

**PERBANDINGAN ANTARA METODE ANALISA KOMPONEN
DENGAN METODE NAASRA DALAM MENDESAIN
PERKERASAN LENTUR JALAN RAYA
(Studi kasus : Ruas Jalan Akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
Mencapai Gelar Sarjana Teknik Sipil



Disusun Oleh :

**NAMA : ANDRYASTOMO
N.P.M : 0110311 – 007
JURUSAN : TEKNIK SIPIL**

**TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN (PKSM)
UNIVERSITAS MERCU BUANA**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik, jenjang pendidikan Strata 1 (S-1), Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Mercu Buana, Jakarta.

Judul Tugas Akhir : PERBANDINGAN ANTARA METODE ANALISA KOMPONEN DENGAN METODE NAASRA DALAM MENDESAIN PERKERASAN LENTUR JAAN RAYA
Studi Kasus : Ruas Jalan Spine Road III Bukit Sentul Bogor

Disusun oleh :

N a m a : ANDRYASTOMO
N I M : 0110311-007
Program Studi : Teknik Sipil

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan pada sidang sarjana.

Pembimbing

Ir. Alizar Oemar, MT

Jakarta, 26 Agustus 2007

Mengetahui,
Ketua Program Teknik Sipil

Ir. Mawardi Amin, MT

LEMBAR PERNYATAAN
SIDANG SARJANA KOMPREHENSIF LOKAL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS MERCU BUANA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andryastomo
Nomor Induk Mahasiswa : 0110311-007
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan kerja asli, bukan jiplakan (duplikat) dari karya orang lain. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi berupa pembatalan gelar kesarjaan saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat di pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Jakarta, 26 Agustus 2007

Yang memberikan pernyataan

(Andryastomo)

ABSTRAK TUGAS AKHIR

Judul : Perbandingan Antara Metode Analisa Komponen dengan Metode NAASRA dalam Mendesain Perkerasan Lentur Jalan Raya Studi Kasus Ruas jalan Akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor, **Disusun Oleh** : Andryastomo **NIM** : 0110311-007, **Pembimbing** : Ir.Alizar Oemar, MT, **Tahun** : 2007.

Dalam pelaksanaan pekerjaan lapis perkerasan lentur, terutama pada pembangunan jalan baru untuk menentukan tebal perkerasannya perlu dianalisa dengan baik dan teliti agar tidak terjadi over desain, sehingga pemborosan biaya konstruksi dapat dihindari. Kondisi lalu-lintas jalan akses Spine Road III Bukit Sentul yang meningkat dai tahun ke tahun tidak dapat diimbangi dengan kecepatan peningkatan pertumbuhan jalan. Untuk Jalan Akses Spine Road III Bukit Sentul ini dibangun dengan tujuan menghubungkan akses jalan dari kawasan perumahan Bukit Sentul menuju Ciawi yang dibangun dengan standar tinggi sebagai jalan alteratif yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan di kabupaten Bogor.

Analisa penentuan tebal perkerasan pada “Metode Analisa Komponen dan Metode Naasra (National Association of Australian State Road Authorities)” menggunakan berapa parameter penentu seperti data lalu-lintas harian rata-rata awal tahun rencana, pertumbuhan lalu-lintas, lalu-lintas harian rata-rata akhir tahun rencana, dan data curah hujan.

Setelah dianalisa dengan menggunakan Metode Analisa Komponen dan Metode Naasra, maka diperoleh hasil susunan tebal lapis perkerasan yang berbeda dari kedua metode tersebut yaitu : Susunan tebal perkerasan untuk Metode Analisa Komponen ; Lapis Permukaan = 7,5 cm ; Lapis Pondasi = 10 cm dan Lapis Pondasi Bawah = 20 cm sedangkan susunan tebal perkerasan untuk Metode Naasra Lapis Permukaan = 10,5 cm dan Lapis Pondasi = 39 cm.

Kata Kunci : Analisa Komponen, Naasra, Design Traffict, Indeks Tebal Perkerasan (ITP).

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan karuniaNYA yang dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi salah satu persyaratan dalam mencapai Gelar Sarjana Stara 1 pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (PKSM) Universitas Mercu Buana.

Penulis memilih untuk menyusun tugas akhir dalam bentuk studi kasus dengan judul **Perbandingan Antara Metode Analisa Komponen dengan Metode Naasra dalam Medesain Perkerasan Lentur Jalan Raya (Studi kasus : Ruas JalanAkses Spine Road III Bukit Sentul)**. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. Alizar Oemar, MT, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Ir. Mawardi Amin, MT, sebagai ketua jurusan Teknik Sipil Universitas Mercu Buana..
3. Orang Tua tercinta, saudara-saudara dan sahabat-sahabat tercinta.

Yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, pengarahan, dan memperoleh informasi serta yang telah banyak membantu untuk mendapatkan data-data yang diperlukan untuk melengkapi tugas akhir ini sehingga tugas akhir ini dapat terwujud. Semoga budi baik yang diberikan kepada penulis mendapat imbalan yang melimpah dari Tuhan Yang Maha Esa.

Akhir kata, tugas akhir yang tidak luput dari kekurangan ini, penulis persembahkan kepada siding pembaca dan semoga dapat ditarik manfaatnya.

Jakarta, 26 Agustus 2007

Penulis,

(Andryastomo)

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
LAMPIRAN SURAT	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	I-1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	I-2
1.3. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	I-2
1.4. Metodologi Pembahasan.....	I-3
1.5. Sistematika Pembahasan.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian Umum Perkerasan Jalan.....	II-7
2.1.1. Fungsi Hirarki Jalan.....	II-7
2.1.2. Klasifikasi Jalan.....	II-2
2.1.3. Syarat-syarat Berlalu-lintas.....	II-10
2.1.4. Syarat-syarat kekuatan Jalan.....	II-11
2.2. Konstruksi Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>).....	II-11
2.3. Komponen-komponen Struktur Perkerasan Lentur.....	II-14
2.3.1. Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>).....	II-15
2.3.2. Lapis Pondasi Atas (<i>Base Course</i>).....	II-17

	Halaman
2.3.3. Lapis Pondasi Bawah (<i>Sub Base Course</i>).....	II-17
2.3.4. Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>).....	II-18
2.4. Material Perkerasan.....	II-20
2.4.1. Material Berbutir.....	II-20
2.4.2. Aspal.....	II-20
2.5. Beberapa Metode Desain Perkerasan Lentur.....	II-23
2.5.1. Metode Analisa Komponen.....	II-23
2.5.2. Metode NAASRA (<i>National Association of Australian State Road Authorities</i>).....	II-29
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR KONSTRUKSI JALAN RAYA	
3.1. Data Proyek.....	III-31
3.2. Faktor-faktor Desain.....	III-31
3.2.1. Daya Dukung Tanah Dasar.....	III-32
3.2.2. Indeks Permukaan.....	III-32
3.2.3. Faktor Regional.....	III-33
3.2.4. Kualitas Bahan Perkerasan.....	III-34
3.2.5. Lalu Lintas Rencana.....	III-35
3.3. Prosedur Desain.....	III-36
3.3.1. Metode Analisa Komponen	III-36
3.3.2. Metode NAASRA (<i>National Association of Australian State Road Authorities</i>).....	III-38
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisis Perancangan.....	IV-40
4.2. Perancangan Dengan Metode Analisa Komponen	IV-42
4.2.1. Lalu Lintas Rencana.....	IV-42

4.2.2. Menentukan Angka Ekuivalen Masing-masing	
Kendaraan (E).....	IV-43
4.2.3. Mencari Daya Dukung Tanah Dasar.....	IV-44
4.2.4. Mencari Indeks Permukaan.....	IV-45
4.2.5. Mencari Harga Indeks Tebal Perkerasan (ITP).....	IV-45
4.2.6. Menentukan Tebal Lapisan Perkerasan.....	IV-47
4.3. Perancangan Dengan Metode NAASRA (<i>National Association of Australian State Road Authorities</i>).....	IV-48
4.3.1. <i>Design Traffic (DT)</i>	IV-48
4.3.2. Susunan Lapisan Perkerasan Umur Rencana 20 Tahun...	IV-51
4.4. Pembahasan.....	IV-51
4.4.1. Perbedaan Metode Yang Digunakan.....	IV-51
4.4.2. Perbedaan Hasil Tebal Lapis Perkerasan.....	IV-52

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	V-54
5.2. Saran.....	V-55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN - LAMPIRAN

Daftar Gambar

- Gambar 1.1. Kerangka Pemikiran
- Gambar 2.1. Tegangan Vertikal Akibat Beban Titik
- Gambar 2.2. Tegangan-tegangan Akibat Beban Berbentuk Lingkaran
- Gambar 2.3. Lendutan Akibat Muatan Kontak Berbentuk Lingkaran
- Gambar 2.4. Susunan Lapisan Perkerasan Lentur
- Gambar 2.5. Penyebaran Beban Pada Lapisan Perkerasan
- Gambar 2.6. Bagan Alir Metode Bina Marga 1987
- Gambar 2.7. Bagan Alir Metode NAASRA (*National Association of Australian State Road Authorities*)
- Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara DDT dengan CBR
- Gambar 4.2. Nomogram Indeks Tebal Perkerasan, $I_{pt} = 2,5 I_{po} \geq 4$
- Gambar 4.3. Susunan Tebal Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 1987
- Gambar 4.4. Susunan Tebal Perkerasan Berdasarkan Metode NAASRA

Daftar Tabel

Tabel 2.1. Bahan Lapis Permukaan

Tabel 3.1. Perbedaan Karakteristik Metode Bina Marga dan NAASRA

Tabel 4.1. Perbandingan Susunan Tebal Perkerasan Hasil Analisis dan Hasil Hitungan
Konsultan

Daftar Lampiran

- **BINA MARGA**

Tabel L.1.	Klasifikasi Tanah Dasar
Tabel L.2.	Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IPt)
Tabel L.3.	Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)
Tabel L.4.	Faktor Regional (FR)
Tabel L.5.	Koefisien Kekuatan Relatif (a)
Tabel L.6.	Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan
Tabel L.7.	Koefisien Distribusi Kendaraan (c)
Tabel L.8.	Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan
Tabel L.9.	Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan Lapis Permukaan
Tabel L.10.	Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Lapis Pondasi
Gambar L.1.	Grafik Hubungan antara DDT dengan CBR
Gambar L.2.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 2,5 Ipo = ≥ 4
Gambar L.3.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 2,5 Ipo = 3,9-3,5
Gambar L.4.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 2 Ipo = ≥ 4
Gambar L.5.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 2 Ipo = 3,9-3,5
Gambar L.6.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 1,5 Ipo = 3,9-3,5
Gambar L.7.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 1,5 Ipo = 3,4-3,0
Gambar L.8.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 1,5 Ipo = 2,9-2,5
Gambar L.9.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 1 Ipo = 2,9-2,5
Gambar L.10.	Nomogram Indeks Tebal Perkerasan untuk Ipt = 2,5 Ipo = $\leq 2,4$

- **NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities)**

- Tabel L.1. Faktor Penyesuaian Dengan Umur Rencana dan Perkembangan
Lalu - Lintas
- Gambar L.1. Grafik Penentuan Tebal Lapisan Pondasi
- Gambar L.2. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.3. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.4. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.5. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.6. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.7. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.8. Grafik Penentuan Lapisan Permukaan (Aspal)
- Gambar L.9. Tabel Values of Terminal Roughness
- Gambar L.10. Grafik Modified Design Traffic VS Design Traffic and Ratio Final/
Initial Roughness

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Keberadaan jalan raya sangat dibutuhkan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi seiring dengan meningkatnya kebutuhan sarana transportasi, sebagai konsekuensi, terdapat kenaikan pemakai jalan. Untuk itu dirasakan perlu peningkatan kemampuan jalan raya, terutama pada efektivitas dan efisiensi system jaringan jalan. Dengan meningkatnya jumlah penduduk, kemajuan budaya dan teknologi, menyebabkan makin besarnya lalu-lintas dalam kota. Masalah yang dihadapi bukan hanya masalah kekurangan lahan serta masalah sosial dan segala bentuknya tetapi juga masalah transportasi. Untuk mewujudkan tata kehidupan kota yang mendekati ideal, dituntut suatu perencanaan kota yang menyeluruh, termasuk diantaranya perencanaan transportasi. Dengan kata lain perencanaan kota tidak lepas dari perencanaan transportasi.

Membuat suatu perencanaan transportasi, haruslah diketahui terlebih dahulu bagaimana perilaku transportasi tersebut. Perilaku transportasi akan selalu berubah-ubah, tergantung pada penggunaan jalan. Oleh karena itu didalam tata guna lahan haruslah diperhitungkan tingkat kenyamanan lokasi suatu lahan dalam kaitannya dengan lahan lain bagaimana tingkat kemudahan untuk mencapai lahan tersebut melalui sarana transportasi yang ada.

Pembangunan jalan akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor, merupakan pembangunan jalan akses atau penghubung dari kawasan perumahan bukit sentul menuju ciawi. Dalam pelaksanaan pekerjaan lapis perkerasan lentur dan untuk menentukan susunan tebal perkerasannya perlu dianalisa dengan baik dan teliti agar tidak terjadi over desain, sehingga pemborosan biaya konstruksi dapat dihindari.

1.2. Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan perbandingan antara Metode Analisa Komponen dengan NAASRA (*National Association of Australian State Road Authorities*) dalam mendesain perkerasan lentur jalan raya.

Sedangkan tujuan dari penulisan tugas akhir tersebut adalah :

1. Menguraikan prosedur desain konstruksi perkerasan lentur jalan raya menurut metode Analisa Komponen maupun metode NAASRA sehingga dapat mengetahui prinsip-prinsip yang digunakan oleh kedua metode tersebut dalam mendesain konstruksi perkerasan lentur jalan raya.
2. Membandingkan hasil-hasil yang diperoleh dari kedua metode desain tersebut.

1.3. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini, ruang lingkup yang dibahas dibatasi hanya mengenai perbandingan antara metode Analisa Komponen dan metode NAASRA (

National Association of Australian State Road Authorities) dalam mendesain perkerasan lentur jalan raya, yang ditinjau dari segi teknis saja dan tidak dari segi ekonomis dan penulis mengambil studi kasus pada pembangunan jalan akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor.

1.4. Metodologi Pembahasan

Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data.

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu :

a. Library Research atau Penelitian Kepustakaan

Yaitu metode pengumpulan data dari literatur-literatur sebagai bahan acuan sekaligus bahan masukkan yang berhubungan dengan masalah yang di angkat.

b. Field Research atau Penelitian Lapangan

Yaitu metode pengumpulan data dengan melakukan penyelidikan langsung dilapangan dan wawancara.

2. Studi Kasus

Yaitu pengamatan berupa mengambil data lapangan antara lain ; CBR (California Bearing Ratio), FR (Faktor Regional), LHR (Lalu-lintas Harian Rata-rata) dll, yang dilakukan pada pembangunan jalan akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor.

1.5. Sistematika Pembahasan

Adapun sistematika pembahasan tugas akhir ini sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Pada bab ini mengenai latar belakang, maksud dan tujuan, ruang lingkup atau batasan masalah, metodologi pembahasan serta sistematika pembahasan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dibahas pengertian umum tentang jalan dan konstruksi perkerasan lentur jalan raya.

BAB III : Metodologi Pembahasan

Pada bab ini dibahas pengertian umum tentang jalan, klasifikasi jalan, kelas jalan dan konstruksi perkerasan lentur jalan raya. Pada pembangunan jalan akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor direncanakan untuk klasifikasi jalan kelas III C.

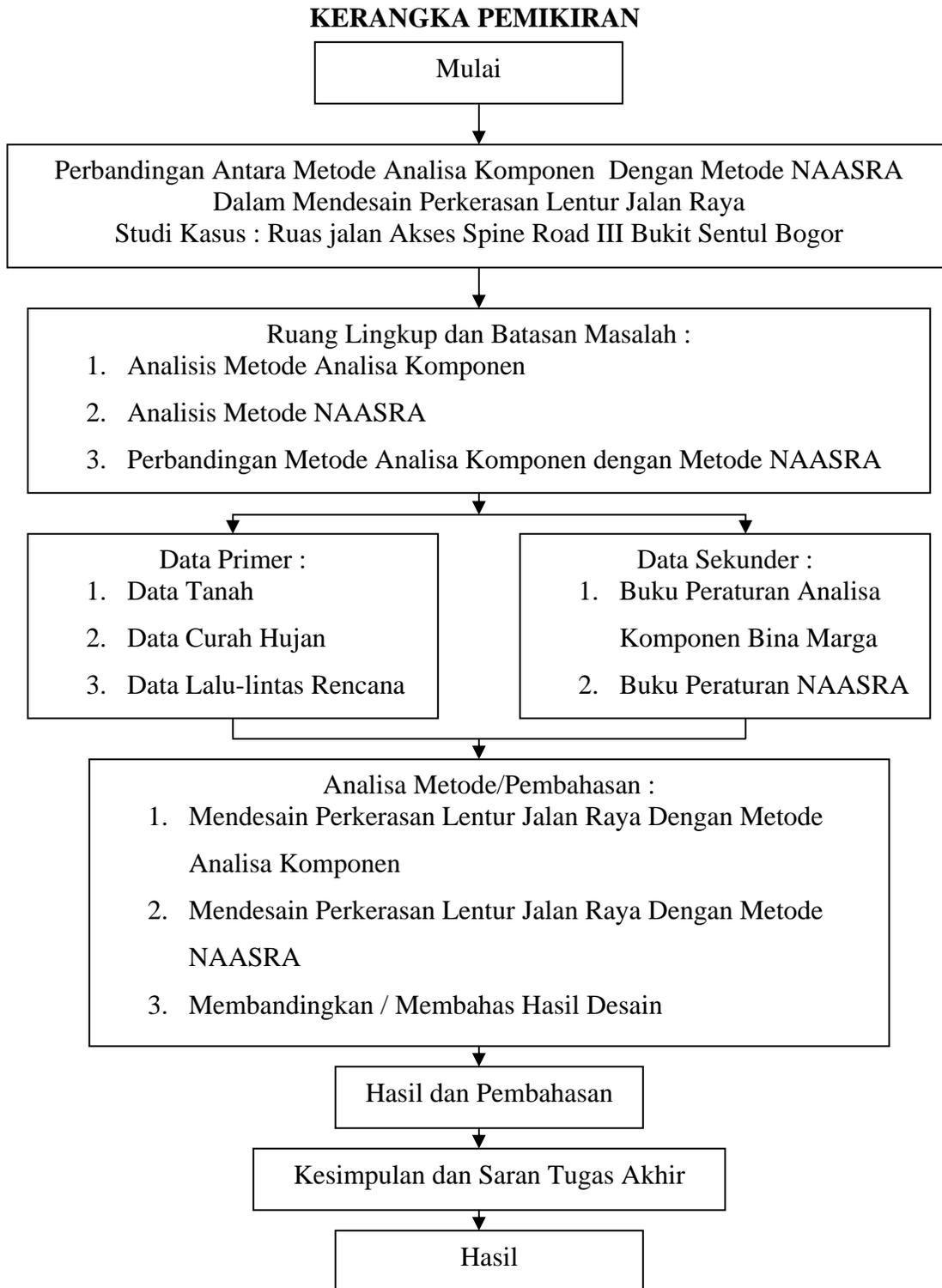
BAB IV : Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini dilakukan analisis data baik yang diperoleh dari hasil pengamatan dilapangan maupun data dari instansi yang terkait dalam pembangunan jalan tersebut. Setelah dianalisis kemudian dilakukan pembahasan dari hasil analisis tersebut.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil analisis dan pembahasan serta akan mencoba memberikan saran

sebagai masukan yang terkait proyek pembangunan jalan akses Spine Road III Bukti Sentul Bogor.



Gambar 1.1. Diagram Alir Tugas Akhir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Umum

Pada umumnya jalan diartikan sebagai jalur tanah yang telah diperbaiki dan diperkuat sehingga dapat dilalui oleh lalu lintas, baik orang maupun kendaraan. Jalan dibuat untuk mempermudah hubungan dari suatu daerah ke daerah lain.

Jalan harus memenuhi fungsinya dalam memberikan pelayanan terhadap pemakai jalan. Oleh karena itu, jalan diberi lapis perkerasan yang dibuat dari material yang lebih baik dari pada bahan tanah dasar dibawahnya. Adapun fungsi utama dari struktur perkerasan jalan adalah untuk menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa sehingga beban tersebut ditambah berat perkerasan itu sendiri dapat ditahan oleh tanah dasar, dalam batas-batas daya dukungnya segala cuaca sepanjang masa pelayanannya.

2.1.1. Fungsi dan Hirarki Jalan.

Jaringan jalan merupakan suatu himpunan ruas-ruas jalan yang bertemu pada simpul atau persimpangan, jalan terbentuk mengikuti ruang kegiatan. Jalan memiliki dua fungsi dasar yang saling bertentangan, karena di satu pihak harus lancar dan dilain pihak harus memberikan kemudahan untuk penetrasi kedalam lahan yaitu untuk menggerakkan volume lalu-lintas yang tinggi secara efisien dan aman. Untuk menyediakan akses bagi lahan sekitarnya. Kecepatan yang sedang sampai tinggi dibutuhkan untuk menggerakkan volume kendaraan yang besar. Hal yang sama

pentingnya adalah kelancaran, tidak terganggu dan kecepatan arus yang konstan. Jika jalan memiliki akses yang tinggi, maka akan banyak kendaraan yang memperlambat kecepatannya dan membelok keluar dari jalan, sedangkan kendaraan yang lain memasuki jalan pada kecepatan yang rendah sebelum mengadakan percepatan. Akses juga dapat diartikan sebagai kendaraan pribadi yang ingin parkir, kendaraan barang yang berhenti untuk menaikkan dan menurunkan muatan, dan bis yang menaikkan dan menurunkan penumpang. Hal yang menyebabkan gangguan pada kelancaran arus lalu-lintas, pengurangan kecepatan, volume dan kapasitas. Akses yang tinggi dan kecepatan kendaraan yang tinggi merupakan hal yang saling bertentangan. Jalan harus digunakan hanya untuk salah satu dari fungsi tersebut tetapi bukan untuk kedua-duanya.

2.1.2. Klasifikasi Jalan.

Klasifikasi jalan yang paling sederhana adalah dengan membaginya menjadi jalan utama (kecepatan dan volumenya tinggi) dan jalan minor (akses tinggi). Klasifikasi jalan menurut Undang-undang No. 13 tahun 1980 jalan dikelompokkan menjadi :

1. Jalan Arteri

Adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

2. Jalan Kolektor.

Adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan atau pembagian dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

3. Jalan Lokal.

Adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

Klasifikasi jalan menurut Peraturan Pemerintah No. 43 tahun 1993 tentang prasarana dan lalu-lintas jalan adalah sebagai berikut :

1. Jalan Kelas I, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi 18 meter dan muatan sumbu terberat yang dapat diijinkan lebih besar dari 10 ton.
2. Jalan Kelas II, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi dari 18 meter dan muatan sumbu terberat diijinkan 10 ton.
3. Jalan Kelas III A, yaitu jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi dari 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi dari 18 meter, dan muatan sumbu terberat yang diijinkan 8 ton.
4. Jalan Kelas III B, yaitu jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi dari 2,1 meter, ukuran

panjang tidak melebihi dari 9 meter, dan muatan sumbu terberat yang diijinkan 8 ton.

5. Jalan Kelas III C, yaitu jalan lokal yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi dari 2,1 meter, ukuran panjang tidak melebihi dari 9 meter dan muatan sumbu terberat yang diijinkan 8 ton.

Berdasarkan administrasi pembinaan jalan, maka dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

- a. Jalan Negara atau Nasional yaitu jalan yang dibina oleh Pemerintah Pusat.
- b. Jalan Propinsi yaitu Jalan yang dibina oleh Pemerintah Daerah Tingkat I.
- c. Jalan Kabupaten atau Kotamadya yaitu jalan yang dibina oleh Pemeritah Daerah Tingkat II.

Pada pembangunan jalan akses Spine Road III Bukit Sentul diencanakan untuk klasifikasi jalan kelas III C.

2.1.3. Syarat-syarat Berlalu-Lintas

Perkerasan lentur harus memenuhi syarat-syarat tertentu agar jalan tersebut dapat berfungsi dengan baik. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas adalah sebagai berikut :

- a. Permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.

- b. Permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya.
- c. Permukaan cukup kasar, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga tidak mudah selip.
- d. Permukaan tidak mengkilap, tidak silau, jika terkena sinar matahari.

2.1.4. Syarat-syarat Kekuatan Jalan

Perkerasan jalan dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, haruslah memenuhi syarat-syarat :

- a. Ketebalan yang cukup, sehingga mampu menyebarkan beban atau muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah untuk meresap ke lapisan bawahnya.
- c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja, tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

2.2. Konstruksi Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Yang dimaksud dengan perkerasan lentur menurut Teori Burmister, adalah suatu susunan konstruksi perkerasan yang terdiri dari dua lapisan, yaitu :

- Lapis permukaan yang relatif tipis atau lapisan pertama.
- Lapis pondasi dan lapis pondasi bawah yang seluruhnya terletak diatas tanah dasar yang dipadatkan atau lapisan pertama.

Syarat batas dan syarat kontinuitas dari kedua lapisan tersebut adalah bahwa lapisan atas yang merupakan lapisan perkerasan tersebut adalah homogen, serta mempunyai ukuran yang tidak terbatas dalam arah horizontal tapi dengan tebal terbatas. Sedangkan lapisan bawah yang merupakan tanah dasar adalah dari bahan yang juga homogen tetapi dengan ukuran yang tidak terbatas baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Kecuali hal tersebut syarat batas dan kontinuitas tersebut juga mengharuskan adanya kelangsungan hubungan antara kedua lapisan, dan tidak terpengaruhnya lapisan atas terhadap geseran dan tegangan-tegangan normal dari daerah-daerah diluar daerah pembebanan.

Kekuatan dari perkerasan lentur ini, terutama tergantung dari tebal masing-masing, serta daya dukung dari tanah dasarnya. Jika tanah dasar mempunyai kualitas material yang baik, maka tanah dasar dapat berfungsi sebagai lapis pondasi bawah.

Umumnya beban lalu lintas yang bekerja diatas konstruksi perkerasan dapat dibedakan atas ;

- a. Muatan kendaraan berupa gaya vertikal
- b. Gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal
- c. Pukulan roda kendaraan berupa getaran-getaran

Karena sifat penyebaran gaya, maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis perkerasan yang terdiri dari lapis pondasi dan lapis pondasi bawah, menerima gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat-syarat yang harus dipenuhi. Oleh masing-masing lapisan.

Pada perkerasan lentur, tegangan lentur yang terjadi akibat beban lalu lintas didistribusikan melalui lapis-lapis perkerasan sampai tanah dasar, dengan kata lain yaitu menyebarkan beban lalu lintas kebawah, sehingga yang diterima tanah dasar menjadi lebih kecil.

Desain dan pelaksanaan konstruksi perkerasan lentur jalan harus mencakup :

1. Desain dan Tebal Masing-masing Lapisan Perkerasan.

Dengan memperhatikan daya dukung tanah dasar, beban lalu lintas yang akan dipikul, keadaan lingkungan, jenis lapisan yang dipilih, dapat ditentukan tebal masing-masing berdasarkan beberapa metoda yang ada.

2. Analisis Campuran Bahan

Dengan memperhatikan mutu dan jumlah bahan setempat yang tersedia desain suatu susunan campuran tertentu sehingga memenuhi spesifikasi dari jenis lapisan yang dipilih.

3. Pengawasan Pelaksanaan Pekerjaan

Desain tebal perkerasan yang baik, susunan campuran yang memenuhi syarat belumlah dapat menjamin dihasilkannya lapisan perkerasan yang memenuhi apa

yang diinginkan, jika tidak dilakukan pengawasan pelaksanaan yang cermat, mulai dari tahap penyiapan lokasi dan material sampai tahap pencampuran atau penghamparan dan akhirnya pada tahap pemadatan dan pemeliharaan.

Di samping hal-hal yang telah disebutkan di atas, maka tidak dapat dilupakan pula system pemeliharaan yang terencana dan tepat selama umur pelayanan, termasuk didalamnya system drainase jalan tersebut.

Hampir 90 % jalan-jalan di Indonesia menggunakan jenis perkerasan ini, karena jenis perkerasan ini menggunakan biaya yang murah dibandingkan dengan perkerasan rigid. Secara umum jenis perkerasan ini menganut system “ *Multy Layer Elastic Sistem* “ (MLES), dimana tiap lapisan mempunyai kriteria tersendiri, seperti:

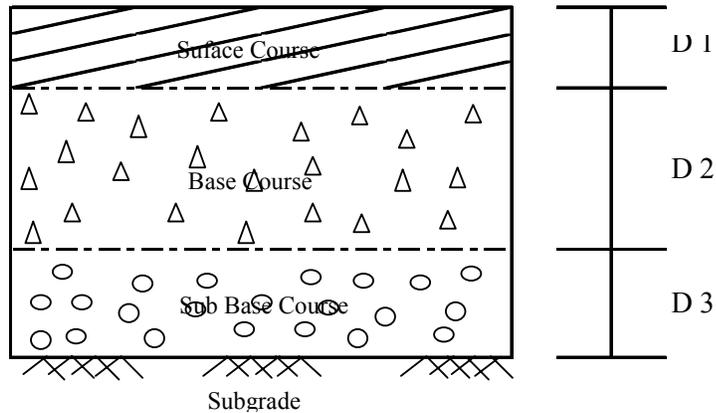
- Setiap lapisan mempunyai ketebalan tertentu
- Setiap lapisan mempunyai sifat yang homogen
- Setiap lapisan mempunyai sifat isotropic

2.3. Komponen – Komponen Struktur Perkerasan Lentur

Konstruksi terdiri dari :

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)
2. Lapis Pondasi (*Base Course*)
3. Lapis Pondasi Bawah (*Sub-base Course*)
4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4. Susunan lapisan perkerasan lentur

2.3.1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan jalan adalah bagian perkerasan jalan yang langsung menerima beban roda kendaraan. Bahan serta kualitas lapis ini disesuaikan dengan kelas jalan yang direncanakan. Untuk jalan sederhana, permukaan jalannya dibuat dari tanah ataupun batu dengan kerikil, tetapi untuk jalan-jalan dengan pembebanan yang besar atau volume lalu lintasnya tinggi, maka lapis permukaan yang biasa digunakan adalah lapisan aspal beton. Yaitu suatu campuran antara aspal dengan agregat *filler* untuk mendapatkan suatu lapis tahan terhadap pembebanan, deformasi permanen dan kerusakan akibat temperatur.

Diantara lapis-lapis permukaan, maka lapis permukaan yang mendapat pembebanan paling besar dari pengaruh beban lalu lintas. Adapun fungsi dari lapis permukaan antara lain :

1. Sebagai lapis aus perkerasan untuk memperkecil pengikisan, baik oleh beban maupun pengaruh-pengaruh luar lainnya.

2. Sebagai lapis penutup yang harus kedap air agar tidak mudah meresap ke lapisan-lapisan dibawahnya.
3. Sebagai lapisan yang menyediakan keamanan dan kenyamanan bagi kendaraan, selain itu juga harus mempunyai *Skin Resistance* agar jalan tidak terlalu licin.

Guna dapat memenuhi fungsi tersebut diatas, maka bahan-bahan untuk lapis permukaan umumnya menggunakan agregat yang mutunya baik, serta bahan pengikat aspal supaya dapat menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan yang lama.

Dari standar perencanaan geometrik jalan ketentuan mengenai bahan lapis permukaan sebagai berikut :

Tabel 2.1. Bahan Lapis Permukaan

Kelas jalan	Lapisan Permukaan Jalan
I	Aspal beton (<i>hot mix</i>)
II A	Aspal beton
II B	Penetrasi berganda
II C	Penetrasi tunggal
III	Pelaburan dengan aspal

Sumber : Bina Marga, 1987

2.3.2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah. Adapun fungsi dari lapisan pondasi atas, antara lain :

1. Sebagai atas dari lapis permukaan.
2. Sebagai bagian dari lapis perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban lalu lintas yang lewat diatas lapis permukaan.
3. Sebagai lapis penyalur untuk pondasi bawah.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus kuat serta awet, sehingga dapat menahan gaya lintang dari beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk pondasi, hendaknya dilakukan cukup penyelidikan dan perimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknis. Beraneka bahan alam atau bahan setempat dapat digunakan sebagai lapis pondasi antara lain : batu pecah, kerikil, pasir, serta stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

2.3.3. Lapis Pondasi Bawah (*Sub-base Course*)

Lapis pondasi bawah adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Lapis pondasi bawah terdiri dari material-material yang kualitasnya lebih rendah dari lapis pondasi atas. Adapun fungsi dari lapisan pondasi bawah ini, antara lain :

1. Sebagai lantai kerja bagi alat-alat berat.
2. Untuk mencegah atau meminimalkan akibat dari perubahan volume tanah dasar.

3. Mencegah *pumping* (pemompaan), yaitu tekanan oleh air dan tanah dasar pada daerah-daerah sambungan dan retakan akibat gerakan vertikal slab karena beban lalu lintas.
4. Efisiensi penggunaan material pondasi bawah relatif lebih murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya (pondasi atas).
5. Sebagai lapis peresapan, agar air tidak berkumpul dipondasi bawah.
Material yang digunakan untuk lapis pondasi bawah, antara lain : pasir batu (sirtu), serta agregat dan tanah dasar yang distabilisasi dengan semen dan kapur.

2.3.4. Tanah dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah asli, permukaan galian atau timbunan yang merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya . lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan (jika tanah aslinya baik), tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan yang diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan drainase yang memenuhi syarat. Ditinjau dari tanah yang ada, maka tanah dasar dibedakan atas:

- a. Tanah dasar, berupa tanah galian (*Cut*)
- b. Tanah dasar, berupa tanah timbunan (*fill*)
- c. Tanah dasar, berupa tanah asli

Sebelum diletakkan lapisan-lapisan lainnya, tanah dasar dipadatkan terlebih dahulu sehingga tercapai kestabilan yang tinggi terhadap volume.

Penyelidikan terhadap tanah dasar meliputi:

1. penyelidikan tanah untuk menentukan susunan lapisan dan sifat tanah dasar.
2. pengujian contoh tanah dilapangan.
3. pengujian contoh tanah dasar untuk mendapatkan sifatnya stabilitas dan daya dukung.
4. pengujian terhadap bahan material untuk struktur konstruksi perkerasaan.

Masalah-masalah yang sering ditemui pada tanah dasar, adalah:

Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas. Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan jalan tersebut rusak, oleh sebab itu lapisan-lapisan tanah lunak yang terdapat dibawah tanah dasa harus diperhatikan.

1. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
2. Daya dukung tanah dasar yang tidak merata , pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda.
3. Daya dukung yang tidak merata akibat pelaksanaan yang kurang baik. Perbedaan penurunan (*differential settlement*) akibat terdapatnya lapisan-lapisan tanah lunak dibawah tanah dasar, yang akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap.

4. Kondisi geologis dari lokasi jalan perlu dipelajari dengan teliti, jika ada kemungkinan lokasi jalan berada ada daerah patahan, dan lain-lain.

2.4. Meterial Perkerasan

2.4.1 Material Berbutir

Material berbutir terdiri atas agregat/kerikil atau batu pecah yang mempunyai gradasi yang dapat menghasilkan kestabilan secara mekanis dan dapat dibedakan. Agregat terdiri dari tiga kelompok berdasarkan mutu, yaitu kelas A, kelas B, kelas C dibedakan dari gradasi dan sifat materialnya.

2.4.2 Aspal

Aspal adalah material utama pada kontruksi lapis perkerasan lentur (fleksibel pavement) jalan raya yang berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat , memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga yang ada antara butir-butir agregat dan pori-pori dari agregat itu sendiri.

Aspal juga merupakan bahan plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat. Selain itu juga aspal sangat tahan terhadap asam, alkali dan

garam-garam. Pada suhu atmosfer, aspal akan berubah menjadi padat atau semi padat, tetapi mudah dicairkan jika dipanaskan atau dilakukan pencampuran dengan pengencer petroleum dalam berbagai kekentalan atau dengan membuat emulsi bahan alam yang terkandung dalam hampir semua minyak bumi yang diperoleh dari hasil penyulingan.

Definisi aspal adalah campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral. Sedangkan bitumen adalah bahan yang berwarna coklat hingga hitam, berbentuk keras hingga cair mempunyai sifat lekat yang baik, tidak larut dalam air. Kombinasi bitumen dan agregat yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan selagi panas untuk membuat lapisan perkerasan. Kekakuan/kekuatan aspal diperoleh dari gesekan antara partikel agregat, viskositas bitumen pada saat pelaksanaan dan kohesi dalam massa dari bitumen dan adhesi antara bitumen dengan agregat.

Kegagalan lapisan perkerasan aspal yang paling umum adalah deformasi akibat stabilitas yang kurang dan retak akibat kelelahan. Pertimbangan–pertimbangan utama dalam pelaksanaan perkerasan aspal adalah tingkat pemadatan, keseragaman, campuran aspal dan penghampirannya.

Tingkat pemadatan berdampak sebagai berikut:

- Akan menentukan stabilitas dan kekakuan campuran selama masa pelayanan.
- Akan menentukan kadar rongga udara dalam campuran.

Walaupun pada kenyataannya bitumen memberikan sifat elastis pada campuran, pada suhu pelaksanaan dan tingkat serta besar beban yang akan terjadi pada perkerasan normal, aspal dapat diperlakukan sebagai bahan padat yang elastis.

Aspal juga harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

a. Daya Tahan (durability) Terhadap Cuaca

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat aslinya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan.

b. Adhesi dan Kohesi Yang Baik

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat, sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat untuk tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan.

c. Kepekaan Terhadap Temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental, jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair, jika temperatur bertambah. sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur.

2.5. Metode Desain Perkerasan Lentur

Dua metode desain yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, yakni:

1. Metode “ Analisa Komponen” Indonesia, yang merupakan modifikasi dari metode AASHTO, 1972. Ini dilakukan untuk penyesuaian dengan kondisi alam, lingkungan , sifat tanah dasar dan jenis lapis perkerasan yang umum digunakan di Indonesia.
2. Metode “NAASRA” (*National Association of Australian State Road Authorities*)

Metode Analisa Komponen.

Desain tebal perkerasan lentur dengan Metode Analisa Komponen merupakan modifikasi dari metode AASTHO 1972. Modifikasi ini dilakukan untuk penyesuaian kondisi di Indonesia. Tebal perkerasan lentur ditentukan oleh beberapa parameter yang sama dengan metode AASTHO 1972, dimana digunakan nomogram yang telah disesuaikan oleh Bina Marga untuk kondisi di Indonesia.

Perhitungan desain tebal perkerasan didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing lapisan perkerasan jangka panjang, dengan penentuan tebal perkerasan dinyatakan oleh ITP, dengan rumus sebagai berikut:

$$ITP_3 = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$ITP_2 = a_1 D_1 + a_2 D_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$ITP_1 = a_1 D_1 \dots\dots\dots(2.12)$$

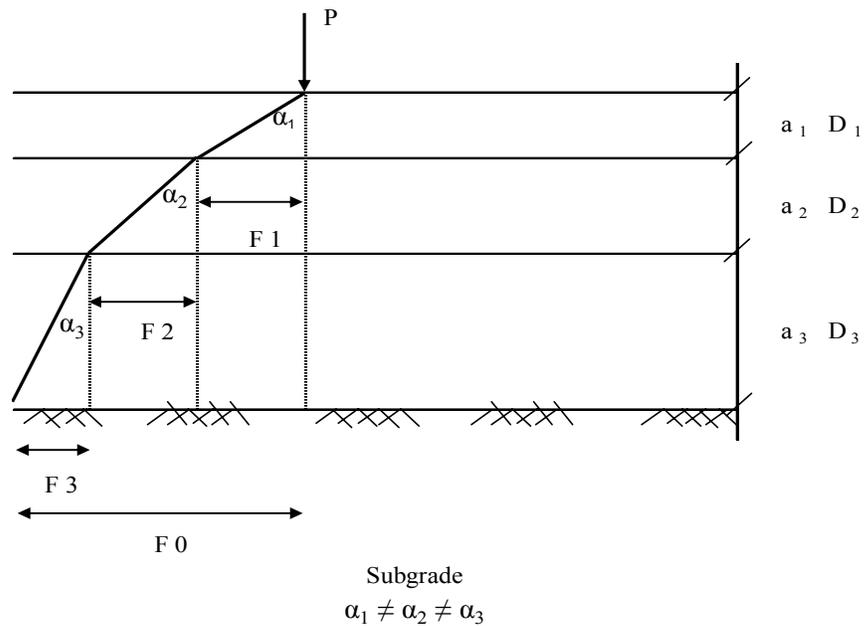
Dimana:

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif perkerasan

D_1, D_2, D_3 = Ketebalan masing-masing dari lapis perkerasan (cm)

Angka 1, 2, dan 3 menyatakan masing-masing lapis perkerasan, yaitu: lapis permukaan, pondasi atas dan pondasi bawah.

Penggunaan nomogram dalam menentukan ITP dengan terlebih dahulu diketahui nilai daya dukung tanah dasar (DDT), lintas ekuivalen rencana (LER), faktor regional (FR) dan indeks permukaan (IP). Kemudian ITP diperoleh melalui petunjuk yang sudah ada pada setiap nomogram.



Gambar 2.5. Penyebaran Beban Lapisan Perkerasan

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{F_1}{D_1} \longrightarrow F_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot D_1$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{F_2}{D_2} \longrightarrow F_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot D_2$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{F_3}{D_3} \longrightarrow F_3 = \operatorname{tg} \alpha_3 \cdot D_3$$

$$F_1 + F_2 + F_3 = F_0$$

$$F_0 = \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot D_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot D_2 + \operatorname{tg} \alpha_3 \cdot D_3$$

Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan merupakan fungsi dari

$$\text{sudut penyebaran gaya atau } \alpha \{ a \approx f(\alpha) \} \longrightarrow a_1 = f(\alpha_1)$$

$$F_0 = \alpha_1 \cdot D_1 + \alpha_2 \cdot D_2 + \alpha_3 \cdot D_3$$

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$\text{ITP} \approx \text{Tinggi Equivalent}$$

Dimana : ITP = Indeks Tebal Perkerasan

D_1, D_2, D_3 = Ketebalan masing-masing dari lapis
Perkerasan (cm)

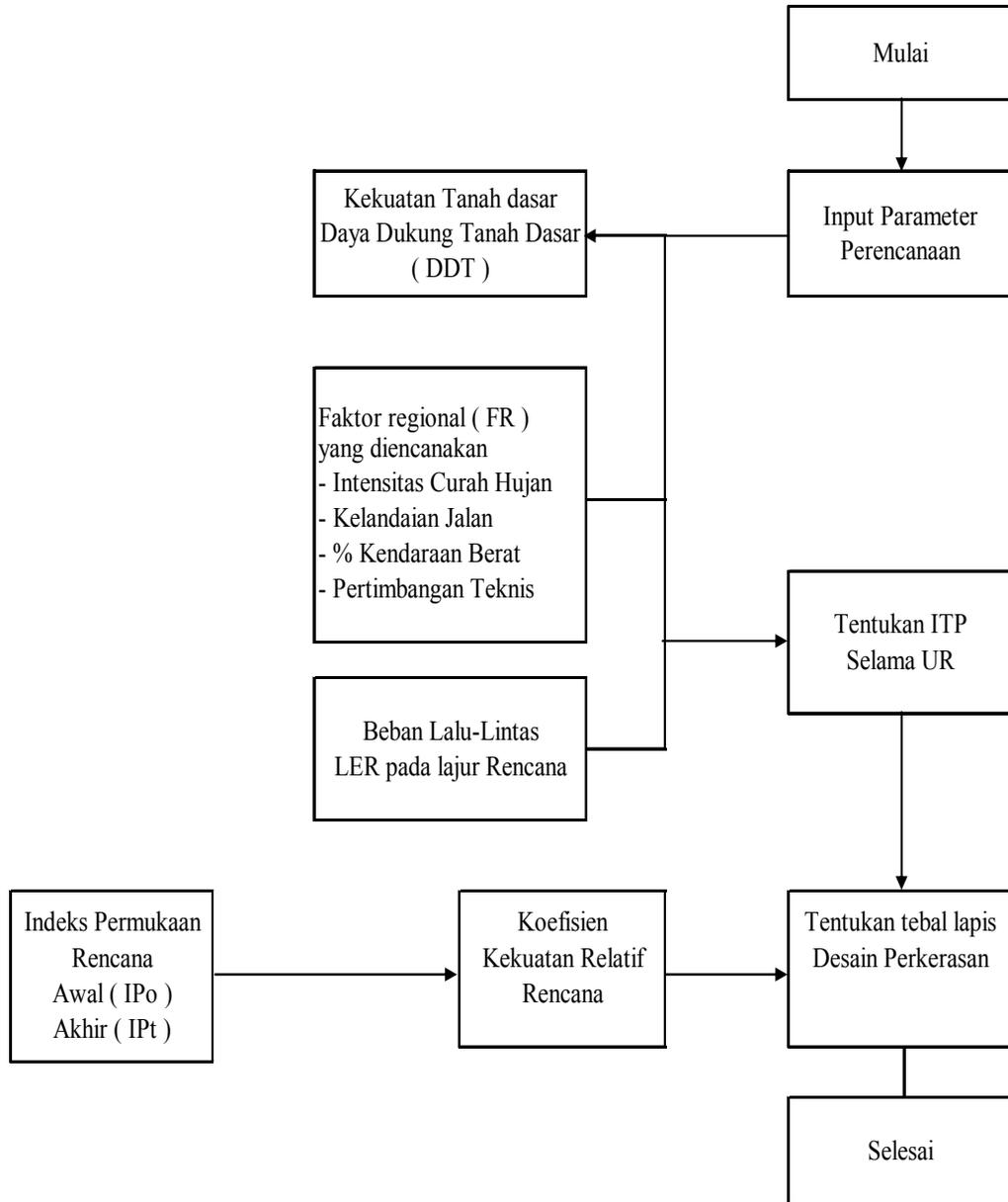
F_0 = Tinggi equivalent

Dalam merencanakan desain tebal perkerasan lentur jalan raya dengan meted Analisa

Komponen terdapat tiga macam yaitu :

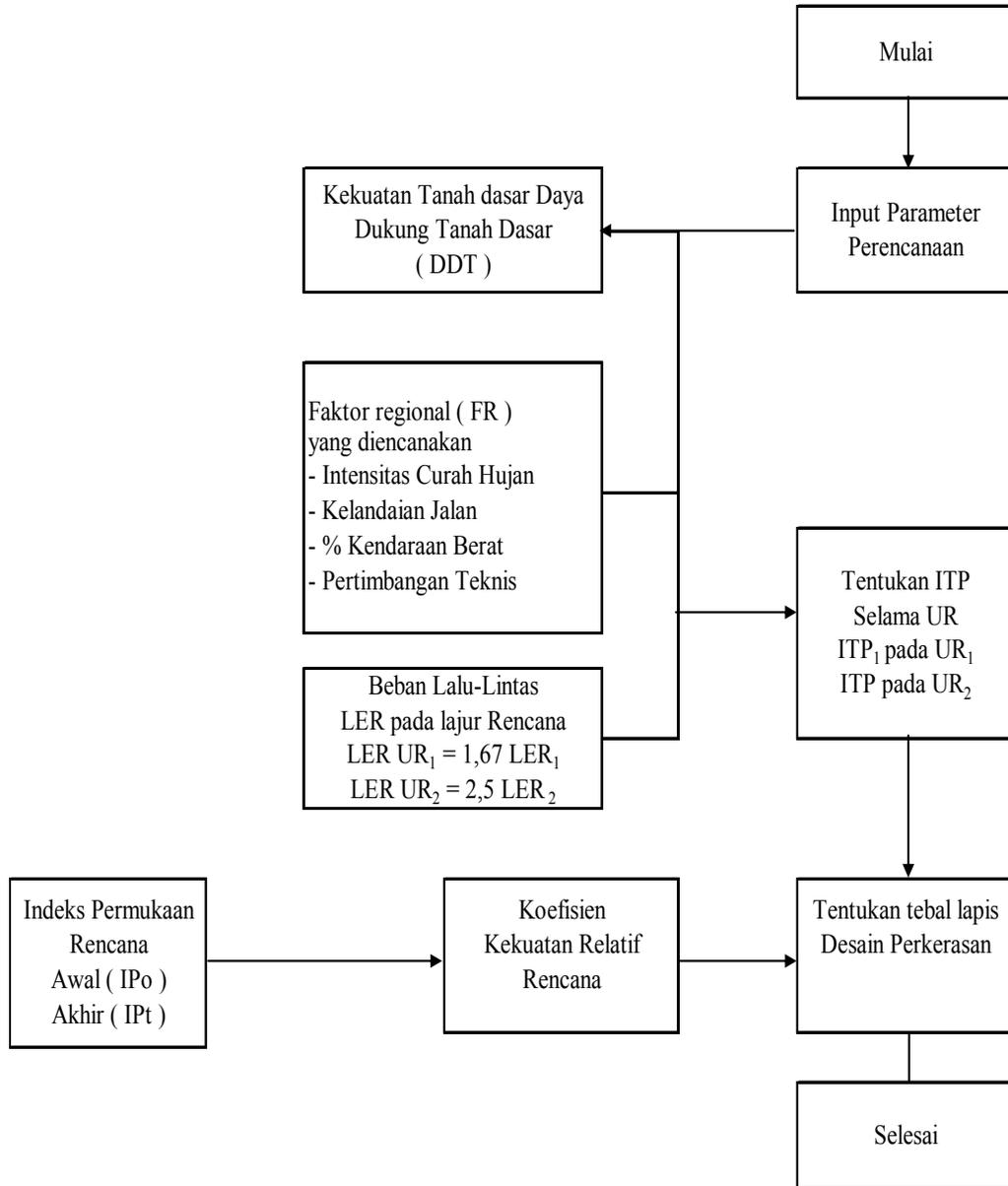
1. Perencanaan Jalan Baru
2. Perencanaan Jalan bertahap
3. Perencanaan Jalan dengan lapis tambahan (Overlay)

Prosedur Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Baru



Gambar 2.6. Bagan Alir Perencanaan Jalan Baru

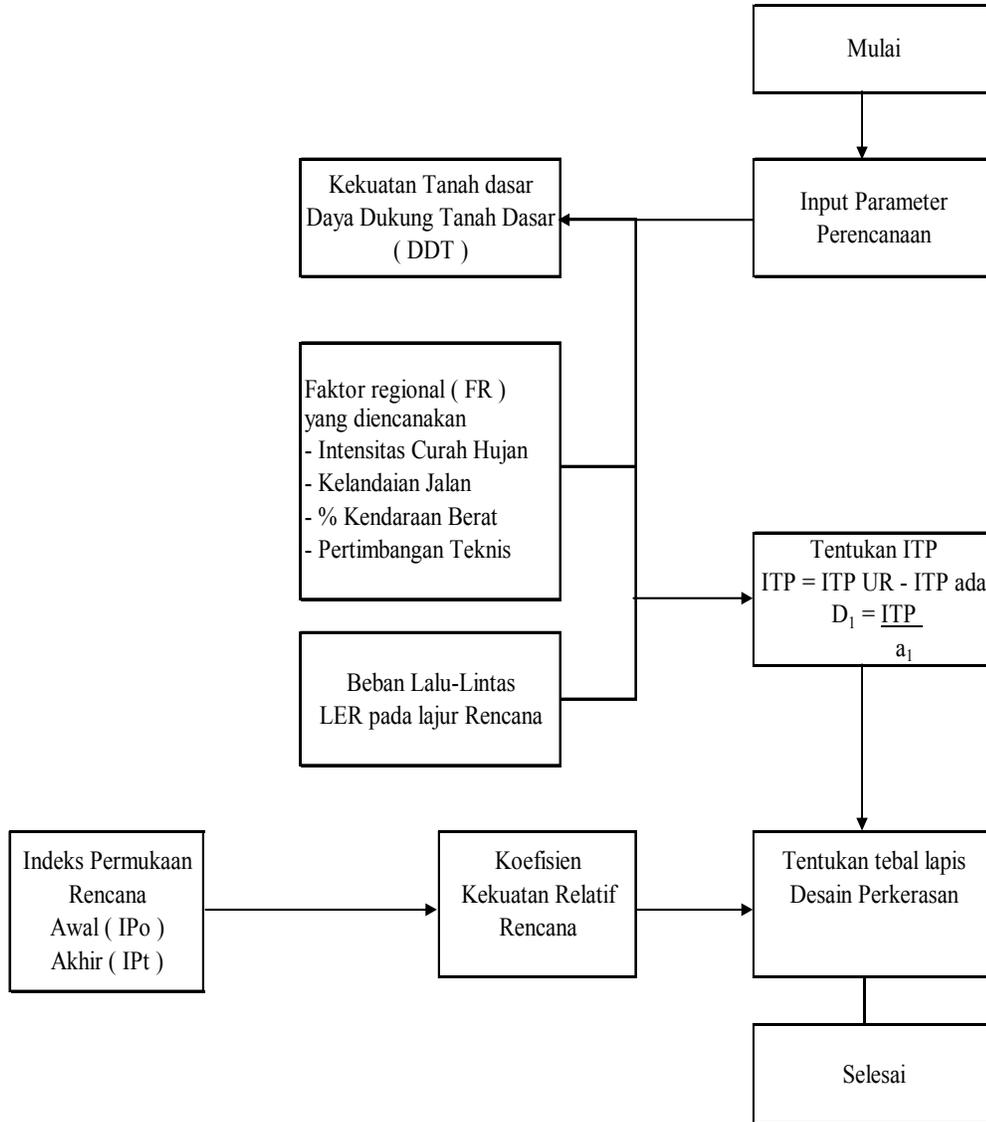
Prosedur Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Bertahap



Catt : tahap 1 = ITP UR1
tahap 2 = ITP UR2

Gambar 2.7 Bagan Alir Perencanaan Jalan Bertahap

Prosedur Perencanaan Jalan Dengan Lapis Tambahan (Overlay)



Catt : D1 adalah Tebal Lapisan Tambahan

Gambar 2.8 Bagan Alir Perencanaan Jalan Overlay

Metode NAASRA

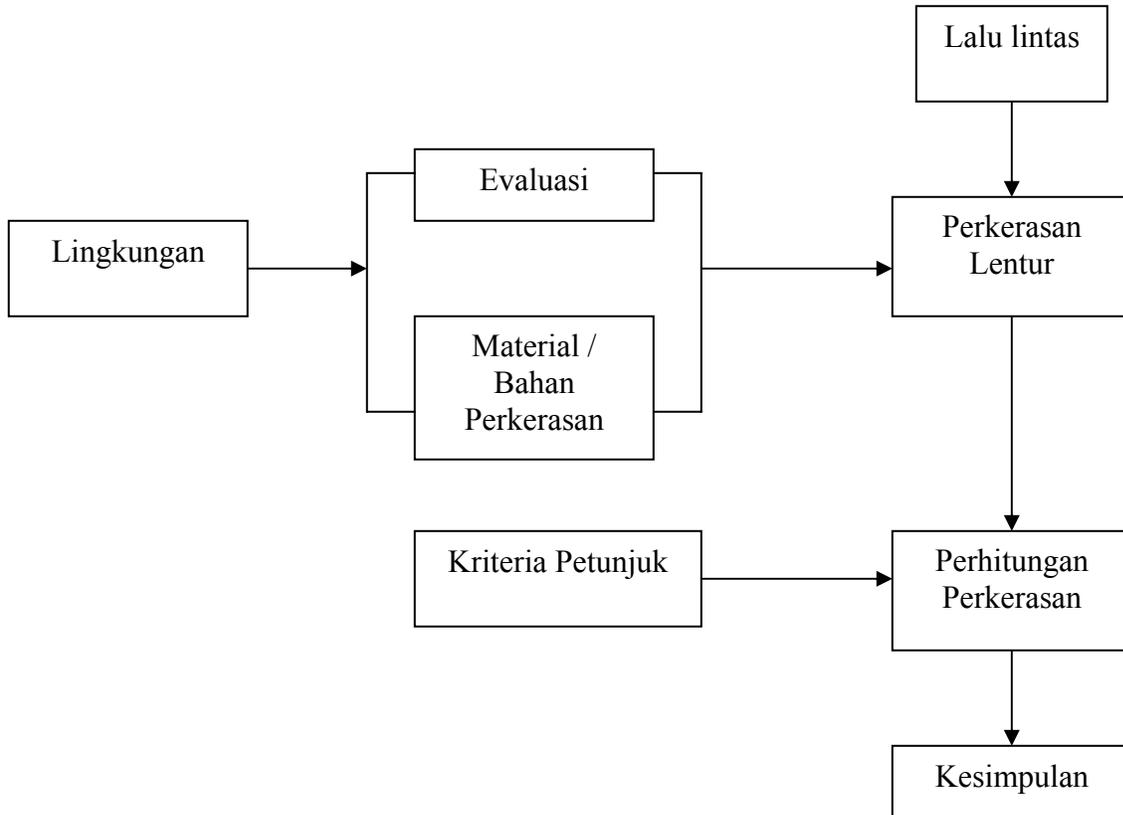
Metode NAASRA adalah metode yang dikembangkan oleh *The National of Australian State Road Authorities* yang disesuaikan dengan kondisi daerah dan keadaan material di Australia. Metode ini digunakan dalam menyeragamkan desain praktikir dari aspek-aspek pembangunan jalan di Australia.

NAASRA dalam perkerasan lenturnya hampir sama dengan cara Analisa Kompoen namun kekuatan CBR tidak dikonversikan ke kekuatan relatif, sedangkan contoh lapisan wearing (lapisan permukaan) atau digunakan modulus elastisitas (E).

▪ **Lalu Lintas**

Beban lalu lintas yang digunakan oleh NAASRA dalam perencanaan, tambahan diperoleh dengan metode perhitungan yang sama dengan yang dijabarkan dalam “The Design of Flexible Pavement” (CBR 1980). Bahkan dengan Metode Analisa Komponen pun tidak dapat banyak perbedaan.

Prosedur Perencanaan Perkerasan Lentur Menurut Metode NAASRA



Gambar 2.7. Bagan Alir Metode NAASRA

(National Association of Australian State Road Authorities)

BAB III
METODOLOGI PERENCANAAN PERKERASAN
LENTUR KONSTRUKSI JALAN RAYA

3.1. Data Proyek

1. Nama Proyek : Pembangunan Jalan Spine Road III Bukit Sentul
Bogor.
2. Lokasi Proyek : Bukit Sentul Bogor
3. Pemilik Proyek : PT. Bukit Sentul , Tbk
4. Kontraktor : PT. Meindhart Indonesia

3.2. Faktor – faktor Desain

Ada lima faktor yang mempengaruhi desain suatu struktur perkerasan lentur yang akan dibahas, masing-masing adalah :

- Daya Dukung Tanah Dasar
- Indeks Permukaan
- Faktor Regional
- Kualitas Bahan Perkerasan
- Lalu-Lintas

3.2.1. Daya Dukung Tanah Dasar

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Dari bermacam-macam cara pemeriksaan untuk menentukan kekuatan tanah dasar, yang umum dipakai adalah cara CBR (California Bearing Ratio). CBR diperoleh dari hasil pemeriksaan contoh tanah yang telah disiapkan di laboratorium atau langsung di lapangan. Dalam Metode Analisa Komponen hubungan antara daya dukung tanah dasar (DDT) dengan nilai CBR tanah dasar dapat dilihat pada lampiran 1. Kekuatan tanah dasar pada desain struktur perkerasan Metode NAASRA, dimana :

$$M_R \text{ (Mpa)} = 10,342 \times \text{CBR} \dots\dots\dots(3.1)$$

3.2.2. Indeks Permukaan

Tingkat pelayanan suatu perkerasan jalan akan berkurang setelah jalan tersebut di pergunakan untuk beberapa waktu. Dalam hal ini umur rencana jalan akan mencapai waktunya pada angka pelayanan tersebut. Menurut metode Analisa Komponen nilai indeks permukaan awal (Ipo) ditetapkan berdasarkan jenis lapis permukaan dan nilai kekasaran (roughness) awal, sedangkan indeks permukaan akhir (Ipt) ditetapkan berdasarkan tingkat lalu lintas (LER) dan klasifikasi fungsional jalan.

IP = 1,0 : adalah menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

IP = 1,5 : adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin dilewati kendaraan.

IP = 2,0 : adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap.

IP = 2,5 : adalah menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

3.2.3. Faktor Regional

Faktor regional (keadaan lingkungan) sangat erat hubungannya dalam keadaan iklim dan lingkungan daerah yang dapat mempengaruhi keadaan daya dukung tanah dasar, pembebanan dan perkerasan jalan yang meliputi : topografi, permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, prosentase kendaraan berat serta curah hujan. Penggunaan faktor regional ini untuk kondisi-kondisi kualitas perlu mendapatkan perhatian yang seksama, kondisi tersebut misalnya :

- Cuaca
- Daerah rawa – rawa
- Curah hujan
- Tikungan tajam (jari-jari kurang 30 m)
- Persimpangan – persimpangan

Dalam metode Analisa Komponen faktor regional merupakan fungsi dari kelandaian jalan, komposisi lalu lintas dan curah hujan yang nilainya berkisar 0,5 – 4,5.

3.2.4. Kualitas Bahan Perkerasan

Kekuatan struktur perkerasan sangat dipengaruhi oleh mutu material jalan yang digunakan. Material pada pembuatan konstruksi jalan harus disesuaikan dengan peran dari bagian atau struktur konstruksi jalan tersebut. Bagian yang berperan lebih besar mempunyai persyaratan yang lebih ketat dalam pemilihan material yang digunakan. Dipandang dari segi teknis, persyaratan mutu bahan perkerasan yang terpenting adalah menyangkut bentuk butiran, gradasi, kebersihan, daya tahan terhadap pengikisan dan pelekatan terhadap aspal. Dalam suatu struktur perkerasan lentur, mutu bahan sangat mempengaruhi stabilitas dari masing-masing lapisan perkerasan, jika menerima tekanan yang bekerja di atasnya. Kepastian daya dukung dari masing-masing lapisan perkerasan lentur dapat mendistribusikan beban lalu lintas pada tanah dasar dengan baik, apabila agregat yang dipakai memiliki karakteristik yang baik. Stabilitas dari masing-masing komponen diwakilkan oleh suatu parameter koefisien kekuatan relatif (a) yang merupakan nilai empiris yang menyatakan kekuatan relatif dari setiap lapisan perkerasan, yaitu : lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah.

3.2.5. Lalu Lintas Rencana

Dalam merencanakan tebal perkerasan lentur, tebal lapisan perkerasan jalan ditentukan oleh beban yang akan dipikul dari arus lalu lintas yang melewati jalan tersebut. Besarnya arus lalu lintas harus berdasarkan ketentuan-ketentuan yang ada yaitu :

- Jumlah kendaraan yang akan melewati jalan tersebut
- Jenis kendaraan beserta jumlah tiap jenisnya
- Konfigurasi sumbu dari setiap jenis kendaraan
- Beban masing-masing sumbu kendaraan

Jumlah jalur dan koefisien distribusi (c) perlu diperhatikan, jalur rencana merupakan suatu jalur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur ditentukan dari lebar perkerasan.

- Mobil penumpang dan yang sejenisnya (1 + 1)
- Berbagai jenis kendaraan bus (3 + 5)
- Berbagai jenis kendaraan truck (5 = 8)
- Truck gandengan / *trailer* (6 = 7.7)

3.3. Prosedur Desain

3.3.1. Metode Analisa Komponen

Prosedur yang akan dibahas adalah untuk desain perkerasan lentur konstruksi jalan raya dengan menggunakan prosedur desain menurut Metode Analisa Komponen, yaitu :

1. Tentukan umur rencana dari jalan yang hendak di desain, serta tentukan pula tahapan pelaksanaannya.
2. Tentukan LHR awal tahun rencana (LHR₀)
3. Tentukan faktor pertumbuhan lalu lintas selama masa pelaksanaan dan selama umur rencana i %
4. Tentukan LHR tahun rencana (LHR_n)
5. Tentukan lintas ekivalen rencana (LER)

$$LEP = LHR_0 \times C \times E \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana : LEP = Lintas Ekivalen Permulaan
 LHR₀ = Lalu lintas harian rata-rata pada tahun ke-0
 C = Koefisien distribusi kendaraan
 E = Faktor ekivalen beban lalu lintas

$$LEA = LHR_n \times C \times E \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana : LEA = Lintas Ekivalen Akhir
 LHR_n = Lalu lintas harian rata-rata pada tahun ke-n
 $= (1+i)^n \times LHR_0 \dots\dots\dots(3.3)$

Dimana : i = Pertumbuhan lalu lintas

n = Umur rencana

LHRo = Lalu lintas harian rata-rata awal umur rencana

$$LET = \frac{1}{2} (LEP + LEA) \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana : LER = Lintas Ekivalen Rencana

LET = Lintas Ekivalen Tengah

LEA = Lintas Ekivalen Akhir

$$LER = LET \times UR/10 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana : LER = Lintas Ekivalen Rencana

LET = Lintas Ekivalen Tengah

UR = Umur Rencana

6. Menentukan daya dukung tanah dasar (DDT)
7. Daya dukung tanah dasar ditentukan berdasarkan nilai CBR
8. Tentukan faktor regional
9. Faktor regional berguna untuk memperhatikan kondisi jalan yang lain
10. Tentukan indeks permukaan akhir (Ipo), sesuai dengan jenis lapis permukaan yang akan digunakan
11. Tentukan indeks permukaan akhir (IPt) dari desain perkerasan
12. Tentukan indeks tebal perkerasan
13. Tentukan jenis masing-masing lapis perkerasan yang akan digunakan
14. Tentukan koefisien kekuatan relatif (a) dari setiap perkerasan yang dipilih

15. Dengan menggunakan persamaan, dapat diperoleh tebal dari masing-masing lapisan
16. Kontrol apakah tebal dari masing-masing lapis perkerasan telah memenuhi ITP yang bersangkutan.

3.3.2. Metode NAASRA

Umunya Metode perencanaan NAASRA lapis perkerasan tambahan untuk kedua metode ini kurang lebih sama, yaitu terdiri dari ;

- Evaluasi Kondisi Perkerasan *Eksisting* :

Untuk metode Analisa Komponen dan NAASRA digunakan Metode evaluasi

Perkerasan “ *non-destruktif* “ yaitu dengan test lendutan menggunakan alat *Benkelman beam*.

- Pertimbangan terhadap beban lalu lintas dan lingkungan yang didasarkan pada perbedaan karakteristik.

Untuk mencari nilai E (ekivalen) pada metode NAASRA, Australia menggunakan rumus :

$$\text{Tunggal : } E = \{ \text{Beban sumbu} \}^4$$

8160

Tabel 3.1. Perbedaan Karakteristik Metode Analisa Komponen dan NAASRA

NO	METODE ANALISA KOMPONEN	METODE NAASRA
1.	Parameter D.D.T. dinyatakan dengan CBR yang dikonversikan ke DDT.	Parameter D.D.T hanya CBR saja
2.	FR digunakan untuk pekerjaan kondisi lahan.	FR disamakan
3.	Setiap lapisan perkerasan Menggunakan kekuatan relatif yang diperoleh dari sudut penyebaran.	-
4.	Angka Ekuivalen beban sumbu Tunggal : $E = \frac{\{ \text{Beban sumbu} \}^4}{8160}$	Angka ekuivalen beban sumbu Tunggal : $E = \frac{\{ \text{Beban sumbu} \}^4}{8160}$

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Perancangan

Metode Analisa Komponen 1987 dan Metode NAASRA (*National Association of Australian State Road Authorities*) di analisa dengan perhitungan yang nantinya akan diketahui perbedaan-perbedaan pada kedua Metode tersebut. Data yang digunakan dalam perhitungan ini ialah data dari pembangunan jalan Akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor

Data teknis jalan Akses Spine Road III Bukt Sentul Bogor adalah :

- Kelas Jalan : III A
- Panjang Jalan : 18 km
- Lebar Badan Jalan : 7 m
- Kemiringan Melintang : 3 %
- Kemiringan Bahu : 5 %
- Banyaknya Jalur : 1 jalur, 2 lajur, 2 arah
- Lebar Bahu : 2 x 2 m
- Kecepatan rencana : 60 km/jam
- Nilai CBR : 4 %

- Data lalu lintas tahun 2006 sebagai berikut :
Data lalu lintas diperoleh dari studi lalu lintas yang dilakukan oleh tim yang ditunjuk oleh PT. Bukit Sentul Tbk sebagai berikut :
 - Kendaraan ringan 2 ton (1+1) = 1000 kendaraan
 - Truck 2 As 15 ton (5+10) = 100 kendaraan
 - Truck 2 As 25 ton (7+18) = 50 kendaraan
- Jalan raya direncanakan untuk umur rancangan
Pada perancangan konstruksi digunakan umur rancangan 20 tahun.
- Faktor Regional = 2,0
- Indeks permukaan pada awal umur rancangan $I_{po} = \geq 3,5$
- Indeks permukaan pada akhir umur rancangan $I_{pt} = 2,0$
- Di rencanakan tingkat pertumbuhan lalu lintas $i = 4 \%$ untuk 20 tahun
- Bahan perkerasan yang digunakan
Asphalt Concrete Wearing Course (MS 744)
Lapisan Pondasi Agregat (LPA) kelas A CBR 100 %
Lapisan Pondasi Agregat (LPA) kelas B CBR 80 %
- Nilai CBR subgrade adalah 4 %
- Kelandaian 5 % serta curah hujan rata-rata di Bukit Sentul Bogor
 $\pm 3367 \text{ mm/th}$ maka di ambil iklim II ($> 900 \text{ mm/th}$)

4.2. Perancangan dengan Metode Analisa Komponen.

4.2.1. Lalu Lintas Rencana

$$\text{Rumus : LHR}_n = (1+i)^n \cdot \text{LHR}_0$$

Dimana : $\text{LHR}_n = \text{LHR}$ tahun ke-n (umur rencana)

$\text{LHR}_0 = \text{LHR}$ tahun ke-0 (awal umur rencana)

$i =$ Tingkat perkembangan lalu lintas

$n =$ Tahun ke-n

- **LHR₀ pada tahun 2006 (awal umur rencana)**

- Kendaraan ringan 2 ton (1+1) = 1.000 kendaraan

- Truck 2 As 15 ton (5+10) = 100 kendaraan

- Truck 2 As 25 ton (7+18) = 50 kendaraan +

$$\text{LHR}_0 = 1150 \text{ kendaraan}$$

- **LHR_n pada tahun ke-20**

$$\text{LHR}_{20} = (1+i)^{20} \cdot \text{LHR}_n$$

$$i = 4 \%$$

- Kendaraan ringan 2 ton (1+1) = 2.191 kendaraan

- Truck 2 As 15 ton (5+10) = 219 kendaraan

- Truck 2 As 25 ton (7+18) = 109 kendaraan +

$$\text{LHR}^{20} = 2.519 \text{ kendaraan}$$

4.2.2 Menentukan Angka Ekuivalen Masing-masing Kendaraan (E)

Dari tabel L.8 didapat :

- Kendaraan ringan 2 ton (1+1)	= 0,0002 + 0,0002	= 0,0004
- Truck 2 As 15 ton (5+10)	= 0,1410 + 0,1940	= 0,3350
- Truck 2 As 25 ton (7+18)	= 0,5415 + 2,0362	= 2,5777

- **Menghitung Koefisien Distribusi Kendaraan**

Kendaraan ringan 2 ton = 2 Jalur / 2 arah kendaraan ringan : 0,5

Truk 2 AS 15 ton (5+10)= 2 Jalur / 2 arah kendaraan ringan : 0,5

Truk 2 AS 25 ton (7+18)= 2 Jalur / 2 arah kendaraan ringan : 0,5

- **Menghitung Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)**

$$\text{Rumus : LEP} = \sum_{j=1}^n \text{LHR}_j \times C_j \times E_j$$

j = Jenis Kendaraan

C = Koefisien Distribusi

E = Angka Ekuivalen

Dari tabel L.7 didapat :

- Kendaraan ringan 2 ton (1+1)	= 0,5 x 0,0004 x 1000	= 0,2
- Truck 2 As 15 ton (5+10)	= 0,5 x 0,3350 x 100	= 16,75
- Truck 2 As 25 ton (7+18)	= 0,5 x 2,5777 x 50	= 64,44

$$\text{LEP} = 81,39$$

- **Menghitung Lintas Ekivalen Akhir (LEA)**

$$\text{- Kendaraan ringan 2 ton (1+1)} \quad = 0,5 \times 0,0004 \times 2,191 = 0,43$$

$$\text{- Truck 2 As 15 ton (5+10)} \quad = 0,5 \times 0,3350 \times 219 = 36,68$$

$$\text{- Truck 2 As 25 ton (7+18)} \quad = 0,5 \times 2,5777 \times 109 = 140,48$$

$$\text{LEA} = 177,61$$

- **Menghitung Lintas Ekivalen Tengah (LET) tahun ke 20**

$$\text{Rumus : } LET_{20} = \frac{LEP + LEA_{20}}{2}$$

$$LET_{20} = \frac{81,39 + 177,61}{2} : 218,3$$

- **Menghitung Lintas Ekivalen Rencana (LER) tahun ke-20**

$$\text{Rumus : } LER_{20} = LET_{20} \times FP$$

$$FP = \frac{UR}{10}$$

$$LER_{20} = 218,3 \times (5/10)$$

$$= 109,15$$

4.2.3 Mencari Daya Dukung Tanah Dasar

Dengan menggunakan Grafik hubungan DDT dan CBR pada gambar L.2,

didapat harga DDT = 4,3 untuk nilai CBR 4%

4.2.4 Mencari Indeks Permukaan

- **Indeks Permukaan Awal**

Direncanakan lapis permukaan LASTON dengan Roughnes > 1000 mm/km, maka dari table L.3 diperoleh $I_{Po} = 3,9 - 3,5$

- **Indeks Permukaan Akhir**

- Jalan raya (Arteri)
- $LER_{20} = 109,15$
- Untuk jalan raya diambil $I_{pt} = 2,5$

4.2.5 Mencari Harga Indeks Tebal Perkerasan (ITP), ke 20

- $I_{po} = 3,9 - 3,5$
- $I_{pt} = 2,5$
- $LER_{20} = 109,15$

- DDT = 4,3
- FR = 2,0
- CBR Tanah Dasar 4% = 4,3
- Iklim II (> 900 mm/th)
- Kelandaian I (< 6 %)
- Kendaraan Berat > 30 %

Dengan menggunakan nomogram Indeks Tebal Perkerasan didapat ITP = 7,8

Gambar 4.2 Nomogram Indeks Tebal Perkerasan, Ipt = 2,0 Ipo = 3,9 – 3,5

4.2.6 Menentukan Tebal Lapis Perkerasan

Dari tabel L.5 L.9 dan L. 10 diadaptasi :

- Koefisien Kekuatan Relatif (a_1)

Asphalt Concrete Wearing Course (MS 744) $a_1 = 0,4$

Lapisan Pondasi Agregat (LPA) kelas A CBR 100 % $a_2 = 0,14$

Lapisan Pondasi Agregat (LPA) kelas B CBR 80 % $a_3 = 0,13$

- Ketebalan Minimum (D_1)

Asphalt Concrete Wearing Course (MS 744) $D_1 = 7,5$ cm

Lapisan Pondasi Agregat (LPA) kelas A CBR 100 % $D_2 = 15$ cm

Lapisan Pondasi Agregat (LPA) kelas B CBR 80 % $D_3 = \dots ?$

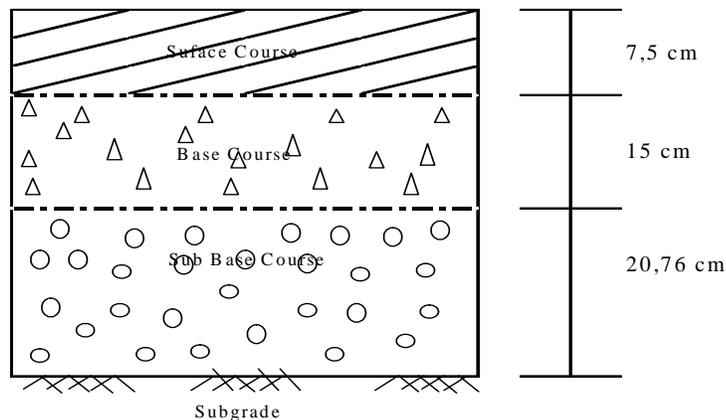
$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$7,8 = (0,4 \times 7,5) + (0,14 \times 15) + (0,13 \times D_3)$$

$$7,8 = 3 + 2,1 + (0,13 \times D_3)$$

$$7,8 = 5,1 + (0,13 \times D_3)$$

$$D_3 = \frac{2,7}{0,13} = 20,76 \text{ cm}$$



4.3. Perancangan dengan Metode NAASRA

4.3.1. Design Traffic (DT)

Data teknis jalan Akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor adalah :

Lokasi : Jalan Akses Spine Road III Bukit Sentul Bogor

Nilai CBR : 4 %

Umur Rencana : 20 Tahun Design life : 5×10^6 ESA

Kelas Jalan Naasra : Kelas III

Kecepatan rencana : 60 km/jam

▪ Perhitungan Design Charts Metode Naasra

Didapat dari tabel L9 dan Grafik L. 10 :

NAASRA Road Functional Class	Terminal Roughness NAASRA Counts per km
1 dan 2	110
3 dan 6	150
4 , 5 , 7 , 8 dan 9	175

TABEL . L. 9 VALUES OF TERMINAL ROUGHNESS

Grafik L. 10 Modified Design Traffic VS Design Traffic and Ratio Final/

Initial Roughness

Terminal Roughness Condition : 150 km/jam

Ratio Terminal Roughness = $150 / 60 = 2,5$
Initial Roughness

Dari Gambar didapat :

Modified Design Traffic : 1.2×10^7 ESAs

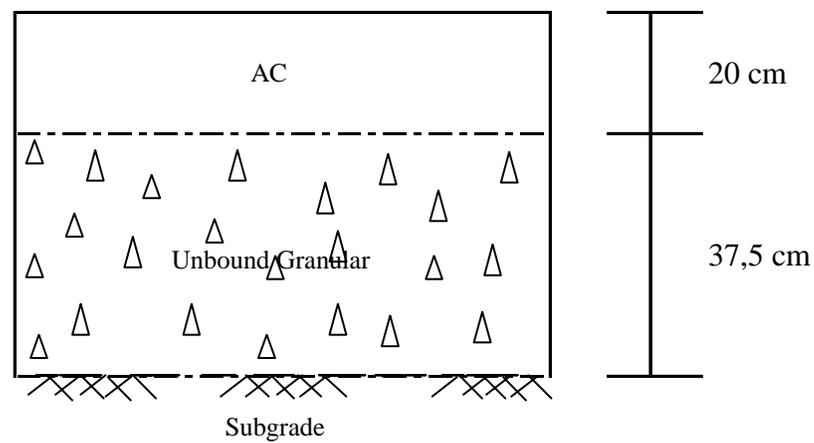
Dari Grafik L. 4 didapat :

Grafik L.4 . Penentuan Lapis Permukaan (Aspal)

Asphalt Concrete Wearing Course $D1 = 20 \text{ cm}$

Unbound Granular $D2 = 37,5 \text{ cm}$

4.3.2. Susunan Lapisan Perkerasan Umur Rencana 20 Tahun



Gambar 4.4 Susunan Tebal Perkerasan berdasarkan Metode NAASRA

4.4. Pembahasan

4.4.1 Perbedaan Metode yang digunakan

- Metode Analisa Komponen
 - Struktur Perkerasan terdiri dari 4 (empat) lapisan, yaitu :
 - Lapisan permukaan, Lapisan Pondasi Atas, Lapisan Pondasi bawah, dan Tanah Dasar

- Metode Analisa Komponen Lebih cocok untuk mendesain perkerasan Lentur untuk jalan baru
- Metode Analisa Komponen menggunakan parameter yang disesuaikan dengan kondisi di Indonesia, dan belum tentu cocok untuk dipakai Negara Lain
- Metode NAASRA
 - Struktur Perkerasan terdiri dai 2 (dua) lapisan, yaitu :
 - Lapisan permukaan, Lapisan Pondasi dan Tanah Dasar
 - Parameter– parameter yang digunakan pada Metode Naasra merupakan parameter yang disesuaikan dengan kondisi jalan di Australia dan belum tentu cocok bila diterapkan di Indonesia
 - Metode Naasra Lebih sesuai untuk perencanaan jalan overlay (perencanaan jalan dengan lapis tambahan)

4.4.2. Perbedaan Hasil Tebal Lapis Perkerasan

Dai hasil analisa perhitungan didapat perbedaan tebal perkerasan jalan untuk umur rencana 20 (dua puluh) tahun dengan menggunakan metode :

- Metode Analisa Komponen
 - Surface (AC) = 7,5 cm
 - Base = 15 cm
 - Subbase = 20,76 cm
 - Total = 43,26 cm

- Metode NAASRA
 - Surface (AC) = 20 cm
 - Unbound Granular = 37,5 cm
- Total = 57,5 cm

Tabel 4.1 Perbandingan Susunan Tebal Perkerasan Hasil Perhitungan

Metode Perhitungan	CBR 4 %			
	Surface (cm)	Base (cm)	Sub base (cm)	Total (cm)
Analisa Komponen	7,5	15	20,76	43,26
NAASRA	20	37,5	0	57,5

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

1. Dari hasil analisa dan perhitungan tebal lapis perkerasan untuk umur rencana 20 (dua puluh) tahun dengan menggunakan metode Analisa Komponen dan Metode NAASRA (National Association Of Australian State Road Authorities) didapat :

- Metode Analisa Komponen
 - Surface (AC) = 7,5 cm
 - Base = 15 cm
 - Subbase = 20,76 cm
 - Total = 43,26 cm
- Metode NAASRA
 - Surface (AC) = 20 cm
 - Unbound Granular = 37,5 cm
 - Total = 57,5 cm

2. Adanya perbedaan ketebalan dari masing-masing susunan lapis tebal perkerasan pada kedua metode tersebut dengan menggunakan jenis material dan spesifikasi serta harga yang sama, maka dapat disimpulkan bahwa yang memiliki ketebalan minimum yaitu metode Analisa Komponen, adalah yang paling efisien dari segi biaya konstruksi.

3. Dari hasil analisa Metode Naasra desain perkerasan lentur kurang cocok untuk perkerasan jalan baru, lebih cocok untuk perencanaan jalan bertahap atau overlay (lapis tambahan).
4. Dan parameter-parameter yang digunakan pada metode Naasra tidak sesuai dengan kondisi di Indonesia karena parameter tersebut merupakan hasil analisa dari kondisi jalan raya di Australia.

5.2. SARAN

Adapun saran yang dapat disampaikan adalah :

1. Didalam perencanaan tebal lapis perkerasan lentur jalan raya, Metode Analisa komponen yang paling sesuai untuk merencanakan perkerasan lentur jalan raya untuk kondisi di Indonesia.
2. Pada saat penghitungan desain tebal perkerasan disarankan untuk melakukan perhitungan berbagai percobaan lebih dari sekali agar hasilnya benar-benar efektif dan efisien dan tidak terjadi over design.
3. Apabila perkembangan pertumbuhan lalu lintas tinggi maka disarankan untuk desain perkerasan bertahap, agar lapis perkerasan yang telah rusak akan dilakukan pelapisan tambahan agar kekuatannya kembali seperti semula.

DAFTAR PUSTAKA

- a. Bina Marga 1974, Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Flexible Jalan Raya, Jakarta
- b. Departemen Pekerjaan Umum, 1978 Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan raya dengan Metode Analisa Komponen, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- c. NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities) 1992,
- d. Standar Nasional Indonesia, 1997 Tata Cara Tebal Perkerasan Flexible Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.