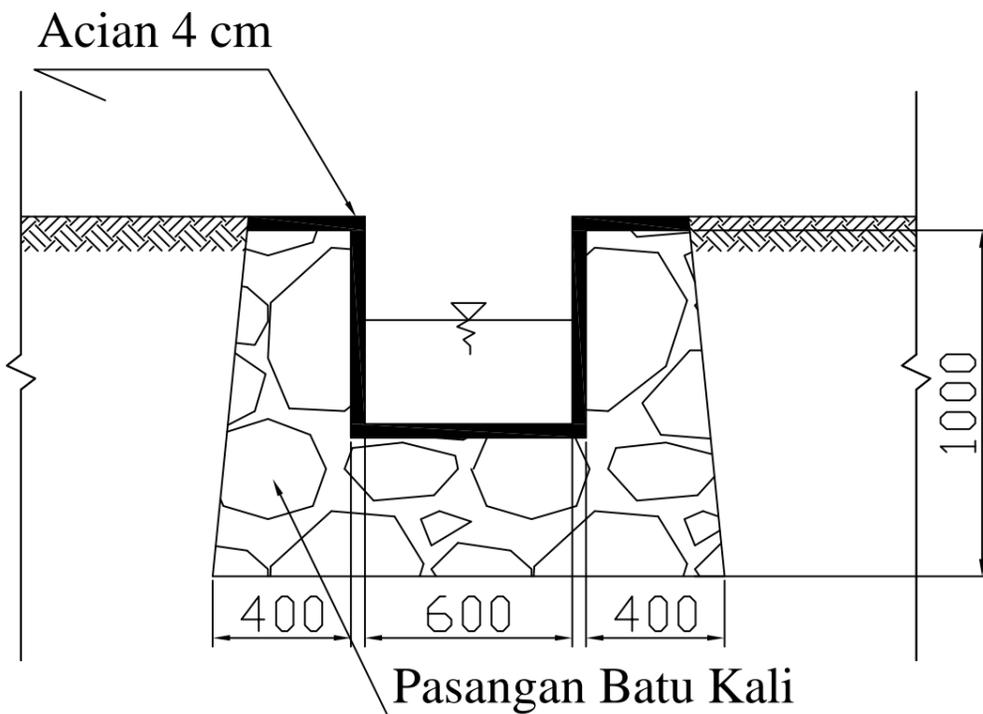
- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

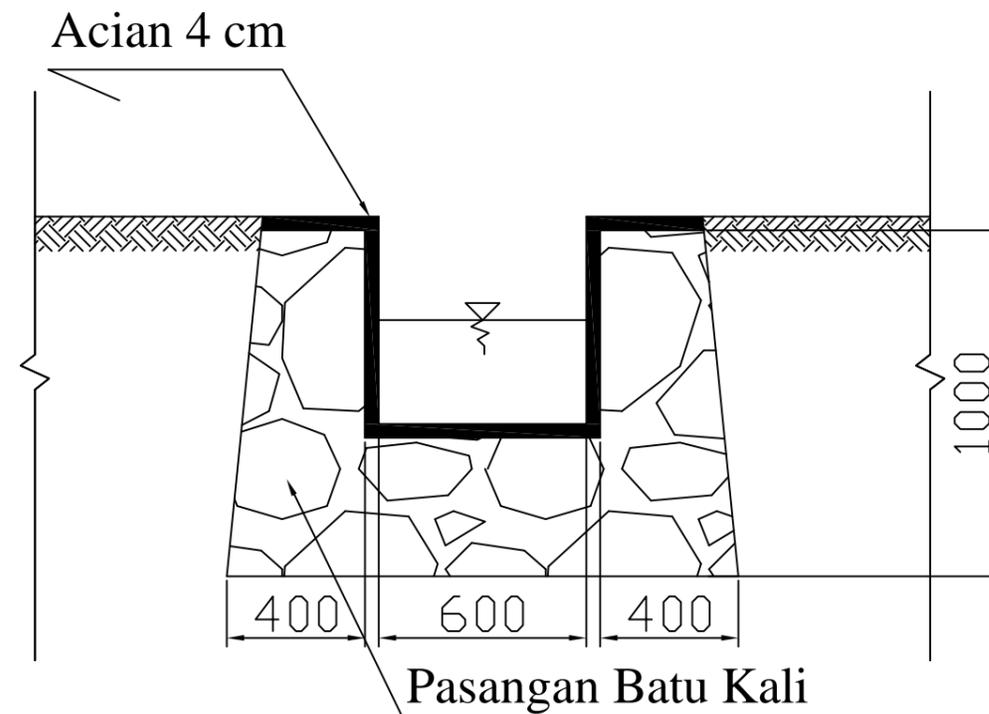
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR	JML LMBR
----------	----------

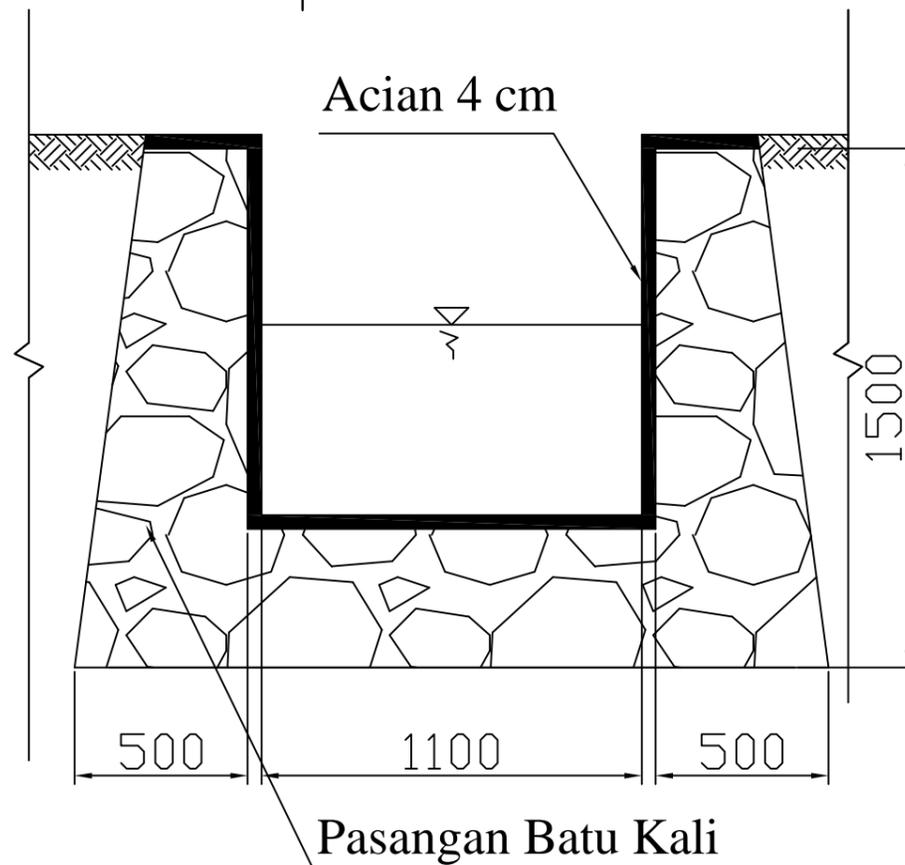
20	23
-----------	-----------



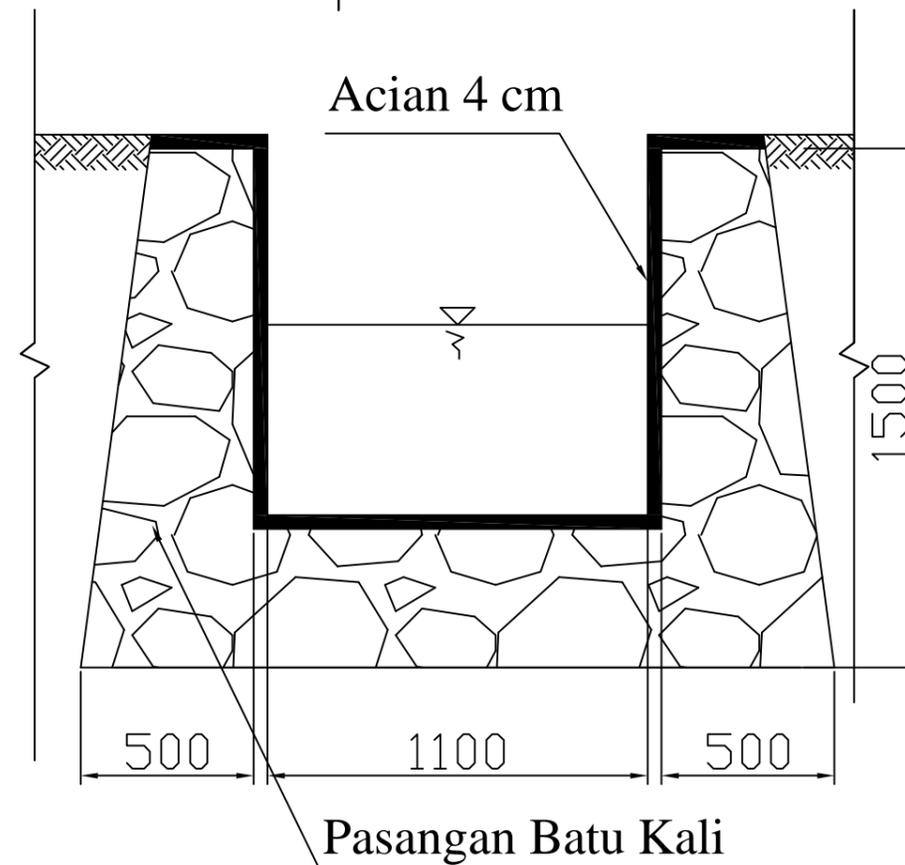
Detail Saluran 2 Kiri
SKALA 1 : 20



Detail Saluran 2 Kanan
SKALA 1 : 20



Detail Saluran 4
SKALA 1 : 20



Detail Saluran 8
SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

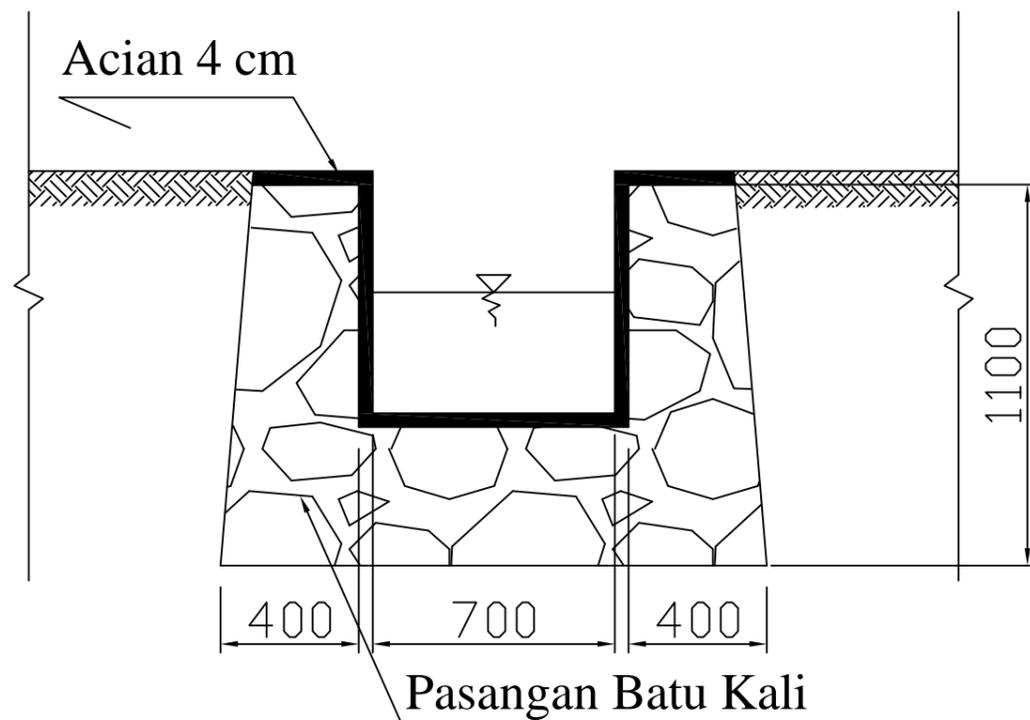
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR

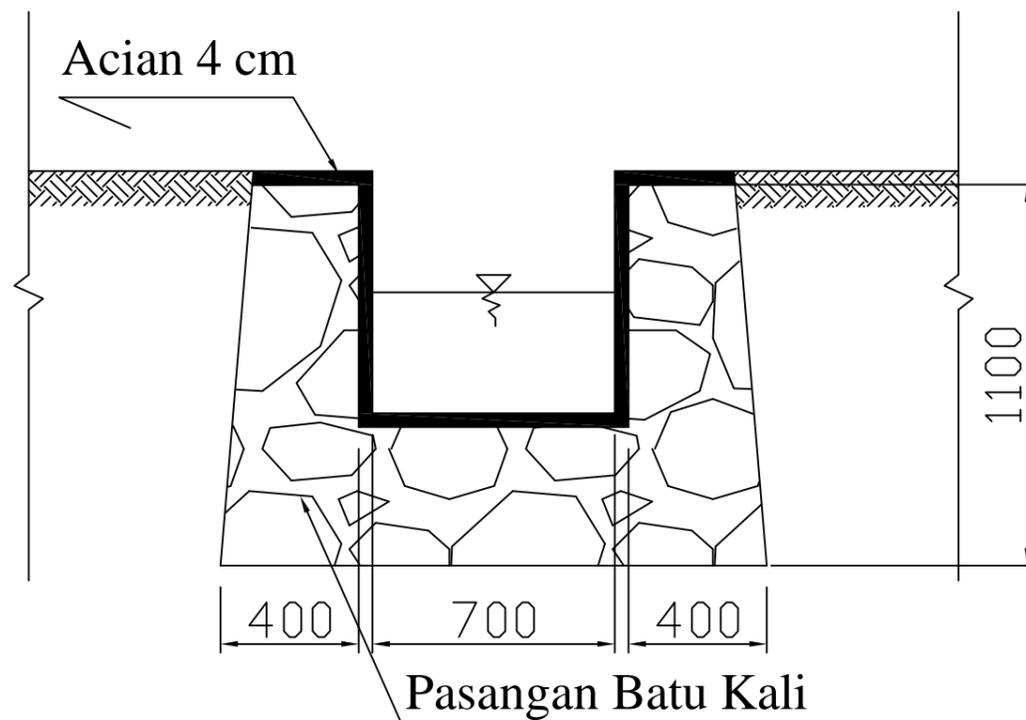
JML LMBR

21

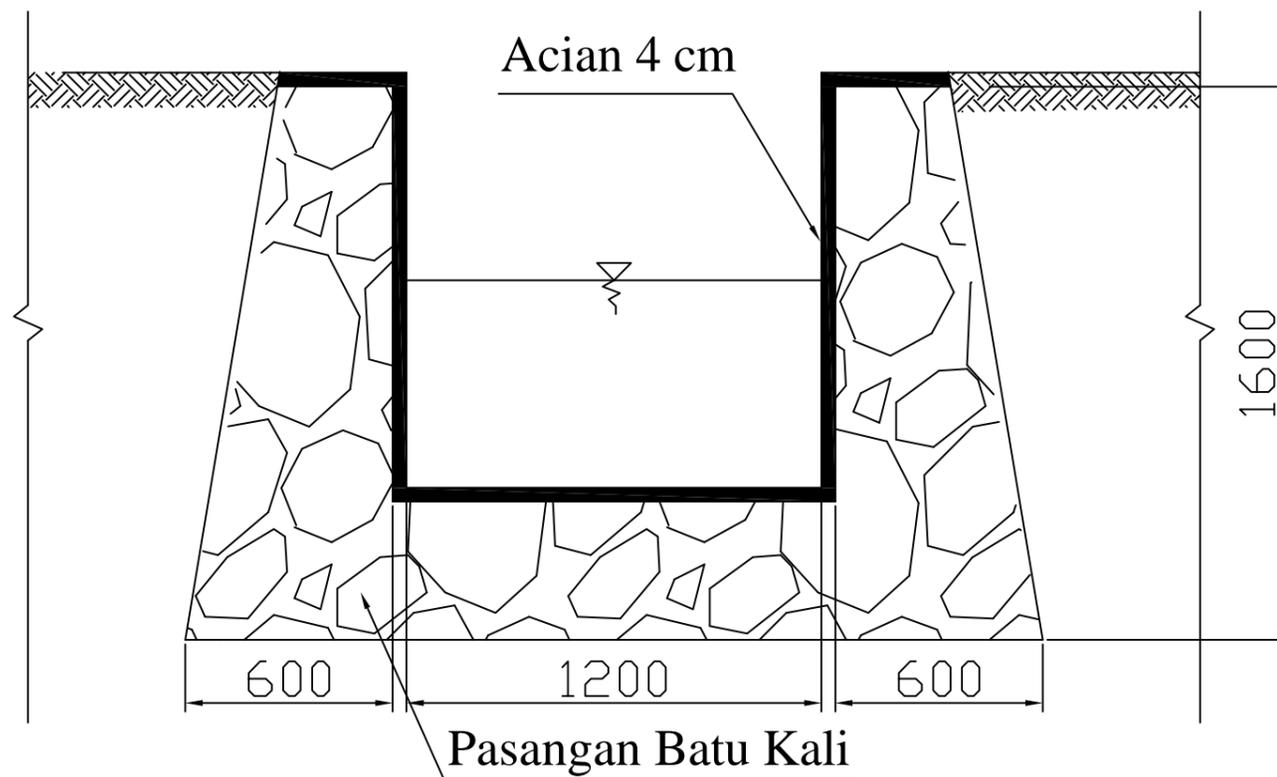
23



Detail Saluran 5 Kiri
SKALA 1 : 20



Detail Saluran 5 Kanan
SKALA 1 : 20



Detail Saluran 6
SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

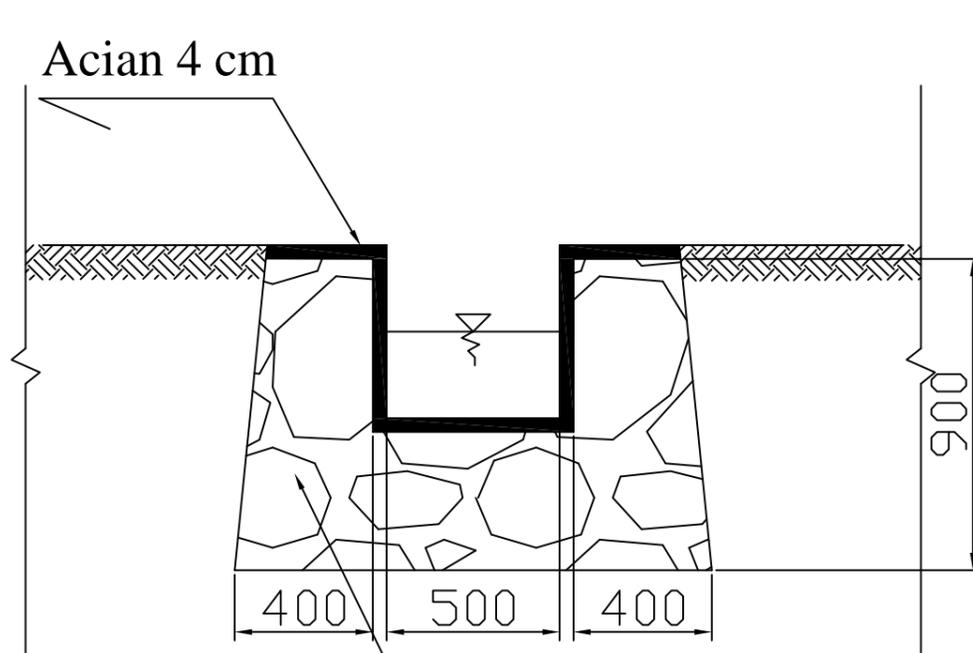
- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

TERLAMPIR PADA GAMBAR

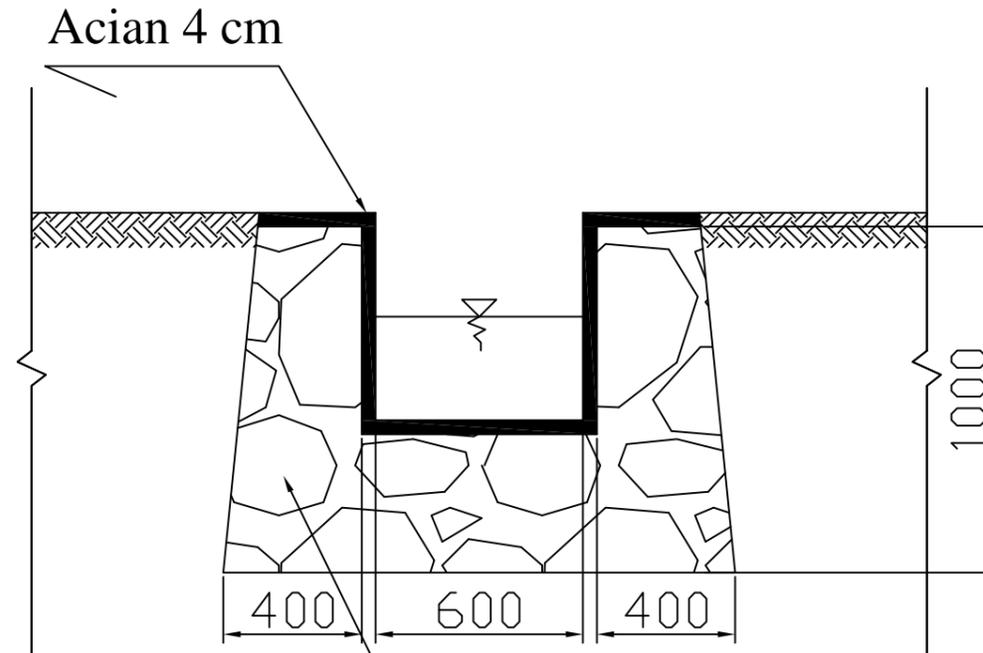
NO. LMBR	JML LMBR
----------	----------

22	23
-----------	-----------



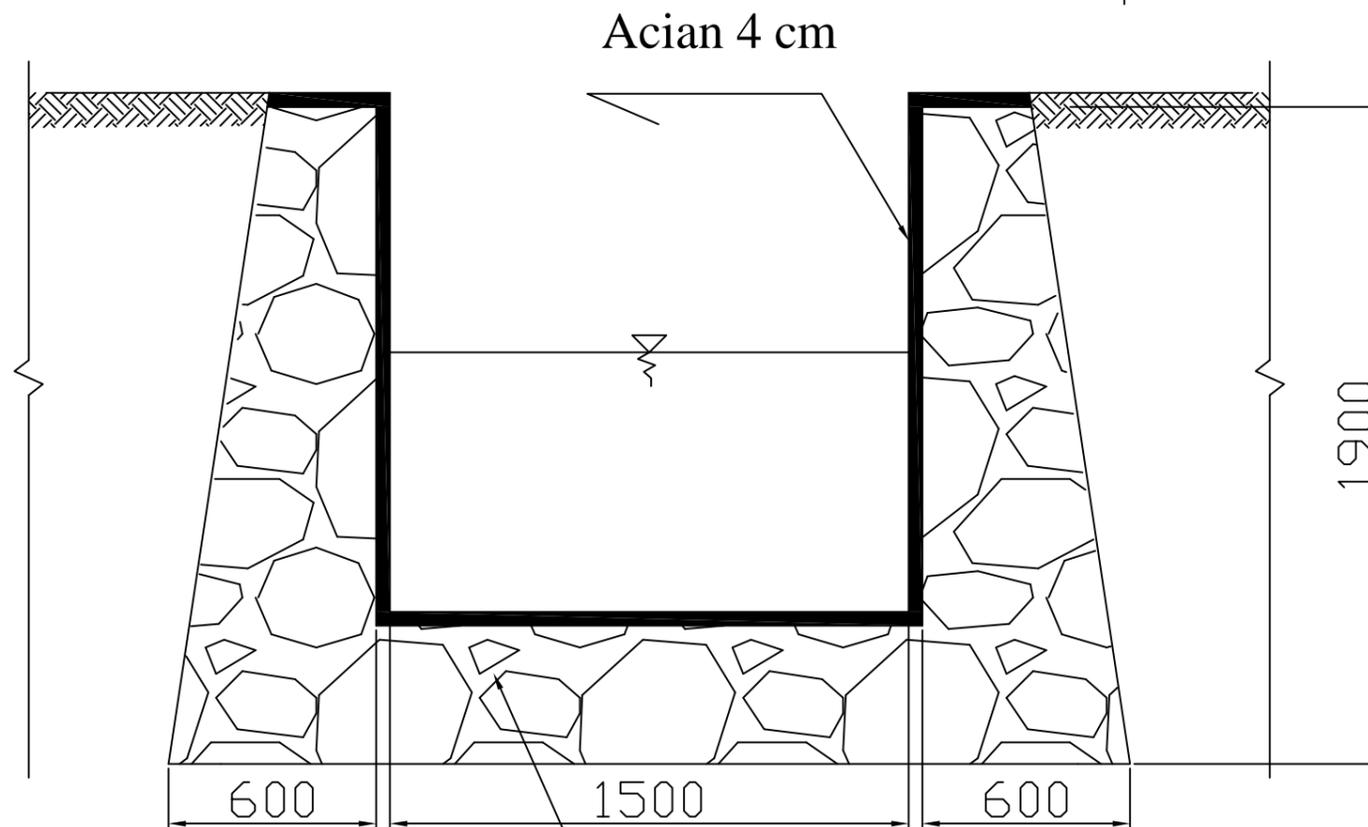
Pasangan Batu Kali

Detail Saluran 3 Kiri
SKALA 1 : 20



Pasangan Batu Kali

Detail Saluran 3 Kanan
SKALA 1 : 20



Pasangan Batu Kali

Detail Saluran 3 Tengah
SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DIV DEPARTEMEN
INFRASTRUKTUR SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN AIR SIDE
BANDARA INTERNASIONAL
AHMAD YANI, SEMARANG

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Rachmad Basuki, M.S
NIP.196411349 198903 1 001

NAMA MAHASISWA

Moch. Yusuf Hilman
NRP : 3113 041 036

KETERANGAN

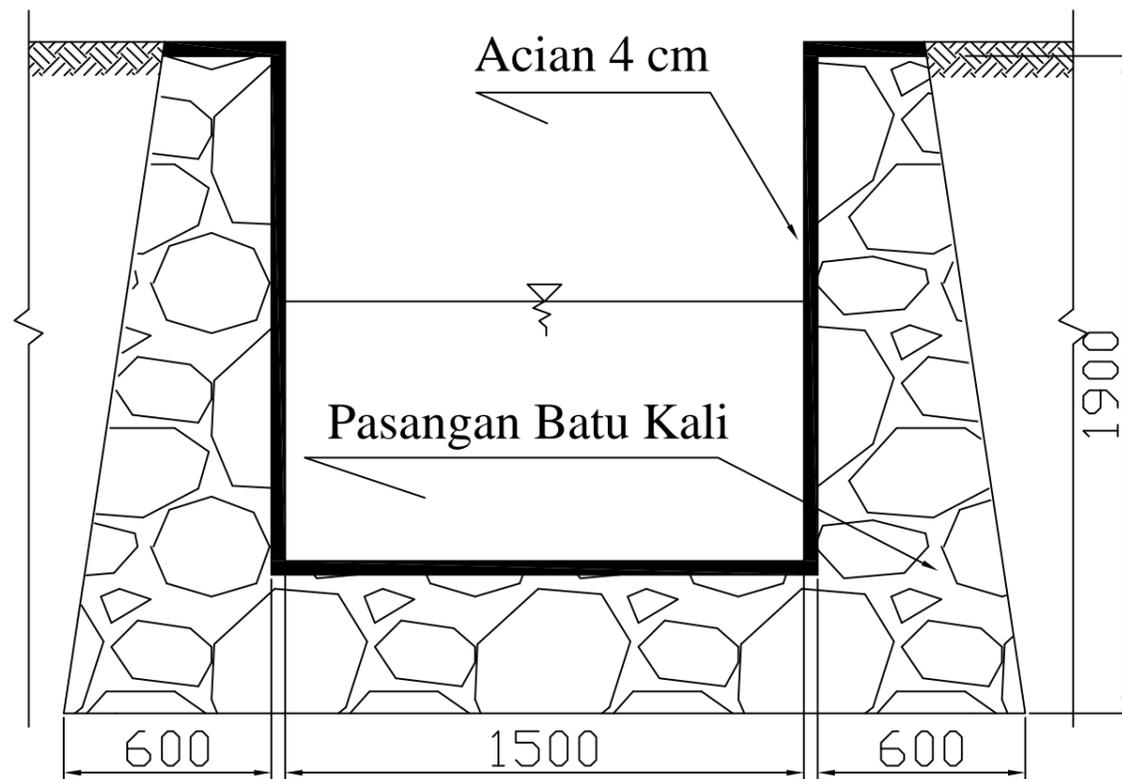
- Satuan dalam milimeter (mm)

SKALA

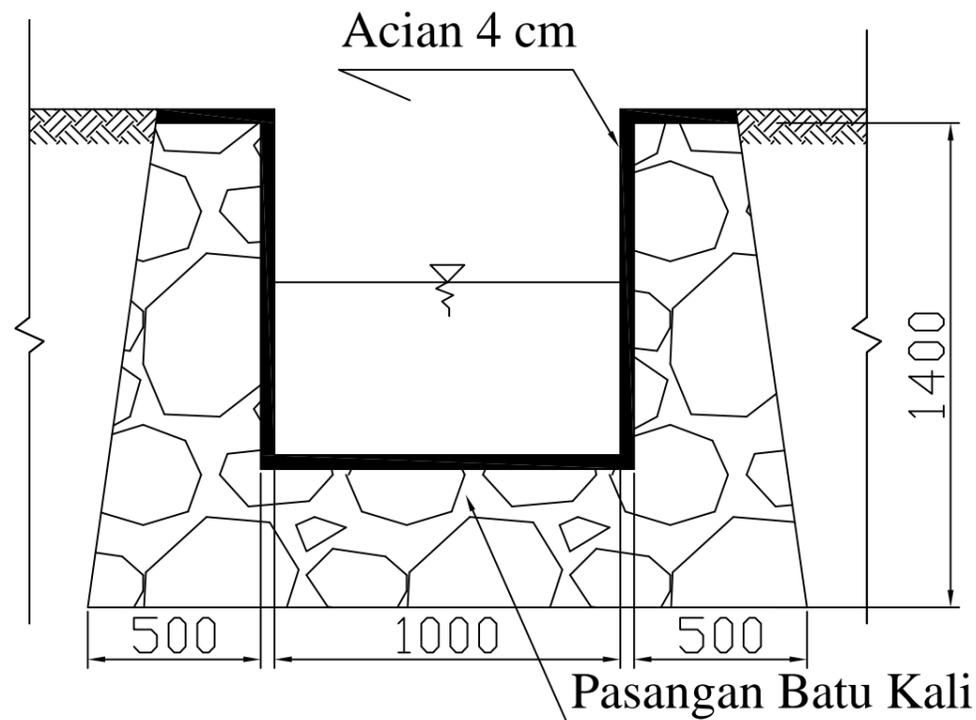
TERLAMPIR PADA GAMBAR

NO. LMBR	JML LMBR
----------	----------

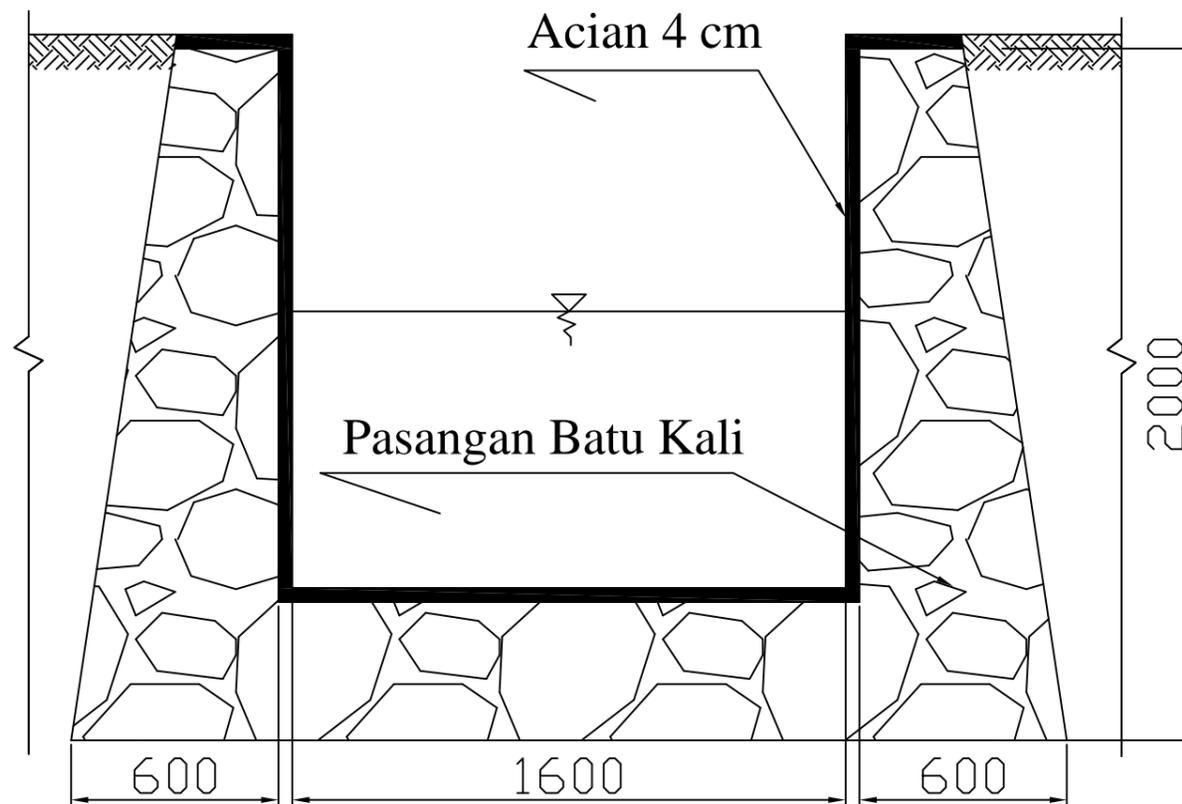
23	23
-----------	-----------



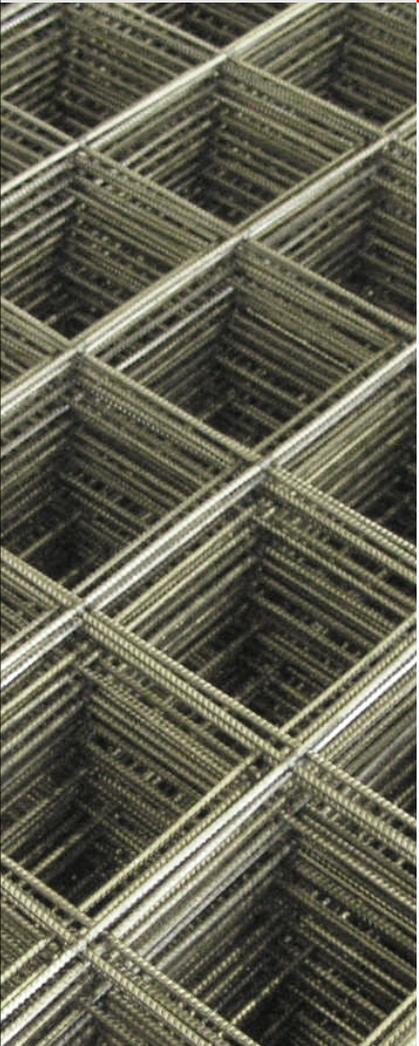
Detail Saluran 7
SKALA 1 : 20



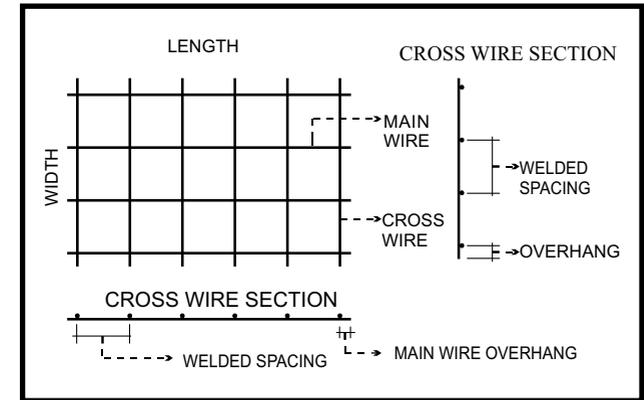
Detail Saluran 1 Kanan
SKALA 1 : 20



Detail Saluran 1 Kiri
SKALA 1 : 20



TYPE	SIZE				WEIGHT		
	DIA. Ø	SPACING	SHEET	ROLL	SHEET	ROLL	
	mm	mm	m	m	kg	kg	
GG PS & GGUS	M 5	5 X 5	150	5.4 X 2.1	54 X 2.1	24.14	241.40
	M 6	6 X 6	150	5.4 X 2.1	54 X 2.1	34.76	347.60
	M 7	7 X 7	150	5.4 X 2.1	-	47.31	-
	M 8	8 X 8	150	5.4 X 2.1	-	61.79	-
	M 10	10 X 10	150	5.4 X 2.1	-	96.55	-



STANDARD SIZE

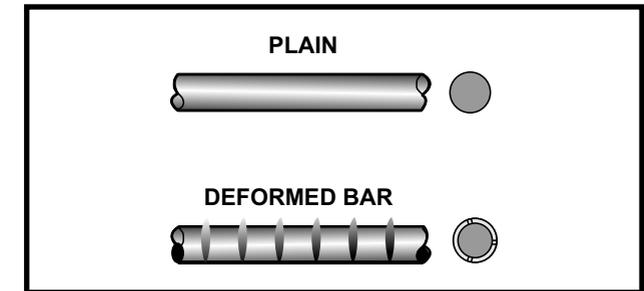
TYPE	LENGTH	WIDTH	WIRE DIAMETER
	m	m	mm
Sheet	5.4	2.1	4 to 12
Roll	54	2.1	4 to 12

TOLERANCE OF SIZE AND WEIGHT

TYPE	LENGTH	WIDTH	DIAMETER	WEIGHT
	mm	mm	mm	%
Sheet	± 25	± 5	± 0.4	± 7
Roll	± 250	± 5	± 0.4	± 7

MECHANICAL PROPERTIES

GRADE	YIELD STRENGTH	ELONGATION	SHEAR STRENGTH OF WELDING
	N/mm ²	%	N/mm ²
U - 50	490	30	250



CHEMICAL COMPOSITION OF MATERIAL

SYMBOL OF GRADE	CHEMICAL COMPOSITION %				
	C	Si	Mn	P	S
SR 24	-	-	-	0.05 max.	0.05 max.

HEAD OFFICE & FACTORY
 Jl. Imam Bonjol 4, Warung Bongkok,
 Sukadana, Cikarang Barat,
 Bekasi 17520, West Java, INDONESIA
 Sales Department
 Phone DID : (62-21) 898 38 180 - 182
 Phone Flexy : (021) 7085 3153
 (021) 7085 3173
 Fax : 898 38 188, 8900-555
 e-mail : ggb01@grdsteel.com



BORE LOG

Project : Rencana Pembangunan		Location : Bandara A Yani		Bore Hole No. : BH. 7		Page 1					
Date	Depth (m)	Thickness (m)	sample	Symbol	Layer Tipe	DESCRIPTION	Depth (m)	N	10	30	50
26 Februari - 1 Maret 2012	0,00	2,00			LANAU kepasitan	sedikit kerikil (merupakan material limbah), berwarna coklat	1,00	8			
	2,00						1,45				
							2,40	1			
							2,95				
							4,00	1			
							4,45				
							5,90	1			
							5,95				
							7,00	1			
							7,45				
							8,90	1			
							8,95				
							10,00	1			
							10,45				
							11,90	1			
							11,95				
							13,00	1			
							13,45				
							14,90	1			
							14,95				
							16,50	2			
							16,95				
							18,00	5			
							18,45				
							20,50	15			
							20,95				
							22,45	21			
							22,95				
							24,90	23			
							25,00				

NOTE :



BORE LOG

Project : Rencana Pembangunan		Location : Bandara A Yani Semarang, Jawa Tengah		Bore Hole No : BH. 7 Page 2	
Date of drilling	26 Februari - 1 Maret 2012	Described by	: Andi RAS, ST	Coordinate	X:
Bore Machine	Longer 24	Checked by	: Ir. Siti Hardiyati, MT		Y:
Pump	Sunchin	Date of photograph	:	Elevation	
Master bore	Slamet	Sample store at	: Semarang	Inclination	
Drilling methode	Rotary	Ground Water Depth	: -0,50 meter	Azimuth	
Diameter of hole	73 mm				

Date	Depth (m)	Thickness (m)	sample	Symbol	Layer Tipe	DESCRIPTION	Field Test		
							SPT		
							Depth (m)	N	10 30 50
26 Februari - 1 Maret 2012	25,00						25,00		
	26								
	27						26,50	19	
	28						26,95		
	29	7,00			LEMPUNG	kaku sampai sangat kaku, warna abu-abu	28,50	18	
	30						28,95		
	31						30,50	26	
	32	32,00					30,95		
	33		2,00		LEMPUNG Kepasiran	sedikit kerikil, kaku sampai sangat kaku warna abu-abu	32,50	39	
	34	34,00					32,95		
	35	35,00	1,00		LEMPUNG	warna abu-abu tua	34,50	19	
	36						34,95		
	37		4,00		PASIR HALUS kelanauan	lepas sampai setengah padat, warna abu-abu	36,50	24	
	38						36,95		
	39	39,00					38,50	42	
	40						38,95		
	41						40,50	20	
	42						40,95		
	43		47,00		LEMPUNG	kaku sampai sangat kaku, warna abu-abu	42,50	22	
	44						42,95		
	45						44,50	26	
	46						44,95		
	47	47,00					46,50	28	
	48						46,95		
	49		3,00		LEMPUNG	sanga kaku warna abu-abu kecoklatan	48,50	28	
	50	50,00					48,95		

NOTE :

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Mochammad Yusuf Hilman. Lahir di Medan pada tanggal 25 Desember 1995. Anak kedua dari 2 bersaudara, pendidikan formal yang ditempuh antara lain : Sekolah Dasar Negeri 430 Surabaya, Sekolah Menengah Pertama Negeri 28 Surabaya, Sekolah Menengah Atas Muhammadiyah 2 Surabaya dan tamat tahun 2013. Penulis melanjutkan studi di D-IV Teknik

Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113 041 036. Di Departemen Diploma IV Infrastruktur Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Penulis aktif dalam berbagai kegiatan yang diselenggarakan oleh kampus ITS, selain itu juga aktif sebagai staff dan kadep dari ormawa di departemen tersebut dalam 2 kali kepengurusan 2014-2015 dan 2015-2016