

TEKNIS EVALUASI RUNWAY BANDARA MENURUT PARAMETER MARSHALL

(BANDARA MALIKUSSALEH LHKSEUMAWE)

SAID JALALUL AKBAR



EDITOR
DR. IR. WESLI, MT
ABDUL JALIL, ST., MT



Penulis adalah salah seorang dosen di Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh Bidang Transportasi, dilahirkan di Lhokseumawe pada tanggal 3 Juli 1971. Mengampu mata kuliah Rekayasa Jalan Raya, Rekayasa Lalu Lintas, Lapangan Terbang, Sistem Transportasi dan Metodologi Penelitian.

Pendidikan Sarjana S₁ diselesaikan pada tahun 1997 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh Lhokseumawe. Pascasarjana diselesaikan di Magister Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh yang diselesaikan pada tahun 2006. Penulis aktif melaksanakan kegiatan penelitian dan pengabdian serta menulis jurnal pada berbagai jurnal.

Selama menjalani profesi sebagai dosen pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Jurusan pada tahun 2002 dan menjabat sebagai Ketua Jurusan tahun 2008-2012. Disamping itu juga pernah menjabat sebagai Sekretaris Program Hibah A1 Jurusan Teknik Sipil.

Pada Tahun 2005 penulis menikah dengan seorang gadis yang bernama **Aida Zora** gadis berdarah Aceh, saat ini penulis dikaruniai seorang anak laki-laki berusia 8 tahun yang diberi nama **Said Iqramul Fahraby** saat ini duduk di bangku kelas 2 Sekolah Dasar (SD).

PENGANTAR PENULIS

Bismillahirrahmanirrahim

” Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatupun, dan Allah memberi kamu pendengaran, penglihatan dan hati agar kamu bersyukur (menggunakannya sesuai petunjuk ilahi untuk memperoleh pengetahuan”

(QS An Nahl [16] : 78)

Alhandulillah Puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan dan kekuatan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan sebuah buku yang berjudul, ”Teknis Evaluasi Runway Bandara Menurut Parameter Marshall”. Buku ini mulanya adalah tesis yang dipertahankan didepan sidang penguji. Untuk kepentingan penerbitan dan publikasi maka diadakan perubahan di beberapa hal yang dianggap relevan. Shalawat dan salam kita mohonkan kepada Allah Yang Maharahman semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar SAW, pendidik teladan dan guru paling mulia bagi putra-putri dan umat keseluruhannya. Shalawat dan salam semoga dilimpahkan juga kepada keluarganya, para shahabatnya, dan seluruh umatnya yang senantiasa menjadikan beliau sebagai teladan dan panutan dalam hidupnya.

Karya tulis ini merupakan sebuah tesis yang kemudian diterbitkan sebagai buku, teristimewa penulis ucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. Bukhari, RA, M. Eng dan Ibu Lulusi, ST. M. Sc selaku Dosen pembimbing saya dalam pembuatan tesis ini serta Ibu

Malahayati yang telah bersedia menerbitkan karya tulis ini. Buku ini dapat diterbitkan tak lepas berkat bantuan Bapak Dr. Ir. Wesli, MT dan Bapak Abdul Jalil ST., MT selaku editor.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih banyak kekurangan dan akan terus disempurnakan nantinya. Dengan segala kerendahan hati yang tulus mengucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. T. Hafli, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Maikussaleh yang telah memberikan dorongan moril dalam menyelesaikan penulisan buku ini. Ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada seluruh dosen yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis baik para dosen saat penulis kuliah Strata satu (S1) maupun saat penulis kuliah Magister (S2). Ucapan terimakasih juga disampaikan pada seluruh rekan-rekan Dosen Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang selama ini juga ikut membantu dalam menyelesaikan buku ini.

Lhokseumawe, April 2013

Said Jalalul Akbar

PENGANTAR EDITOR

Bismillahirrahmanirrahim

Buku hasil penelitian merupakan suatu sumber referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan pengayaan dalam khasanah keilmuan. Ide Sdr. Said Jalalul untuk membukukan hasil penelitian Thesis yang dilakukannya pada saat menyelesaikan program studi lanjut Magister merupakan suatu hal yang perlu didukung. Dalam melakukan editing editor tidak mengalami kesulitan yang berarti hal ini karena naskah asli dari thesis tersebut memang sudah baik dan lengkap sehingga proses editing menjadi lebih cepat.

Buku ini merupakan salah satu sumber referensi terhadap penelitian yang serupa dan dapat juga dijadikan sebagai buku referensi dalam materi kuliah lapis perkerasan baik untuk mata kuliah Lapangan Terbang maupun mata kuliah Jalan Raya.

Semoga Buku ini dapat bermanfaat baik bagi para praktisi, para dosen yang mengampu mata kuliah di bidang transportasi maupun bagi mahasiswa yang ingin belajar tentang lapis perkerasan. Akhir kata editor memohon maaf apabila dalam editing masih terjadi kekurangan disana-sini. Segala kelemahan adalah milik editor dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT.

Editor

Dr. Ir. Wesli, MT
Abdul Jalil, ST., MT

SINOPSIS

Bandara merupakan prasarana bagi transportasi udara yang dalam proses pembangunannya diperlukan disain dan perencanaan yang matang serta pengawasan yang ketat (teliti). Hal tersebut dikarenakan pesawat terbang termasuk alat transportasi yang rawan akan kecelakaan, hal ini terjadi apabila diantara konstruksi bandara seperti Runway, Taxiway dan Apron tidak memenuhi spesifikasi seperti yang telah ditetapkan dalam syarat perencanaan bandara.

Buku ini mencoba mengulas dan bertujuan ingin mengevaluasi tebal lapisan perkerasan berdasarkan CBR tanah dasar dan membandingkan antara parameter Marshall hasil pengujian laboratorium dengan lapangan pada overlay runway Bandara Malikussaleh. Dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan akan buku-buku yang membahas tentang Tebal Perkerasan Runway pada sebuah Bandara, penulis mempersiapkan karya tulis ini dengan maksud kelak akan menjadikannya sebagai buku pegangan bagi para mahasiswa yang sedang mandalami masalah dibidang Transportasi.

Karya ini dimaksudkan hanya sebagai pengantar yang berisi tentang tata cara menghitung tebal perkerasan ranway dan hubungannya dengan CBR tanah dasar serta rasio parameter Marshall yang merupakan sebagai ukuran nilai kekuatan/ketahanan dari lapis permukaan (Surface Course), yang dapat dijadikan sebagai pegangan di samping buku-buku yang lain.

DAFTAR ISI

PENGANTAR PENULIS	i
PENGANTAR EDITOR	iii
SINOPSIS	iv
DAFTAR ISI	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Metode Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Hasil Penelitian	5
BAB 2 REFERENSI	7
2.1 Agregat	7
2.1.1 Sifat Fisis Agregat	15
2.1.2 Bahan Pengisi (Filler)	20
2.2 Aspal	23
2.2.1 Sifat Fisis Aspal	26
2.2.2 Sifat Kimia Aspal	28
2.2.3 Fungsi Aspal sebagai Bahan Perkerasan	29
2.2.4 Sifat Volumetrik Beton Aspal	29
2.3 Beton Aspal	34
2.3.1 Stabilitas	35
2.3.2 Durabilitas	36
2.3.3 Fleksibilitas	36
2.3.4 Kekesatan/Tahan Geser	37
2.3.5 Ketahanan Terhadap Kelelahan	37
2.3.6 Mudah Dilaksanakan	37
2.3.7 Kedap Air	38
2.4 Lapis Aspal Beton	39
2.5 Pemadatan Lapangan	44
2.6 Pemadatan Laboratorium	44

2.7	Pengujian Marshall	45
2.7.1	Penentuan Kerapatan	48
2.7.2	Stabilitas	48
2.7.3	Pengujian Kelelehan (<i>Flow</i>)	49
2.7.4	Volume Pori Dalam Beton Aspal Padat (VITM)	50
2.7.5	Volume Pori Antara Butir Agregat Terisi Aspal (VFWA)	50
2.7.6	Perhitungan Marshall Quotient (MQ)	51
2.8	Kepadatan Dan Daya Dukung	51
2.9	Penentuan CBR	54
2.9.1	CBR Lapangan	57
2.9.2	CBR Rencana	59
2.9.3	CBR Lapangan Rendaman	63
2.10	Lapis Perkerasan Lentur	64
2.11	Pelapisan Ulang (<i>Overlay</i>)	89
BAB 3	METODE DAN TEKNIS PENELITIAN ..	91
3.1	Material dan Peralatan	91
3.2	Pengumpulan Data	92
3.3	Metode Pengolahan dan Analisis Data ...	95
BAB 4	HASIL PENELITIAN	97
4.1	Hasil	97
4.1.1	Tebal Perkerasan	97
4.1.2	Rasio Parameter Marshall	101
4.2	Pembahasan	103
BAB 5	RANGKUMAN DAN REKOMENDASI .	109
5.1	Rangkuman	109
5.2	Saran	110
DAFTAR KEPUSTAKAAN	111

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi dengan menggunakan pesawat udara merupakan salah satu sarana perhubungan yang cepat untuk jarak jauh dan termahal bila dibandingkan dengan bermacam jenis transportasi lainnya seperti darat dan laut. Bandara merupakan prasarana bagi transportasi udara yang dalam proses pembangunannya diperlukan disain dan perencanaan yang matang serta pengawasan yang ketat (teliti). Hal tersebut dikarenakan pesawat terbang termasuk alat transportasi yang rawan akan kecelakaan, hal ini terjadi apabila diantara konstruksi bandara seperti Runway, Taxiway, dan Apron tidak memenuhi spesifikasi seperti yang telah ditetapkan dalam syarat perencanaan bandara.

Runway bandara biasanya dibangun dari suatu sistem perkerasan fleksibel yang terdiri dari tanah dasar (subgrade), subbase course, base course dan surface course. Lapisan permukaan biasanya terdiri dari aspal beton (aspal concrete) dengan masa pelayanan tertentu.

Pada akhir masa pelayanan lapisan permukaan dapat dilakukan overlay sehingga runway dapat berfungsi optimal kembali. Sebelum campuran overlay digunakan di lapangan dilakukan percobaan pemadatan di laboratorium dan ditest dengan alat Marshall sehingga diperoleh parameter Marshall. Pada saat pelapisan di lapangan campuran aspal beton juga dipadatkan dan diuji kekuatannya dengan percobaan Marshall juga. Sesuai dengan ketelitian pekerjaan, mestinya nilai parameter Marshall Laboratorium dan Lapangan biasanya harus sama.

Bandara Malikussaleh dibangun oleh Pertamina dan kepemilikannya ada pada PT. Arun NGL. Bandara tersebut dibangun pada tahun 1978 dengan panjang landasan pacu 900 meter dan lebar 30 meter. Pada tahun 1986 sesuai dengan kebutuhan perusahaan maka dilakukan penambahan panjang landasan pacu menjadi 1850 meter dengan lebar yang sama. Berdasarkan pada panjang landasan pacu dan jenis pesawat yang dilayani (lebar sayap dan jarak main gear terluar) sesuai yang telah ditetapkan oleh International Civil Aviation Organisation (ICAO), Bandara Malikussaleh termasuk ke dalam golongan kelas C. Adapun pesawat yang dilayani adalah pesawat terbang jenis Beach Craft dengan kapasitas penumpang 20 orang dan pesawat terbang jenis DAS 7 dengan kapasitas 40 orang.

Sejak bulan Maret 2004 Bandara Malikussaleh mulai melayani penerbangan komersial sipil yang dilaksanakan oleh operator penerbangan sipil Jatayu yang menggunakan pesawat terbang jenis Boing 737 A 200 dengan kapasitas penumpang 100 orang. Disamping itu Bandara Malikussaleh juga melayani penerbangan Militer dengan menggunakan pesawat Hercules.

Untuk meningkatkan pelayanan sesuai dengan kemampuan lapisan permukaan bandara, demi

tercapainya nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, tingkat keamanan dan tingkat kekedapan terhadap air maka pada tahun 2004 dilakukan perbaikan permukaan landasan pacu dengan melakukan pelapisan ulang (overlay) yang perencanaannya dan pengawasannya oleh Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala dan pelaksanaan pekerjaan oleh PT. Cipta Karya Aceh yang berkedudukan di Matang Geulumpang Dua, Bireuen.

1.2 Rumusan Masalah

Tebal lapisan perkerasan pada suatu konstruksi landas pacu sebuah bandara harus benar-benar mempunyai nilai kekuatan yang cukup, hingga dapat dipastikan mampu menahan seluruh beban-beban yang bekerja sesuai jenis pesawat yang dilayani. Suatu konstruksi landasan pacu yang telah habis masa pelayanannya, telah mencapai indeks permukaan akhir yang diharapkan perlu diberikan lapisan tambahan untuk dapat kembali mempunyai nilai kekuatan, tingkat pelayanan, tingkat keamanan, tingkat kekedapan terhadap air dan tingkat kecepatannya mengalirkan air. Mutu material (agregat), gradasi dan tebal overlay yang direncanakan berdasarkan mutu perkerasan yang ada, dalam pelaksanaannya harus memenuhi kriteria-kriteria yang diminta. Untuk meyakinkan bahwa hasil overlay sudah memenuhi kriteria yang diharapkan maka perlu dilakukan evaluasi tebal perkerasan berdasarkan nilai CBR subgrade kemudian menganalisa rasio parameter Marshall tersebut terhadap kekuatan daya dukung runway sehingga hasil overlay dapat dipastikan memenuhi semua kriteria yang disyaratkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi tebal perkerasan berdasarkan CBR tanah dasar (subgrade)

dan ingin membandingkan antara parameter Marshall hasil pengujian laboratorium dengan parameter Marshall saat di lapangan pada overlay runway Bandara Malikussaleh. Sehingga benar-benar dapat diperoleh ketebalan asli yang sesungguhnya dibutuhkan serta dapat memberikan kembali nilai kekuatan sampai dengan umur rencana yang telah ditentukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu hasil tentang tebal perkerasan yang sesungguhnya dibutuhkan di lapangan serta jawaban tentang perbedaan yang terjadi antara parameter Marshall laboratorium dengan parameter Marshall lapangan pada overlay runway Bandara Malikussaleh Lhokseumawe.

1.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah berdasarkan pada data hasil test CBR tanah dasar, data Marshall laboratorium, data Marshall lapangan, data runway overlay tahun 2004, karakteristik pesawat yang dilayani, dan data spesifikasi Bandara. Untuk perhitungan perkerasan fleksibel landas pacu dalam penelitian ini digunakan metode US Corporation of Engineers atau lebih dikenal dengan nama metode CBR. Langkah berikutnya menentukan ketebalan perkerasan lentur (flexible pavement) yang sesungguhnya dibutuhkan yaitu perbandingan ketebalan yang dievaluasi terhadap tebal perkerasan yang ada serta perbandingan parameter Marshall laboratorium dengan parameter Marshall lapangan. Pelapisan ulang (Overlay) Bandara Malikussaleh dimaksudkan untuk mengembalikan nilai kekuatan sehingga mampu menahan / melayani beban sesuai dengan umur rencana.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada perhitungan tebal perkerasan yang sesungguhnya diperlukan dan permasalahan yang terjadi terhadap perbedaan parameter Marshall laboratorium dengan lapangan. Parameter marshall laboratorium dan parameter Marshall lapangan mestinya sama, namun setidaknya mendekati. Tetapi jika terjadi perbedaan yang besar maka kemungkinan yang terjadi adalah perlakuan terhadap benda uji di laboratorium yang kurang sempurna dan di AMP saat pencampuran material juga kurang sempurna (ketelitian) atau bahkan saat pelaksanaan di lapangan terjadi kesalahan-kesalahan. Kesalahan di lapangan bisa terjadi beberapa kemungkinan, yaitu misalnya suhu penghamparan yang tidak sesuai, saat penghamparan tidak merata atau saat pemadatan kurang sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan.

1.6 Hasil Penelitian

Dari hasil perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini, tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan runway Bandara Malikussaleh adalah untuk lapisan subbase (CSB) 13 cm, lapisan base (CTB) 8 cm dan lapisan surface (AC) 5 cm. Sedangkan tebal lapisan perkesan lama (eksisting) adalah untuk lapisan subbase (CSB) 10 cm, lapisan base (CTB) 15 cm dan lapisan surface (AC) 10 cm. Hasil pemeriksaan nilai CBR tanah dasar runway Bandara Malikussaleh nilai CBR tertinggi 94,3% untuk nilai CBR tanpa rendaman, sedangkan nilai CBR terendah adalah 15,2% untuk nilai CBR rendaman. Nilai CBR rendaman sebesar 15,2% merupakan nilai CBR disain dalam melakukan perhitungan tebal lapisan perkerasan runway Bandara. Nilai CBR disain 15,2% selanjutnya dijadikan nilai CBR segmen dan dari hasil perhitungan secara grafis diperoleh nilai CBR segmen sebesar 15,40%. Dari hasil

pengamatan mata (visual deskripsi) yang dilakukan di laboratorium subgrade runway Bandara Malikussaleh termasuk kedalam golongan tanah berpasir, sebagian besar pasir halus, 5%-10% clay, non plastis, warna coklat dan tidak berbau.

Hasil perhitungan rasio parameter Marshall antara Marshall laboratorium dengan Marshall lapangan pada overlay runway Bandara Malikussaleh adalah sebesar 3,84 yaitu besarnya kekuatan Marshall laboratorium adalah 3,84 kali besarnya kekuatan Marshall lapangan. Melihat dari hasil rasio parameter Marshall hasil try out dan rasio parameter Marshall hasil pelaksanaan overlay dilapangan (Bandara), maka dalam melakukan penelitian ini diperoleh jawaban bahwa perlakuan saat pelaksanaan di lapangan tidak seteliti perlakuan saat pembuatan benda uji di laboratorium. Besarnya rasio parameter Marshall hingga mencapai 3,84 antara kekuatan Marshall laboratorium dengan kekuatan Marshall lapangan pada overlay runway Bandara Malikussaleh setelah dilakukan penelitian (pengamatan langsung) di lapangan pada lapisan overlay runway tersebut, ternyata masih sanggup (memenuhi) untuk melayani beban-beban (pesawat) yang saat ini beroperasi pada Bandara tersebut.

BAB 2

REFERENSI

Dalam bab ini akan dijelaskan teori-teori yang mendukung dalam melakukan penelitian ini, yaitu meliputi pemeriksaan bahan seperti, aspal, bahan agregat dan pemeriksaan campuran.

2.1 Agregat

Oglesby dan Hick (1982) menyatakan bahwa bahan yang paling umum untuk lapisan jalan dan strukturnya adalah batu pecah, batu kerikil yang dipecah, dan pasir. Menurut Sukirman (1999), berdasarkan besar atau ukurannya agregat dapat dibedakan atas :

1. Agregat kasar, yaitu agregat yang ukurannya $> 4,75$ mm menurut ASTM atau agregat yang ukurannya > 2 mm menurut ASSHTO
2. Agregat halus, yaitu agregat yang ukurannya $< 4,75$ mm menurut ASTM atau agregat yang ukurannya < 2 mm dan $> 0,075$ mm menurut ASSHTO
3. Abu batu atau filler, yaitu agregat halus yang umumnya lolos saringan # 200

Sukirman (2003) juga menjelaskan bahwa berdasarkan pengolahannya agregat dapat dibedakan atas agregat siap pakai dan agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai. Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat siap pakai sering disebut agregat alam. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan yaitu kerikil dan pasir. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai, adalah agregat yang diperoleh di bukit, gunung, ataupun sungai. Agregat di bukit dan di gunung umumnya ditemui dalam bentuk masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan dahulu dengan menggunakan mesin pemecah batu. Batu pecah umumnya lebih baik sebagai material perkerasan jalan karena mempunyai bidang pecahan, tekstur kasar, dan ukuran agregat sesuai yang diinginkan.

Krebs dan Walker (1971), menjelaskan bahwa agregat yang bersudut memberikan sifat *interlocking* (saling mengunci) sesamanya sehingga menambah stabilitas dari material pada campuran bergradasi terbuka. Sedangkan penggunaan kerikil yang berbentuk relatif bulat pada campuran aspal bergradasi terbuka sangat tidak baik karena akan menghasilkan stabilitas campuran yang lemah. Adapun penambahan batu pecah ukuran halus pada kerikil yang tidak dipecah ukuran kasar akan menambah stabilitas aspal beton pada setiap tipe campuran.

Berdasarkan ukuran butirnya, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah dalam spesifikasi baru campuran panas, 2005 membedakan agregat menjadi:

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih kasar dari saringan No. 8 (2,36 mm);
2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 8 (2,36 mm);
3. Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Bukhari (2004), menyatakan agregat adalah suatu kumpulan yang kolektif dari pada material-material mineral seperti pasir, kerikil, dan batu yang dipecahkan. Agregat didefinisikan oleh ASTM sebagai bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat pada umumnya terdiri 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume, oleh sebab itu agregat menjadi komponen utama dari perkerasan jalan. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Menurut (Suprpto, 2004), Agregat sebagai bahan utama dalam lapis perkerasan jalan berfungsi untuk menerima dan meneruskan beban yang diterima oleh lapisan perkerasan tersebut. Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas *agregat kasar*, *agregat halus* dan *bahan pengisi (filler)*. Batasan masing-masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukan.

Departemen Pekerjaan Umum dalam spesifikasi umum (2010) divisi 6.3 menyebutkan kriteria agregat kasar dan agregat halus yang digunakan sebagai bahan dalam campuran aspal beton adalah sebagai berikut :

1. Agregat Kasar
 - a. Agregat kasar untuk rancangan campuran panas adalah agregat yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas

dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan-ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium (Na) dan magnesium sulfat (MgSO ₄).		SNI.03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles		SNI.03-2417-1991	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI.03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas (ke dalam dari permukaan < 10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA	DOT'S Pennsylvanis Test Method, PTM no.621	85/80
	Lalulintas ≥ 1 juta ESA		95/90
Angularitas (ke dalam dari permukaan ≥ 10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA		60/50
	Lalulintas ≥ 1 juta ESA		80/75
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D-4791	Maks. 10%

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

- b. Fraksi agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal tunggal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.
- c. Agregat kasar yang kotor dan berdebu, yang mempunyai partikel lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) lebih besar dari 1% tidak boleh digunakan.

- d. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam tabel berikut. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih.
 - e. Fraksi individu agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin sedemikian rupa, sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.
2. Agregat Halus
- a. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan lolos ayakan No. 8
 - b. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
 - c. Pasir boleh dapat digunakan dalam campuran aspal. Persentase maksimum yang disarankan untuk lapis aspal beton adalah 15%.
 - d. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu (kadar aspal cocok, rongga udara, stabilitas, kelenturan, dan keawetan ketebalan) agar mutu tersebut terpenuhi, maka batu pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih. Bahan halus dari pemasok pemecah batu (*crusher stone*) harus diayak dan ditempatkan tersendiri sebagai bahan yang tidak

terpakai (kulit batu) sebelum proses pemecahan kedua (*secondary crushing*). Dalam segala hal, pasir yang kotor dan berdebu serta mempunyai partikel lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) lebih dari 8% atau pasir yang mempunyai nilai setara pasir (*sand equivalent*) kurang dari 40 sesuai dengan Pd M-03-1996-03, tidak diperkenankan untuk digunakan dalam campuran.

- e. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pecampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sedemikian rupa sehingga rasio agregat pecah halus dan pasir dapat dikontrol.
- f. Agregat halus harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Angularitas agregat halus

Pengujian		Standar	Nilai
Angularitas (ke dalam dari permukaan <10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA	AASHTO TP-33	Min. 40%
	Lalulintas ≥ 1 juta ESA		Min. 45%
Angularitas (ke dalam dari permukaan ≥10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA		Min. 40%
	Lalulintas ≥ 1 juta ESA		Min. 40%

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2010)

Sukirman (2003), menyatakan agregat yaitu sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya baik merupakan hasil alam atau buatan. Secara umum agregat dapat dibagi dengan istilah yang umum yaitu agregat kasar agregat halus dan *filler*. Pada setiap jenis agregat mempunyai spesifikasi gradasi yang sudah ditetapkan untuk

campuran aspal panas Indonesia. Agregat yang digunakan pada lapisan permukaan jalan adalah agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar (Sukirman, 2003). Campuran Aspal Panas secara umum baik itu Aspal Beton, *Hot Rolled Sheet* maupun *Split Masric Asphalt* mempunyai gradasi umum yang dapat dipakai untuk semua jenis *Hotmix*. Agregat kasar yang digunakan biasanya berupa batu pecah atau kerikil yang kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Komposisi agregat kasar yang dipakai di Indonesia untuk campuran aspal panas diperlihatkan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Komposisi Agregat Kasar

Ukuran Saringan		% berat Lolos
mm	inch	
63	2,5"	100
37,5	1,5"	100
19	3/4"	75
9,5	3/8"	54
4,75	No. 4	36
2,36	No. 8	29
1,18	No. 16	18
0,425	No. 40	11
0,075	No. 200	5

Sumber: Anonim (1987)

2. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari yang kasar sampai yang halus, tetapi dominan berukuran agregat halus, secara umum mempunyai ukuran antara 0,234-0,075 mm (Sukirman, 2003). Untuk agregat halus Campuran Aspal Panas juga

mempunyai spesifikasi umum yang dapat digunakan untuk Aspal Beton, *Hot Rolled Sheet* dan *Split Mastik Asphalt*. Menurut Bina Marga komposisi agregat halus yang ideal dipakai di Indonesia diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi Agregat Halus (Bina Marga)

Ukuran Saringan		% berat Lolos
mm	inch	
63	2,5"	100
37,5	1,5"	100
19	3/4"	40
9,5	3/8"	25
4,75	No. 4	7
2,36	No. 8	6
1,18	No. 16	5
0,425	No. 40	0
0,075	No. 200	0

Sumber: Anonim (1987)

Spesifikasi dari AASHTO juga dapat digunakan untuk campuran aspal panas di Indonesia. Sedangkan menurut standard internasional AASHTO (AASHTO 29 -70) komposisi agregat halus diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komposisi Agregat Halus (AASHTO M 29-70)

Ukuran Saringan		I	II	III
mm	inch			
9,5	3/8"	100		100
4,75	No. 4	95-100	100	80-100
2,36	No. 8	70-100	95-100	65-100
1,18	No. 16	40-80	85-100	40-80
0,6	No. 30	20-65	65-90	20-65
0,3	No. 50	7-40	30-60	7-40
0,15	No. 100	2-20	5-25	2-20
0,075	No. 200	0-10	0-5	0-10

Sumber : Sukirman (2003)

Menurut Final Report Consultant (2003), material yang digunakan terdiri dari agregat kasar (coarse aggregate), agregat halus (fine aggregate), pasir (sand), portland cement (PC) dan aspal.

Pengujian terhadap material harus diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat dan asphalt harus memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan AASHTO.
2. Hasil analisa saringan terhadap agregat harus memenuhi spesifikasi yang di tetapkan.

2.1.1 Sifat fisis agregat

Menurut Sukirman (1999), menyatakan agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan, dimana mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat dan 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung dan keawetan serta mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuan campuran dalam memikul beban lalu lintas. Agregat yang digunakan dengan material bitumen (aspal) hendaknya yang mudah berikatan dalam campuran dengan bahan pengikat aspal tersebut.

1. Berat jenis

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Berat jenis agregat meliputi berat jenis (*bulk specific gravity*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*) (Sukirman, 2003). Jadi dapat disimpulkan dalam bentuk rumus adalah sebagai berikut:

a) Berat jenis

$$B_{jk} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (2.1)$$

b) Berat jenis kering permukaan jenuh

$$B_j = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots (2.2)$$

c) Berat jenis semu

$$B_{js} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana:

B_k = berat benda uji kering oven (gr)

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

B_a = berat benda uji didalam air (gr)

2. Penyerapan agregat

Agregat berpori berguna untuk menyerap aspal sehingga ikatan antara agregat dan aspal baik, tetapi pori yang terlalu besar atau terlalu banyak dapat menyebabkan aspal yang terserap lebih banyak sehingga lapisan aspal menjadi tipis. Banyaknya pori yang ada diperkirakan dari banyaknya air yang terserap agregat dengan menggunakan persamaan berikut, dimana besarnya penyerapan dibatasi $\leq 3\%$ untuk lapis permukaan (Sukirman, 2003).

$$A_{bs} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

di mana:

A_{bs} = nilai absorpsi (%)

B_k = berat agregat kering oven (gr)

B_j = berat agregat kering permukaan jenuh (gr)

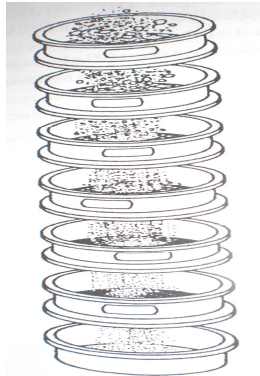
3. Kelekatan agregat terhadap aspal (*Affinity for asphalt*)
Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air (Sukirman, 2003). Kelekatan agregat terhadap aspal merupakan persentasi luas permukaan agregat yang tertutup aspal terhadap total luas permukaan yang dinilai secara pengamatan langsung (*visual*), yang nilainya harus lebih besar dari 95% luas (Sukirman, 2003).
4. Bentuk dan tekstur agregat
Berdasarkan bentuknya, partikel atau butir agregat dikelompokkan sebagai berbentuk bulat (*rounded*), lonjong (*elongated*), pipih (*flaky*), kubus (*cubical*), tak beraturan (*irregular*), atau mempunyai bidang pecahan (Sukirman, 2003).
5. Gradasi agregat
Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukuran dan merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan proses pelaksanaannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan (Sukirman, 2003). Satu set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup saringan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1.

Persyaratan gradasi agregat gabungan Laston (*AC-WC*) syarat mutu aspal keras dan mutu agregat yang akan digunakan serta persyaratan karakteristik campuran beraspal panas Laston *AC-WC* masing-masing diperlihatkan pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Persyaratan Campuran Beraspal Panas AC-WC

Sifat-Sifat Campuran	Persyaratan
Pencampuran aspal, %	Maks. 1,7
Jumlah tumbukan per bidang, kali	75
Rongga dalam campuran (%)	3,5 - 5,5
Perongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min. 15
Rongga terisi aspal (%)	Min. 65
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800
Kelelehan (mm)	Min. 3
Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min. 75
VIM (%) pada kepadatan mutlak	Min. 2,5

Sumber : Sukirman 2003



Sumber: Sukirman (2003)

Gambar 2.1 Satu Set Saringan

Sukirman (1999) menyatakan bahwa gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukuran dan merupakan hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Dalam hal ini gradasi terdiri dari tiga jenis, yaitu gradasi seragam (uniform graded), gradasi rapat/menerus (dense graded), dan gradasi jelek/senjang (poorly graded). Salah satu tipe gradasi rapat adalah gradasi rapat tipe IV. Spesifikasi campuran dari gradasi rapat tipe IV diperlihatkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.7 Persyaratan Gradasi Agregat Gabungan AC-WC

Ukuran Saringan		Persyaratan (% berat lolos)			
Inchi	mm	Titik Kontrol		Daerah Larangan	
		Min	Maks	Min	Maks
¾	19	100	100		
½	12,5	90	100		
⅜	9,5		90		
No.4	4,75				
No.8	2,36	28	58	39,1	39,1
no.16	1,18			25,6	31,6
no.30	0,6			19,1	23,1
no.50	0,3			15,5	15,5
no.200	0,075	4	10		

Sumber : Sukirman (2003)

Tabel 2.8 Spesifikasi Agregat Bergradasi Rapat Tipe IV

No.	Saringan	Ukuran (mm)	Persen lolos (%)
1.	¾"	19,05	100
2.	½"	12,7	80-100
3.	⅜"	9,52	70-90
4.	No. 4	4,76	50-70
5.	No. 8	2,38	35-50
6.	No. 30	0,59	18-28
7.	No. 50	0,279	13-23
8.	No. 100	0,149	8-16
9.	No. 200	0,074	4-10

Sumber : Dairi, 1995

Menurut Krebs dan Walker (1971), gradasi merupakan kunci utama dari sifat-sifat agregat. Berbagai macam metode dalam menyatakan distribusi ukuran agregat telah ditemukan. Salah satu dari metode tersebut adalah dengan menggunakan Rumus Fuller yaitu:

$$P = 100(d / D)^n \dots\dots\dots (2.5)$$

di mana:

P = Persen lolos saringan

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum dari agregat

n = Koefisien (0,45–0,5 untuk gradasi menerus)

2.1.2 Bahan pengisi (*Filler*)

Menurut Suprpto (2004), menyebutkan bahwa filler adalah suatu bahan berbutir halus yang lewat ayakan no. 30 (595 u) US Standart Sieve dan 65% lewat ayakan no. 200 (74 u). Bahan filler dapat berupa: debu batu, kapur, portland cement, atau bahan lainnya. Pembuatan lapis permukaan dari beton aspal diperlukan agregat dengan gradasi tertentu, untuk itu biasanya dibutuhkan, disamping agregat kasar, agregat halus juga pengisi/filler. Campuran agregat-agregat itu akan membentuk gradasi tertentu sesuai dengan yang dipersyaratkan. Dalam campuran beton aspal, filler memiliki peranan tersendiri untuk mendapatkan beton aspal yang memenuhi ketentuannya. Penggunaan filler dalam campuran beton aspal akan sangat mempengaruhi karakteristik beton aspal tersebut, efek tersebut dapat dikelompokkan:

1. Efek penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal filler.
 - a. Efek penggunaan filler terhadap penggunaan viskositas campuran:
 - Efek penggunaan berbagai jenis filler terhadap viskositas campuran tidak sama.
 - Luas permukaan filler yang makin besar akan menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang berluas permukaan kecil.

- Adanya daya affinitas, menyebabkan jumlah aspal yang dapat diserap oleh berbagai filler cukup bervariasi. Pada keadaan dimana viskositas naik, jumlah aspal yang diserap makin besar.
- b. Efek penggunaan filler terhadap daktalitas dan penetrasi campuran:
 - Kadar filler yang semakin tinggi akan menurunkan daktalitas, hal ini juga terjadi pada suhu.
 - Jenis filler yang akan menaikkan viskositas aspal, akan menurunkan penetrasi aspal.
 - c. Efek suhu dan pemanasan
 - Jenis dan kadar filler memberikan pengaruh yang saling berbeda pada berbagai temperatur.
2. Efek penggunaan filler terhadap karakteristik campuran beton aspal kadar filler dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penggelaran dan pemadatan. Disamping itu kadar dan jenis filler akan berpengaruh terhadap sifat elastic campuran dan sensitifitas terhadap air. Hasil penelitian pengaruh penggunaan filler terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut:
 - a. Filler diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan dan karakteristik lain beton aspal.
 - b. Filler dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal:
 - Sebagai bagian dari agregat, filler akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
 - Bila dicampur dengan aspal, filler akan membentuk bahan pengikat tinggi sehingga

- mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
- c. Sifat aspal (daktalitas, penetrasi, viskositas) diubah secara drastis oleh filler, walaupun kadarnya relatif rendah dibanding pada campuran beton aspal, penambahan filler pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.
 - d. Pada kadar filler yang umum digunakan dalam campuran beton aspal, daktalitas campuran aspal-filler akan mencapai nol. Sedangkan pada suhu dan kadar filler yang sama, nilai penetrasi campuran aspal-filler akan turun sampai $< 1/3$ dari penetrasi semula.
 - e. Viskositas campuran aspal filler pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran lebar, tergantung pada jenis filler dan kadarnya.
 - f. Hasil test menunjukkan bahwa ada hubungan yang baik antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran, disarankan suhu perlu dinaikkan bila memadatkan campuran dengan filler-aspal berkonsistensi tinggi.
 - g. Hasil test menunjukkan ada hubungan yang baik antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar void yang sama.
 - h. Sensitivitas campuran terhadap air pada tipe dan kadar filler yang berbeda menunjukkan variasi yang besar. Hasil test menunjukkan bahwa sensitivitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar filler yang sensitive air.
 - i. Dari hasil studi yang telah ada, perlu ada control terhadap penambahan filler alami, dengan cara
 - Particle size analysis dengan hydrometer method, yaitu kandungan clay ($\leq 5\%$) perlu dibatasi.
 - Plastic index, nilainya juga perlu dibatasi.

- Immersion-compression test, berdasarkan pada sensitivitas terhadap air, filler dapat ditolak/ tidak diperlukan atau kadarnya disesuaikan sampai batas-batas yang diterima.

Departemen Pekerjaan Umum dalam spesifikasi umum (2010) divisi 6.3 menyebutkan bahan pengisi (*filler*) untuk campuran aspal adalah :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan harus terdiri dari debu batu kapur, *cement portland*, abu terbang, abu tanur semen, atau bahan non plastis lainnya dari sumber manapun. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan secara basah sesuai dengan SK SNI M-02-1994-03 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
3. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan maka proporsi maksimum yang diizinkan adalah 1% dari berat total campuran aspal.

2.2 Aspal

Menurut Bukhari (2004) menyatakan aspal adalah suatu bahan pelekat yang berwarna hitam sampai coklat tua, dimana unsur utama bitumen, yang secara berangsur-angsur akan menjadi cair bila dipanaskan. Menurut Suprpto (2004) aspal merupakan senyawa hydrogen (H) dan carbon (C) yang terdiri dari parafins, naptene, dan aromatics. Bahan-bahan tersebut membentuk kelompok-kelompok yang disebut asphaltene, oils, dan resins.

Menurut Bina Marga (1987), aspal untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak mengandung air, bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak berbusa, dan memenuhi persyaratan tertentu. Aspal keras adalah suatu jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan yang hampa udara, yang pada temperatur normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat. Umumnya aspal keras yang digunakan untuk Campuran Aspal Panas di Indonesia baik itu Aspal Beton, Hot Rolled Sheet maupun Spilt Masric Asphalt adalah Aspal jenis pen 60/70. Aspal jenis pen 60/70 yang baik harus memenuhi.

Papacostas dan Prevedouros (2005), menyebutkan bahwa aspal adalah semen keras yang mudah melekat, tidak tembus air, dan awet. Sukirman (2003) menyebutkan bahwa aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen.

Tabel 2.9. Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

Jenis	Syarat	Satuan
Pengujian	Pen 60/70	
Penetrasi	60-70	0,1 mm
Titik Lembek	48-58	°C
Daktalitas	Min100	Cm
Kelarutan dlm trichloroethylene	Min99	%
Kelekatan	Min95	%
Titik Nyala	Min 200	°C
Berat Jenis	Min 1	Gr/Cm
Kehilangan Berat:	Maks 0.8	%
- Penetrasi Set kehil Berat	Min54	%Asli
- Titik Lembek	-	°C
- Daktalitas Set.Kehil.Berat	Min50	Cm
Kadar Air	-	%
Perkiraan Suhu Pencampuran	-	"C
Perkiraan Suhu Pematatan	-	°C

Sumber: Sukirman,1999

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang didapat di suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi. Berdasarkan bentuk, Sukirman (2003) membedakan aspal atas aspal padat, aspal cair, dan aspal emulsi. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat. Aspal cair (*cut back asphalt*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. syarat yang telah ditetapkan oleh AASHTO (AASHTO M - 26) diperlihatkan pada Tabel 2.9.

Menurut Sukirman (2003), Untuk menentukan kadar aspal tengah (Pb) dalam pembuatan campuran benda uji dapat dihitung dengan persamaan (2.6).

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler) + K \dots (2.6)$$

di mana :

P_b = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan saringan No.8

FA = persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan Saringan No. 200

Filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200

K = konstanta 0,5–1 untuk lapis AC (*Asphalt Concrete*).

Menurut Sukirman (1999), aspal adalah suatu material yang berwarna hitam atau coklat tua yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan berfungsi sebagai :

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

Dalam hal ini aspal harus mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik.

2.2.1 Sifat-sifat Fisis Aspal

Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2005) menyebutkan beberapa persyaratan aspal keras pen 60/70 dan standar pengujiannya seperti pada Tabel 2.10. Pengujian penetrasi aspal adalah pengujian tingkat kekerasan aspal pada suatu suhu tertentu yang digunakan untuk pengelompokan aspal. Aspal dengan tingkat kekerasannya yang berbeda akan menghasilkan kinerja yang berbeda-beda pula bergantung kepada iklim tempat perkerasan jalan akan dibangun. Aspal dengan penetrasi rendah lebih baik untuk digunakan

pada iklim panas, begitu pula sebaliknya dengan aspal penetrasi tinggi (Krebs dan Walker, 1971).

Woods (1960) menjelaskan bahwa nilai penetrasi aspal yang dihubungkan dengan nilai titik lembeknya akan menunjukkan nilai kepekaan aspal terhadap temperatur (*susceptibility*). Nilai kepekaan aspal terhadap temperatur tersebut didapat dari nomogram hubungan penetrasi dan titik lembek aspal.

Tabel 2.10 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

Pengujian	Standar	Nilai
Penetrasi, 25° C; 100 g; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-79
Titik lembek, ° C	SNI 06-2434-1991	48-58
Berat jenis	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0

Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2005)

Kepekaan terhadap temperatur merupakan fungsi dari percepatan perubahan kepadatan aspal akibat perubahan temperatur. Kepekaan terhadap temperatur mempengaruhi kinerja aspal sebagai material perkerasan jalan, dimana penggunaan aspal dengan kepekaan terhadap temperatur yang sesuai akan membuat perkerasan tidak cepat getas saat udara dingin dan tidak cepat meleleh saat udara panas. Sukirman (2003) menjelaskan pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan.

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat volume aspal dan berat volume air suling pada suhu 25° C. Berat jenis merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam merencanakan

campuran aspal (Bukhari, et al, 2007). Dalam pemeriksaan di laboratorium, berat jenis aspal dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Berat Jenis Aspal} = \frac{C - A}{[(B - A) - (D - C)]} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- A = berat piknometer (dengan penutup).
- B = berat piknometer berisi air.
- C = berat piknometer berisi aspal.
- D = berat piknometer berisi aspal dan air.

2.2.2 Sifat kimiawi aspal

Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain, sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Mutu kimiawi aspal ditentukan dari komponen pembentuk aspal (Sukirman, 2003). Metode Rostler menentukan komponen fraksional aspal melalui daya larut aspal didalam asam belerang (sulfuric acid). Terdapat 5 komponen fraksional aspal berdasarkan daya reaksi kimiawinya didalam sulfuric acid, yaitu :

1. Asphaltenes (A)
2. Nitrogen bases (N)
3. Acidaffin I (A)
4. Acidaffin II (A2)
5. Paraffins (P)

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 temperatur.

2.2.3 Fungsi aspal sebagai bahan perkerasan

(Sukirman, 2003), menyatakan Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
2. Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori –pori yang ada didalam butir agregat itu sendiri.

Untuk memenuhi kedua fungsí aspal tersebut dengan baik, maka aspal harus memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik, serta pada saat dilaksanakan mempunyai tingkat kekentalan yang tertentu.

2.2.4 Sifat Volumetrik Beton Aspal

Sifat volumetrik aspal beton adalah parameter yang menunjukkan persen pori aspal beton, persen pori campuran agregat, dan persen pori campuran agregat yang terisi aspal. Sifat volumetrik penting untuk mengontrol sifat fleksibilitas aspal beton. Sukirman (2003) memberikan rumus-rumus yang terkait dengan perhitungan sifat volumetrik aspal beton, sebagai berikut.

1. Berat jenis *bulk* dari agregat campuran
Berikut adalah persamaan untuk mencari Berat jenis *bulk* dari agregat campuran.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (2.8)$$

di mana:

G_{sb} = berat jenis *bulk* agregat campuran.

P_1, P_2, \dots, P_n = persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total agregat campuran.
 $G_{sb1}, G_{sb2}, \dots, G_{sbn}$ = berat jenis *bulk* dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1 sampai dengan fraksi n).

2. Berat jenis efektif dari agregat campuran
 Berikut adalah persamaan untuk mencari berat jenis efektif dari agregat campuran.

$$G_{se} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{se1}} + \frac{P_2}{G_{se2}} + \frac{P_3}{G_{se3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sen}}} \dots \dots \dots (2.9)$$

di mana:

G_{se} = berat jenis efektif agregat campuran.
 P_1, P_2, \dots, P_n = persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total agregat campuran.
 $G_{se1}, G_{se2}, \dots, G_{sen}$ = berat jenis efektif dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1 sampai dengan fraksi n).

3. Berat jenis maksimum aspal beton sebelum dipadatkan
 Berikut adalah persamaan untuk mencari berat jenis maksimum aspal beton sebelum dipadatkan.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \dots \dots \dots (2.10)$$

di mana:

- Gmm = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan.
 Pa = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %.
 Ps = kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat.
 Ga = berat jenis aspal.
 Gse = berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat.

4. Berat jenis *bulk* dari aspal beton padat
 Berikut adalah persamaan untuk mencari berat jenis *bulk* dari aspal beton padat.

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \dots\dots\dots (2.11)$$

di mana:

- Gmb = berat jenis bulk dari aspal beton padat.
 Bk = berat kering aspal beton padat, gram.
 Bssd = berat kering permukaan dari aspal beton yang telah dipadatkan, gram.
 Ba = berat aspal beton padat di dalam air, gram.
 Bssd - Ba = volume *bulk* dari aspal beton padat, jika berat jenis air diasumsikan 1.

5. Kadar aspal yang terabsorpsi
 Berikut adalah persamaan untuk mencari kadar aspal yang terabsorpsi.

$$Pab = 100 \frac{Gse - Gsb}{GsbxGse} Ga \dots\dots\dots (2.12)$$

di mana:

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat (% dari berat agregat).

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat.

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat.

G_a = berat jenis aspal.

6. Kadar aspal efektif dari aspal beton
Berikut adalah persamaan untuk mencari kadar aspal efektif dari aspal beton.

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \dots\dots\dots (2.13)$$

di mana:

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat aspal beton padat.

P_a = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %.

P_s = kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat.

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % terhadap berat agregat.

7. Persentase pori antar butir campuran agregat (VMA)
Berikut adalah persamaan untuk mencari Persentase pori antar butir campuran agregat (VMA).

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}}\right) \dots\dots\dots (2.14)$$

di mana:

VMA = volume pori antara agregat di dalam aspal beton padat, % dari volume *bulk* aspal beton padat.

Gmb = berat jenis *bulk* dari aspal beton padat.

Ps = kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat.

Gsb = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk aspal beton padat.

8. Persentase pori benda uji
Berikut adalah persamaan untuk mencari persentase pori benda uji.

$$VIM = (100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}) \dots\dots\dots (2.15)$$

di mana:

VIM = volume pori dalam aspal beton padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat.

Gmm = berat jenis maksimum dari aspal beton yang belum dipadatkan.

Gmb = berat jenis *bulk* dari aspal beton padat.

9. Persentase pori antar butir campuran agregat yang terisi aspal
Berikut adalah persamaan untuk mencari persentase pori antar butir campuran agregat yang terisi aspal.

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.16)$$

di mana:

VMA = volume pori antara agregat di dalam aspal beton padat, % dari volume *bulk* aspal beton padat.

VIM = volume pori dalam aspal beton padat, % dari volume *bulk* aspal beton padat.

10. Tebal selimut aspal

Berikut adalah persamaan untuk mencari tebal selimut aspal.

$$\text{Tebal Selimut Aspal} = \frac{Pae}{Ga} \times \frac{1}{LP.Ps} \times 1000 \mu m \dots\dots (2.17)$$

di mana:

Pae = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat aspal beton padat.

Ga = berat jenis aspal.

Ps = kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat.

LP = luas permukaan total dari agregat campuran di dalam aspal beton padat.

2.3 Beton aspal

Sukirman (2003) menyatakan beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampuran pada temperatur tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Temperatur pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka temperatur pencampuran umumnya diantara 145°-155° C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Beton aspal memiliki tujuh karakteristik campuran berupa

stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan, kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan.

2.3.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang menjalani volume lalu lintas tinggi dan dominasi terdiri dari kendaraan berat, membentuk perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tertentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi (Sukirman, 2003). Nilai stabilitas beton aspal dipengaruhi oleh:

- a. Gesekan internal, yaitu berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi antara butir agregat, saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak, dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga aspal yang dapat ditambahkan dalam campuran menjadi sedikit. Hal ini berakibat film aspal menjadi tipis. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.
- b. Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Daya kohesi

terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal. Sifat *rheologi* aspal menentukan kepekaan aspal untuk mengeras dan rapuh, yang akan mengurangi daya kohesinya.

2.3.2 Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)

Durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur. Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran (Sukirman, 2003). Secara umum durabilitas dari sebuah campuran dapat ditingkatkan dengan tiga metode yaitu:

- a. Menggunakan campuran perancangan dengan gradasi rapat atau agregat yang tahan uap lembab.
- b. Maksimalkan ketebalan film aspal pada agregat.
- c. Merapatkan kedudukan campuran sampai 8% atau rongga udara lebih sedikit.

2.3.3 Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbun yang dibuat atas

tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi (Sukirman,2003).

2.3.4 Kekesatan/Tahanan geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga tidak tergelincir ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tertinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butur-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan (Sukirman,2003).

2.3.5 Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigu Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur (*lentuk/rutting*) dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi (Sukirman,2003).

2.3.6 Mudah dilaksanakan (*Workability*)

Mudah dilaksanakan adalah kemampuan beton aspal campuran panas untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekatan aspal terhadap perubahan temperatur, gradasi, dan kondisi agregat. Revisi atau kreksi terhadap rancangan

campuran dapat dilakukan jika ditentukan kesukaran dalam pelaksanaannya (Sukirman,2003).

2.3.7 Kedap air (*Impermeabilitas*)

Kedap air (*Impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran. Tingkat *impermeabilitas* beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya. Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan, seperti mobil penumpang, sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi dari pada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi, sedangkan jalan yang melayani lalu lintas berat sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki sifat stabilitas tinggi. (Sukirman,2003).

Sukirman (1999), menjelaskan bahwa karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser, kedap air, kemudahan pekerjaan, ketahanan kelelahan. Menurut Krebs dan Walker (1971), durabilitas beton aspal adalah kemampuan resistensi beton aspal terhadap disintegrasi akibat beban lalu lintas. Resistensi di sini mengalami reduksi akibat aksi weathering atau akibat degradasi mekanis agregat.

Kadar aspal total dalam aspal beton adalah kadar aspal efektif yang membungkus butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat, dalam satuan berat (Sukirman, 2003). Kadar aspal total didapat dari analisis hasil pengujian Marshall terhadap benda uji yang menggunakan beberapa variasi kadar aspal awal.

Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2005) memberikan rumus perkiraan awal kadar aspal digunakan persamaan 2.6)

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampuran pada temperatur tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat. Temperatur pada saat pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Apabila digunakan semen aspal, maka temperatur pada saat pencampuran umumnya berkisar antara 145° sampai dengan 155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas atau *hotmix* (sukirman, 2003).

2.4 Lapis aspal beton

Sukirman (2003) menyatakan bahwa beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphal Concrete*). Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Tebal nominal minimum Laston 4-6 cm. Adapun fungsi dari AC (*Asphal Concrete*) adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pendukung beban lalu lintas.
2. Sebagai pelindung konstruksi di bawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca.
3. Menyediakan permukaan jalan yang rata dan licin.

Sesuai dengan fungsinya Laston mempunyai 3 macam campuran yaitu sebagai berikut:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphal Concrete-Wearing Course*). Tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm. AC-WC Multigrade, merupakan salah satu implementasi perkembangan teknologi *hot mix* di Indonesia, dinilai sangat cocok digunakan untuk jalan raya dengan lalu lintas berat dan padat/cenderung macet, serta diutamakan untuk digunakan pada daerah tropis. Untuk dapat memikul beban tertentu, suatu material perkerasan harus mempunyai kekuatan (*strength*) atau modulus tertentu. Dan untuk mencapai kekuatan tertentu tersebut, material yang merupakan campuran antara agregat dan aspal (untuk lapis permukaan lentur) harus mempunyai kepadatan (*density*) sesuai persyaratan atau spesifikasi yang telah ditentukan.
2. Laston sebagai lapis pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphal Concrete- Binder Course*). Tebal nominal minimum AC-BC adalah 5 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphal Concrete- Base*). Tebal nominal minimum adalah 6 cm.

Sedangkan sifat dari AC (*Asphal Concrete*) dapat dibagi atas 5 fungsi yaitu sebagai berikut:

1. Tahan terhadap keausan akibat beban lalu lintas
2. Kedap air
3. Mempunyai nilai struktural
4. Mempunyai stabilitas yang tinggi
5. Peka terhadap penyimpangan dan pelaksanaan

Tabel 2.11 Perkerasan Campuran Beraspal dan Toleransi

Jenis Campuran		Simbol	Nominal Tebal Minimum (mm)	Toleransi Tebal (mm)
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	30	± 3,0
	Lapis Pondasi	HRS-Base	35	± 3,0
Laston	Lapis Aus	AC-WC	40	± 3,0
	Lapis Pengikat	AC-BC	50	± 4,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	60	± 5,0

Sumber: Anonin, 1987

Bahan AC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* (jika diperlukan), dan aspal keras. Penggunaan hasil campuran aspal dari beberapa pabrik yang berbeda tidak diperbolehkan, walaupun jenis aspalnya sama.

Perbedaan kerataan permukaan campuran lapis aus (HRS-WC dan AC-WC) yang telah selesai dikerjakan harus memenuhi ketentuan berikut:

1. Penampang melintang; apabila diukur dengan Mistar lurus sepanjang 3 meter yang diletakkan tepat diatas bahu jalan tidak boleh melampaui 5 mm untuk lapis aus atau 10 mm untuk lapis pondasi. Perbedaan setiap penampang melintang tidak boleh melampaui yang ditunjukkan dalam Gambar Rencana.
2. Perataan permukaan; setiap ketidakrataan bila diukur dengan mistar lurus berjalan (*rolling*) sepanjang 3 meter yang diletakkan sejajar dengan sumbu jalan tidak boleh melampaui 5 mm

Lapis Aspal beton adalah beton aspal yang bergradasi menerus, lapis aspal beton (laston) juga sering disebut dengan AC (*Asphal Concrete*), dan karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Tebal minimum Laston berkisar antara 4-6 cm, (Sukirman,2003).

Sebagaimana dengan penjelasan di atas fungsi dari AC (*Asphal Concrete*) adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pendukung beban lalu lintas.
2. Sebagai pelindung konstruksi di bawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca.
3. Menyediakan permukaan jalan yang rata dan licin.

Sesuai dengan fungsinya Laston mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphal Concrete-Wearing Course*). Tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapis pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphal Concrete- Binder Course*). Tebal nominal minimum AC-BC adalah 5 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphal Concrete- Base*). Tebal nominal minimum adalah 6 cm.

Sedangkan sifat dari AC (*Asphal Concrete*) adalah:

1. Tahan terhadap keausan akibat beban lalu lintas
2. Kedap air
3. Mempunyai nilai struktural
4. Mempunyai stabilitas yang tinggi
5. Peka terhadap penyimpangan dan pelaksanaan

Bahan *Asphal Concrete* (AC) terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* (jika diperlukan), dan aspal keras.

Lapis AC-BC merupakan lapisan yang berfungsi sebagai lapisan pengikat pada konstruksi perkerasan jalan, lapis AC – BC berada diantara lapisan AC-Base (*Asphalt Concrete- Base*) dan lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*). Lapisan pengikat ini juga berfungsi sebagai pendukung beban lalu lintas terutama pada lalu lintas berat dan juga berfungsi sebagai pelindung untuk lapisan dibawahnya, baik itu dari kerusakan yang diakibatkan oleh beban kendaraan diatasnya maupun yang diakibatkan oleh pengaruh air dan cuaca. Lapis AC – BC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan filler, serta aspal keras. Tebal dari lapis AC – BC minimal tidak kurang dari 4 cm (Sukirman, 2003).

Tabel 2.12 Persyaratan gradasi untuk campuran AC – BC

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos
ASTM	(mm)	AC - BC
1 1/2"	37,5	
1"	25	100
3/4"	19	90 - 100
1/2"	12,5	Maks 90
3/8"	9,5	
No.8	2,36	23 - 39
No.16	1,18	
No.30	0,600	
No.200	0,075	4,0 – 8,0
Daerah Larangan		
No.4	4,75	
No.8	2,36	34,6
No.16	1,18	22,3 – 28,3
No.30	0,600	16,7 – 20,7
No.50	0,300	13,7

Sumber : Depkimpraswil 2002

2.5 Pemadatan Lapangan

Sukirman (1999) memaparkan cara pemadatan lapangan terhadap aspal beton yaitu, campuran aspal beton panas dari AMP diangkut dengan menggunakan truk pengangkut yang ditutupi terpal, dibawa ke lokasi dan dihampar sesuai dengan persyaratan yang ditentukan dan harus segera dipadatkan pada temperatur di bawah 125°C dan sudah harus selesai pada temperatur di atas 80°C . Pemadatan dilakukan dalam 3 tahap yang berurutan yaitu :

1. Pemadatan awal (breakdown rolling)

Pemadatan awal berfungsi untuk mendudukan material pada posisinya dan sekaligus memadatkannya. Alat yang digunakan adalah mesin gilas roda baja (steel roller) dengan tekanan roda antara 4000-6000 kg/0,1 m lebar roda.

2. Pemadatan antara kedua (secondary rolling)

Pemadatan antara merupakan pemadatan seperti pemadatan akibat beban lalu lintas. Alat yang digunakan adalah mesin gilas dengan roda karet (tire roller) dengan tekanan roda $8,5 \text{ kg/cm}^2$.

3. Pemadatan akhir (Finishing rolling)

Pemadatan akhir dilakukan untuk menghilangkan jejak-jejak roda ban. Penggilasan dilakukan pada temperatur di atas titik lembek aspal.

Bowles (1991) menjelaskan bahwa energi pemadatan di lapangan dapat diperoleh dari mesin gilas, alat-alat pemadat getaran, dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan.

2.6 Pemadatan Laboratorium

Bowles (1991) menjelaskan bahwa pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan

material dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Di laboratorium benda uji untuk mendapatkan pengendalian mutu, dipadatkan dengan menggunakan daya tumbukan (atau dinamik), alat penekan, atau tekanan statik yang menggunakan piston dan mesin tekanan. Selanjutnya Ismail (1995) menyajikan formula untuk menghitung energi tumbukan yaitu :

$$CE = b.t.j \frac{1}{v} \dots\dots\dots (2.18)$$

di mana:

- b = berat penumbuk (hammer), kg
- t = tinggi jatuh penumbuk hammer, m
- j = jumlah tumbukan per lapisan
- l = jumlah lapisan
- v = volume tabung cetak (mold), m³

2.7 Pengujian Marshall

Kosasih dan Agus (1997) menyimpulkan bahwa pengujian Marshall untuk menentukan disain campuran agregat-aspal yang optimum masih merupakan persyaratan utama dalam pekerjaan jalan di Indonesia, khususnya lapis permukaan perkerasan lentur. Hal ini disebabkan selain karena teori disain struktur perkerasan yang berlaku masih didasarkan pada pendekatan empiris, juga karena alat pengujian Marshall relatif sudah sangat umum digunakan, serta proses pengujian Marshall dapat dilakukan dengan cukup mudah.

Campuran agregat-aspal untuk bahan aspal beton menurut metode Bina Marga (1983) ditentukan dari hasil pengujian Marshall melalui 6 persyaratan, yaitu stabilitas, kelelahan, kekakuan (*quotient*), rongga udara, rongga dalam agregat dan indeks perendaman.

Sedangkan, metode *Asphalt Institute* (1983) dan metode *Japan Road Association* (1983) juga menetapkan persyaratan tambahan, yaitu rongga terisi aspal. Akan tetapi, kedua metode ini tidak secara langsung mensyaratkan rongga dalam agregat, kekakuan dan indeks perendaman. Parameter Marshall, khususnya nilai stabilitas, setelah dikonversikan ke dalam nilai-a (koefisien kekuatan relatif), digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Oleh karena itu, keandalan dan ketelitian dari hasil pengujian Marshall secara tidak langsung juga akan mempengaruhi kualitas struktur perkerasan secara keseluruhan.

Tabel 2.13 Kadar Aspal yang Memenuhi tiap-tiap Parameter Marshall

No	Parameter Marshall	Kadar Aspal yang Memenuhi (%)
1	Stabilitas	4,0 – 6,0
2	Flow	4,0 – 5,6
3	VMA	4,0 – 6,0
4	Density	4,0 – 6,0
5	VIM	4,9 – 5,8
6	VFB	5,2 – 5,9
7	Marshall Quotient	4,0 – 5,7

Sumber : Asphalt Institute (1983)

Parameter penting yang ditentukan dalam pengujian ini (Pengujian Marshall) adalah nilai stability dan flow yang dibaca langsung pada alat marshall. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat marshall, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inci/menit atau 51 mm/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari proving ring, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai flow yang dapat dibaca pada flowmeternya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring,

dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Parameter lain yang penting adalah berat isi (*Density*), rongga dalam butiran (VMA), rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFB) dan *Marshall Quotient*. (Sukirman,2003).

Pengujian Marshall dapat digunakan untuk merencanakan campuran aspal, serta memeriksa sifat-sifat aspal beton. Prinsip dasar dari metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan *flow*, serta analisis kepadatan dan pori dari aspal beton yang terbentuk. Sukirman (2003) menyebutkan alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2005) menunjukkan persyaratan parameter Marshall terhadap Laston *wearing course*, sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2.13

Tabel 2.14 Persyaratan Sifat-sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran	Min.	Maks.
VIM (%)	3,5	5,5
VMA (%)	15	-
VFA (%)	65	-
Stabilitas Marshall (kg)	800	-
<i>Flow</i> (mm)	3	-
Marshall <i>quotient</i> (kg/mm)	250	-
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60° C	75	-

Sumber: Depkimpraswil (2005)\

Menurut Sukirman (2003), menyatakan kinerja aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan marshall. Pemeriksaan dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (Stabilitas), kelelahan (Flow). Alat marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring dan dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran.

2.7.1 Penentuan kerapatan (density)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai *density* biasanya digunakan untuk membandingkan nilai kepadatan rata-rata lapisan yang telah selesai di lapangan dengan kepadatan di laboratorium yang biasanya $\geq 96\%$. Kerapatan ini dipengaruhi oleh temperatur pemadatan, kadar aspal, kualitas dan jenis fraksi agregat penyusun campuran.

$$Density = \frac{\text{berat ker ing benda uji (gr)}}{\text{volume benda uji (cm}^3 \text{)}} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.7.2 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas dinyatakan dalam kilogram, pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi atau perubahan bentuk permanen (*permanent deformation*) seperti gelombang (*washboarding*), alur (*rutting*) dan *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk butir, kualitas, tekstur permukaan, dan gradasi agregat yaitu pada gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar butir agregat (*interlocking*), daya lekat, dan kadar aspal dalam campuran. Nilai stabilitas

diperoleh langsung dari pembacaan arloji stabilitas pada alat uji Marshall.

$$NS(kg) \equiv PA \times KPR \times KTB \dots\dots\dots (2.20)$$

di mana:

- NS = Nilai stabilitas (kg)
- PA = Nilai pembacaan arloji stabilitas
- KPR = Kalibrasi proving ring
- KTB = Koreksi tebal benda uji

2.7.3 Pengujian kelelahan (*flow*)

Flow adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, dan temperatur pemadatan. Besarnya nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji *flowmeter* saat melakukan pengujian Marshall.

Volume pori dalam agregat campuran VMA (*voids in the mineral aggregate*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat dalam beton aspal padat atau volume pori dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan dinyatakan dalam persentase. VMA diperlukan dalam campuran agregat, VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Faktor-faktor yang mempengaruhi VMA antara lain struktur/distribusi target gradasi (jumlah fraksi agregat dalam campuran), ukuran diameter butir terbesar, energi pemadat, kadar aspal, tekstur permukaan, bentuk butiran, dan serapan air oleh agregat. VMA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$VMA = \left\{ 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right\} \% \text{ dari volume bulk } (2.21)$$

di mana :

- VMA = volume pori antara agregat didalam beton aspal padat
- G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat
- P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat
- G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

2.7.4 Volume pori dalam beton aspal padat (VITM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (*VITM = voids in the mix*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal yang dinyatakan dalam persentase. VITM merupakan volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VITM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VITM yang terlalu besar akan mengakibatkan berkurang kekedapan airnya (bersifat *porous*), yang menyebabkan mudah teroksidasi dan akan mengurangi keawetannya yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VITM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

2.7.5 Volume pori antara butir agregat terisi aspal (VFWA)

Volume pori beton aspal padat (setelah mengalami proses pemadatan) yang terisi oleh aspal atau volume film/selimut aspal (*VFWA = voids filled with asphalt*). Persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFWA. Maka, VFWA adalah

bagian dari VMA terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFWA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi VFWA yaitu kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat (jumlah tumbukan) dan temperatur pemadatan, serapan air oleh agregat. VFWA yang terlalu besar akan dapat menyebabkan aspal naik kepermukaan pada temperatur yang tinggi, sedangkan untuk VFWA yang terlalu kecil dapat menyebabkan campuran bersifat porous dan mudah teroksidasi.

2.7.6 Perhitungan *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*, yang dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Bila campuran aspal agregat mempunyai angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi menunjukkan sifat kaku dan getas (*brittle*), sebaliknya bila nilai kelelahan tinggi dan stabilitas rendah maka campuran cenderung plastis. Besarnya nilai *Marshall Quotient (MQ)* dapat dihitung dengan:

$$MQ = \frac{\text{Nilai Stabilitas (kg)}}{\text{Nilai Flow (mm)}} \dots\dots\dots (2.22)$$

di mana:

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

2.8 Kepadatan dan Daya Dukung Tanah

Menurut Sukirman (1999), beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan-

lapisan di bawahnya dan akhirnya diterima oleh tanah dasar. Dengan demikian tingkat kerusakan konstruksi perkerasan selama masa pelayanan tidak saja ditentukan oleh kekuatan dari lapisan perkerasan tetapi juga tanah dasar. Daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase dan lain-lain. Tanah dengan tingkat kepadatan tinggi mengalami perubahan kadar air kecil dan mempunyai daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah sejenis yang tingkat kepadatannya lebih rendah. Tingkat kepadatan dinyatakan dalam persentase berat volume kering (γ_k) tanah terhadap berat volume kering maksimum ($\gamma_{k_{maks}}$).

Daya dukung tanah dasar (DDT), adalah merupakan salah satu parameter yang dipakai dalam nomogram penetapan indeks tebal perkerasan (ITP). Nilai daya dukung tanah dasar didapat dari hasil grafik korelasi CBR tanah dasar terhadap DDT, secara analitis nilai DDT dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Sukirman, 1999):

$$DDT = 43 \text{ Log CBR} + 1,7 \dots\dots\dots (2.23)$$

di mana :

- DDT = daya dukung tanah dasar
- CBR = Nilai CBR tanah dasar

Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan pemeriksaan kepadatan standard (Standard Proctor) sesuai dengan AASHTO T99-74 atau PB-0111, atau dengan menggunakan pemeriksaan kepadatan berat (Modified Proctor) sesuai AASHTO T180-7 atau PB-0112-76.

Sukirman (2003), menyatakan bahwa tanah dasar dapat terdiri dari tanah dasar tanah asli, tanah dasar tanah galian, atau tanah dasar tanah urug yang

disiapkan dengan cara dipadatkan. Di atas lapisan tanah dasar diletakkan lapisan struktur perkerasan lainnya, oleh karena itu mutu daya dukung tanah dasar ikut mempengaruhi mutu jalan secara keseluruhan. Berbagai parameter digunakan sebagai penunjuk mutu daya dukung tanah dasar seperti *California Bearing Ratio* (CBR), modulus resilient (MR); penetrometer konus dinamis (*Dynamic Cone Penetrometer*), atau modulus reaksi tanah dasar (k). Pemilihan parameter mana yang akan digunakan, ditentukan oleh kondisi tanah dasar yang direncanakan dan metode perencanaan tebal perkerasan yang akan dipilih.

Daya dukung tanah dasar (subgrade) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). CBR pertama kali diperkenalkan oleh California Division of Highways pada tahun 1928. Orang yang banyak mempopulerkan metode ini adalah O.J. Porter (Sukirman, 1999).

CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1"/0,2" dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1"/0,2" tersebut. Harga CBR dinyatakan dalam persen. Jadi harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar di bandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas.

CBR yang dinyatakan dalam persen, adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi sedalam 0,1 inci atau 0,2 inci antara contoh tanah dengan batu pecah standar: Nilai CBR adalah nilai empiris dari mutu tanah dasar dibandingkan dengan mutu batu pecah standar yang memiliki nilai CBR 100% (Sukirman, 2003).

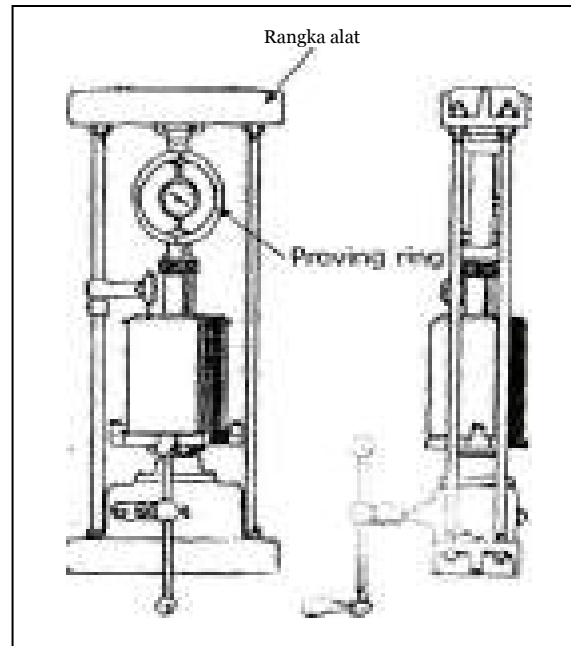
2.9 Penentuan CBR

Besarnya nilai CBR tanah akan menentukan ketebalan lapis keras yang akan dibuat sebagai lapisan perkerasan di atasnya. Makin tinggi nilai CBR tanah dasar (subgrade) maka akan semakin tipis lapis keras yang dibutuhkan dan semakin rendah suatu nilai CBR maka semakin tebal lapis keras yang dibutuhkan.

Alamsyah (2001) menyatakan bahwa metode ini mula-mula diciptakan oleh O.J. Porter, kemudian dikembangkan oleh *California State Highway Department*, tetapi kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh corps insinyur-insinyur tentara Amerika Serikat (*U.S. Army Corps of Engineers*). Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di laboratorium atau di lapangan dengan rencana empiris (*empirical design charts*) untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metode perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya dan lapangan terbang. Tebal bagian perkerasan ditentukan oleh nilai CBR. CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standart (*standart load*) dan dinyatakan dalam persentase.

Menurut Sukirman (1999), alat percobaan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch². Piston digerakkan kecepatan 0,05 inch/menit, vertikal ke bawah. Proving ring digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Pengujian CBR di laboratorium mengikuti SNI -03-1744 atau AASHTO T193. Sukirman (2003) menyebutkan alat pengujian terdiri dari piston dengan luas 3 inci² yang digerakkan dengan kecepatan 0,05 inci/menit, vertikal ke bawah. Proving ring digunakan untuk mengukur beban yang

dibutuhkan pada penetrasi tertentu, sedangkan arloji pengukur untuk mengukur dalamnya penetrasi. Alat uji CBR di laboratorium seperti pada Gambar 3.14. Beban yang digunakan untuk melakukan penetrasi batu pecah *standar* seperti pada Tabel 3.4.



Sumber: Sukirman 003

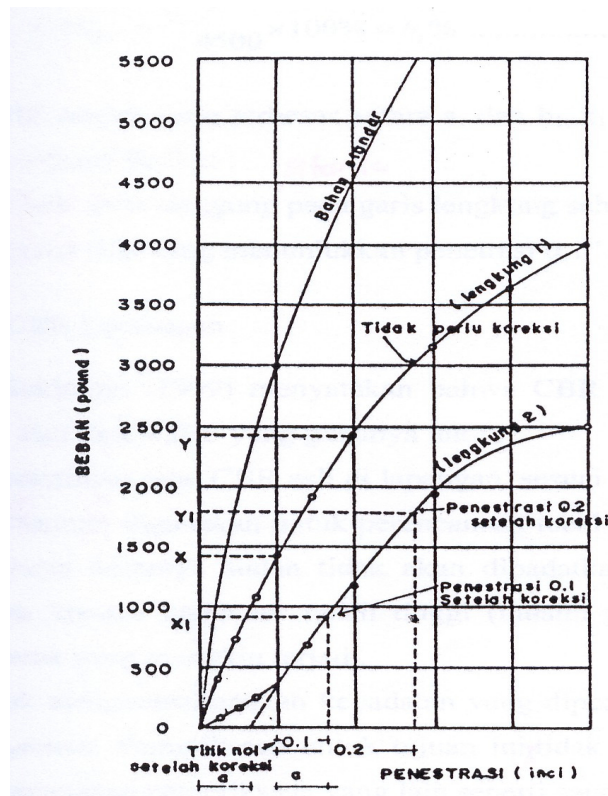
Gambar 2.2 Alat pengujian CBR di laboratorium

Beban yang dipergunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar diperlihatkan pada Tabel 2.15 dan Gambar 2.3 menyatakan grafik hubungan antara beban dan penetrasi pada pemeriksaan CBR.

Tabel 2.15 Besarnya beban dibutuhkan untuk melakukan Penetrasi bahan standar

Penetrasi Inch	Beban Standar Ibs	Beban Standar Ibs/inch ²
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

Sumber : Sukirman (1999)



Sumber : Sukirman (1999)

Gambar 2.3 Grafik hubungan antara beban dan penetrasi pada pemeriksaan CBR

Jika lengkung yang diperoleh seperti lengkung 1 (awal lengkung merupakan garis lurus) seperti pada Gambar 2.3 maka :

$$CBR_{0,1''} = \frac{x}{3000} \times 100\% = a\% \dots\dots\dots(2.24)$$

$$CBR_{0,2''} = \frac{x}{4500} \times 100\% = b\% \dots\dots\dots(2.25)$$

Nilai CBR adalah nilai yang terbesar antara (2.24) dan (2.25)

Jika lengkung diperoleh seperti lengkung 2 (awal lengkung merupakan cekung) seperti pada Gambar 2.3 maka :

$$CBR_{01''} = \frac{x_1}{3000} \times 100\% = a_1\% \dots\dots\dots (2.26)$$

$$CBR_{02''} = \frac{y_1}{4500} \times 100\% = b_1\% \dots\dots\dots (2.27)$$

Nilai CBR adalah yang terbesar antara a_1 dan b_1 , x_1 dan y_1 diperoleh dari langkah-langkah sebagai berikut :

1. Garis singgung ditarik pada garis lengkung sehingga memotong sumbu absis.
2. Titik yang menunjukkan penetrasi 0,1'' dan 0,2'' digeser.

2.9.1 CBR Lapangan

Sukirman (1999) menyatakan bahwa CBR Lapangan sering disebut CBR in place atau field CBR yang gunanya untuk :

1. Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan, sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu namun digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanahnya dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim

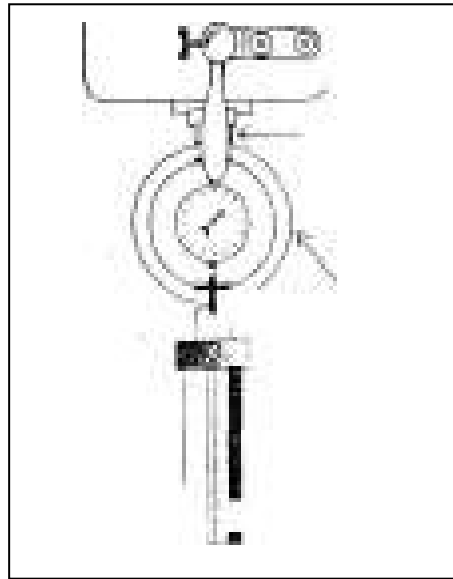
- penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.
2. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan untuk tujuan ini tidak umum digunakan, lebih sering menggunakan pemeriksaan yang lain seperti sand cone dan lain-lain.

Sukirman (2003), CBR lapangan, dikenal juga dengan nama *CBRinplace* atau *field CBR*, adalah pengujian CBR yang dilaksanakan langsung dilapangan, di lokasi tanah dasar rencana.

Prosedur pengujian mengikuti SNI 03-1738 atau ASTM D 4429. CBR lapangan digunakan untuk menyatakan daya dukung tanahdasar dimana tanah dasar direncanakan tidak lagi mengalami proses pemadatan atau peningkatan daya dukung tanah sebelum lapis pondasi dihampar dan pada saat pengujian tanah dasar dalam kondisi jenuh. Dengan kata lain perencanaan tebal perkerasan dilakukan berdasarkan kondisi daya dukung tanah dasar pada saat pengujian CBR lapangan itu.

Pengujian dilakukan dengan meletakkan piston pada elevasi dimana nilai CBR hendak diukur, lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang di limpahkan melalui gandar truk ataupun alat lainnya dengan kecepatan 0,05 inci/menit.

CBR ditentukan sebagai hasil perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi 0,1 atau 0,2 inci benda uji dengan beban standar. Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 menggambarkan alat dan pengujian CBR lapangan.



Sumber: SNI 03-1738-1989
Gambar 2.4 Alat CBR lapangan

2.9.2 CBR Rencana

Sukirman (1999) menyebutkan bahwa California Bearing Ratio rencana disebut juga CBR laboratorium atau design CBR. Tanah dasar (sub grade) pada konstruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan. Berarti nilai CBRnya adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuatkan mewakili tanah tersebut setelah dipadatkan. CBR ini disebut CBR rencana titik dan karena disiapkan di laboratorium, disebut juga CBR laboratorium. CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 macam yaitu CBR laboratorium rendaman (soaked design CBR) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (unsoaked design CBR).

CBR rencana, disebut juga CBR laboratorium atau *design* CBR, adalah pengujian CBR dimana benda uji disiapkan dan diuji mengikuti SNI 03-1744 atau AASHTO T 193 di laboratorium (Sukirman, 2003).

CBR rencana digunakan untuk menyatakan daya dukung tanah dasar, dimana pada saat perencanaan lokasi tanah dasar belum disiapkan sebagai lapis tanah dasar struktur perkerasan. Perencanaan tebal perkerasan jalan baru pada umumnya menggunakan jenis CBR ini sebagai penunjuk daya dukung tanah dasar. Jenis CBR ini digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar pada kondisi tanah dasar akan dipadatkan lagi sebelum struktur perkerasan dilaksanakan. Sebagai contoh digambarkan kondisi sebagai berikut, lapis tanah dasar dari struktur perkerasan jalan baru direncanakan merupakan tanah dasar tanah asli. Lokasi tanah dasar pada tahap perencanaan merupakan tanah sawah. Ini berarti tahap pelaksanaan konstruksi akan dimulai dengan pekerjaan tanah mempersiapkan lapis tanah dasar yang diakhiri dengan pemadatan tanah. Oleh karena itu jenis CBR yang sesuai untuk menyatakan daya dukung tanah dasar sebagai parameter perencanaan tebal perkerasan adalah CBR rencana atau CBR laboratorium (Sukirman, 2003).

Benda uji yang disiapkan untuk pengujian CBR adalah benda uji yang memodelkan kondisi lapisan tanah dasar dari struktur perkerasan jalan. Oleh karena itu dalam mempersiapkan benda uji perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut (Sukirman, 2003):

1. Jenis lapisan tanah dasar, apakah tanah berbutir halus dengan plastisitas rendah, tanah berplastisitas tinggi atau tanahberbutir kasar. Hal ini sangat berkaitan dengan kemampuan tanah dalam menahan air dan efeknya terhadap pengembangan.

2. Elevasi rencana dari lapis tanah dasar, apakah merupakan elevasi tanah galian, tanah urug, atau sesuai dengan muka tanah asli. Benda uji harus disiapkan dari tanah yang direncanakan sebagai lapis tanah dasar (*subgrade*). Oleh karena itu contoh tanah harus berasal dari:
 - a. permukaan tanah jika elevasi lapis tanah dasar sama dengan elevasi muka tanah.
 - b. material yang nantinya akan digunakan sebagai tanah urug, jika elevasi lapisan tanah dasar rencana terletak di atas tanah urugan.
 - c. berasal dari lubang bor atau sumur uji (*test pit*) pada elevasi yang direncanakan sebagai lapis tanah dasar. Hal ini ditemui jika elevasi lapis tanah dasar direncanakan terletak pada tanah galian. Contoh tanah diambil dari lubang bor jika elevasi lapis tanah dasar rencana terletak jauh dari muka tanah saat ini, sedangkan sumur uji digunakan jika elevasi lapis tanah dasar rencana tidak terlalu dalam dan memungkinkan untuk membuat sumur uji. Penentuan nilai CBR rencana untuk contoh tanah yang berasal dari lubang bor hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan korelasi dengan klasifikasi tanah, sedangkan untuk contoh tanah dari sumur uji dilakukan pengujian mengikuti SNI 03-1744 atau AASHTO T 193.

Sukirman (1999) mengatakan bahwa jalan dalam arah memanjang dapat saja melintasi jenis tanah dan keadaan medan yang berbeda-beda. Kekuatan tanah dasar dapat bervariasi antara nilai yang baik dan yang jelek. Tidak ekonomis perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan berdasarkan nilai yang terjelek saja dan tidak juga memenuhi syarat jika hanya berdasarkan nilai terbesar saja. Sebaiknya panjang jalan tersebut dibagi atas segmen-segmen jalan, dimana setiap segmen mempunyai daya dukung yang hampir sama.

Nilai CBR segmen dapat ditentukan dengan menggunakan cara analitis atau dengan cara grafis. Persamaan cara analitis:

$$CBR_{segmen} = CBR_{rerata} - \left\{ \frac{CBR_{maks} - CBR_{min}}{R} \right\} \dots\dots\dots (2.28)$$

di mana:

- CBR_{segmen} = CBR masing-masing
- CBR_{rerata} = CBR rata-rata keseluruhan
- CBR_{maks} = Nilai nCBR tertinggi
- CBR_{min} = nilai CBR terendah
- R = Nilai tergantung jumlah data

Dimana nilai R tergantung dari jumlah data yang terdapat dalam 1 segmen. Besarnya nilai R ditentukan pada tabel dibawah ini :

Jalan dalam arah memanjang dapat melintasi berbagai jenis tanah dan kondisi medan yang berbeda. Mutu daya dukung lapisan tanah dasar dapat bervariasi dari jelek sampai dengan baik atau sebaliknya. Dengan demikian tidak ekonomis jika perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan berdasarkan nilai yang terjelek dan tidak pula memenuhi syarat jika berdasarkan hanya nilai terbesar saja. Oleh karena itu sebaiknya panjang jalan dibagi atas beberapa segmen jalan. Setiap segmen jalan memiliki mutu daya dukung tanah dasar yang hampir sama. Jadi, segmen jalan bagian dari ruas jalan yang memiliki mutu daya dukung, sifat tanah, dan keadaan lingkungan yang relatif sama. Pengujian CBR sebaiknya dilakukan setiap jarak 250 meter dan ditambah ketika ditemuinya perubahan jenis tanah atau kondisi lingkungan. Jika ditemui kondisi berbeda dengan yang diasumsikan pada desain, maka re-desain wajib dilaksanakan. Setiap segmen mempunyai satu nilai CBR

yang mewakili mutu daya dukung tanah dasar untuk digunakan pada perencanaan tebal lapisan perkerasan segmen jalan tersebut. Nilai CBR segmen ditentukan dengan mempergunakan metode analitis ataupun dengan metode grafis. (Sukirman, 2003).

Tabel 2.16 Nilai R untuk CBR segmen

Jumlah titik pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
> 10	3,18

Sumber : Sukirman (1999)

Alamsyah (2001), menyatakan bahwa dalam menentukan nilai CBR dengan cara ini (cara grafis), prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Tentukan nilai CBR terendah.
2. Nilai CBR segmen adalah nilai pada keadaan 100% .
3. Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah.
4. Tentukan berapa banyak nilai CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR dan kemudian disusun secara tabelaris mulai dari nilai CBR yang terkecil sampai terbesar.
5. Angka terbanyak diberi nilai 100% angka yang lain merupakan nilai persentase dari 100%.

2.9.3 CBR Lapangan Rendaman

CBR lapangan rendaman disebut juga *undisturbed soaked CBR*, adalah pengujian CBR di laboratorium tetapi benda uji diambil dalam keadaan "undisturbed" dari lokasi tanah dasar dilapangan.

CBR lapangan rendaman diperlukan jika dibutuhkan nilai CBR pada kondisi kepadatan dilapangan, tetapi dalam keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan (*swell*) yang maksimum, sedangkan pengujian dilakukan pada saat kondisi tidak jenuh air, seperti pada musim kemarau.

Pengujian dilakukan dengan mengambil benda uji menggunakan mold yang dilengkapi kaki pemotong. Untuk mendapatkan benda uji "*undisturbed*" mold ditekan masuk kedalam tanah mencapai elevasi tanah dasar rencana. Mold berisi benda uji dikeluarkan dari dalam tanah, dibawa ke laboratorium untuk di rendam dalam air selama lebih kurang 4 hari, sambil diukur pengembangannya (*swell*). Pengujian dengan menggunakan alat CBR dilaksanakan setelah pengembangan tak lagi terjadi (Sukirman, 2003).

2.10 Lapis Perkerasan Lentur

Menurut Sukirman (1999), menyatakan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (*subgrade*).

1. Lapisan permukaan (*surface course*)
Lapisan permukaan adalah bagian perkerasan jalan paling atas, lapisan tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut:
 - a. Lapisan perkerasan penahan beban roda.
 - b. Lapisan kedap air
 - c. Lapis aus, lapisan yang langsung menderita gesekan akibat roda kendaraan.
 - d. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung lebih jelek.

Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air dan memberikan bantuan tegangan tarik yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Jenis lapis permukaan yang umum diergunakan di Indonesia antara lain :

- a. Penetrasi Macadam (Lapen)
- b. Lasbutag (Lapisan Tanah Galian)
- c. Laston (lapis aspal beton)

5

2. Lapisan pondasi atas (*base course*)
Menurut Sukirman (1999), lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Fungsi lapisan pondasi atas adalah :
 - a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.
 - b. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
 - c. Bantalan terhadap lapisan permukaan.
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
Menurut Sukirman (1999), Lapisan pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai:
 - a. Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
 - b. Efisiensi Penggunaan material.
 - c. Lapis peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
 - d. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)
Menurut Sukirman (1999), lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah setebal 50-100 cm yang di atasnya akan diletakkan lapisan pondasi bawah. 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. Guna dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi pemakai jalan, maka konstruksi perkerasan lentur haruslah memenuhi persyaratan lalulintas dan struktural. Adapun syarat-syarat yang dimaksudkan adalah :

a. Syarat-syarat lalulintas

Konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalulintas haruslah memenuhi syarat sebagai berikut :

- Permukaan rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
- Permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya.
- Permukaan cukup kasar, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga tidak mudah selip.
- Permukaan tidak mengkilat dan tidak silau jika kena sinar matahari.

b. Syarat-syarat struktural

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

- Ketebalan yang cukup, sehingga mampu menyebarkan beban lalulintas ke tanah dasar (*subgrade*).
- Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan yang melayani beban lalu lintas ringan sampai dengan sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak di bawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap (Sukirman 2003).

Keuntungan-keuntungan dalam menggunakan lapis perkerasan lentur adalah:

- a. dapat digunakan pada daerah dengan perbedaan penurunan (*differential settlement*) terbatas;
- b. mudah diperbaiki;
- c. tambahan lapisan perkerasan dapat dilakukan kapan saja;
- d. memiliki tahanan geser yang baik;
- e. warna perkerasan memberikan kesan tidak silau bagi pemakai jalan;
- f. dapat dilaksanakan bertahap, terutama pada kondisi biaya pembangunan terbatas atau kurangnya data untuk perencanaan.

Kerugian-kerugian dalam menggunakan lapisan perkerasan lentur adalah:

- a. tebal total struktur perkerasan lebih tebal dari pada perkerasan kaku;
- b. kelenturan dan sifat kohesi berkurang selama masa peyayanan;
- c. frekwensi pemeliharaan lebih sering daripada menggunakan perkerasan kaku;
- d. tidak baik digunakan jika sering digenangi air;
- e. membutuhkan agregat lebih banyak.

Sukirman (2003,) menyatakan bahwa struktur perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapis yang makin ke bawah memiliki daya dukung yang semakin jelek. Jenis lapis perkerasan dan letaknya ,yaitu:

- a. lapis permukaan (*surface course*);
- b. lapis pondasi (*base course*);

- c. lapis pondasi bawah (*subbase course*);
- d. lapis tanah dasar (*subgrade*).

Lapis permukaan merupakan lapis paling atas dari struktur perkerasan jalan, yang fungsi utamanya sebagai:

- a. lapis penahan beban vertikal dari kendaraan, oleh karena itu lapisan harus memiliki stabilitas tinggi selama masa pelayanan;
- b. lapis aus (*wearing course*) karena menerima gesekan dan getaran roda dari kendaraan yang mengerem;
- c. lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atas lapis permukaan tidak meresap ke lapis di bawahnya yang berakibat rusaknya struktur perkerasan jalan;
- d. lapis yang menyebarkan beban ke lapis pondasi.

Lapis permukaan perkerasan lentur menggunakan bahan penoikat aspal, sehingga menghasilkan lapis yang kedap air, berstabilitas tinggi, dan memiliki daya tahan selama masa pelayanan. Namun demikian, akibat kontak langsung dengan roda kendaraan, hujan, dingin, dan panas, lapis paling atas cepat menjadi aus dan rusak, sehingga disebut lapis aus. Lapisan di bawah lapis aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, disebut lapis permukaan antara (*binder course*), berfungsi memikul beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapis pondasi. Dengan demikian lapis permukaan dapat dibedakan menjadi:

- a. lapis aus (*wearing course*), merupakan lapis permukaan yang kontak dengan roda kendaraan dan perubahan cuaca.
- b. lapis permukaan antara (*binder course*), merupakan lapis permukaan yang terletak di bawah lapis aus dan di atas lapis pondasi.

Berbagai jenis lapis permukaan yang umum digunakan di Indonesia adalah:

1. Laburan aspal, merupakan lapis penutup yang tidak memiliki nilai struktural, terdiri dari:
 - a. Laburan Aspal Satu Lapis (burtu = *surface dressing*), terdiri dari lapis aspal yang ditaburi dan satu lapis agregat bergradasi sera gam dengan ukuran nominal maksimum 13 mm. Burtu memiliki ketebalan maksimum 2 cm.
 - b. Laburan Aspal Dua Lapis (burda = *surface dressing*), terdiri dari lapis aspal ditaburi agregat, dikerjakan dua kali secara berurutan, dengan tebal padat maksimum 3,5 cm. Lapis pertama burda adalah lapis burtu dan lapis keduanya menggunakan agregat penutup dengan ukuran maksimum 9,5 mm (3/8 inci).

2. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Latasir/Sand Sheet/SS*), merupakan lapis penutup permukaan jalan yang menggunakan agregat halus atau pasir atau campuran keduanya, dicampur dengan aspal, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Ada dua jenis latasir yaitu latasir kelas A dan latasir kelas B. Latasir kelas A dengan tebal nominal minimum 15 mm, menggunakan agregat dengan ukuran maksimum No.4, sedangkan latasir kelas B dengan tebal nominal minimum 20 mm, menggunakan agregat dengan ukuran maksimum 9,5 mm (3/8 inci). Latasir digunakan untuk lalulintas ringan yaitu kurang dari 0,5 juta Kntas sumbu standar (Iss). Ketentuan sifat campuran latasir seperti pada Tabel 2.17

Tabel 2.17 Ketentuan Sifat Campuran Latasir

Indikator Sifat Campuran		Latasir
		Kelas A & B
Jumlah tumbukan per bidang		50
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min	3,0
	Mak	6,0
Rongga antara agregat (VMA) (%)	Min	20
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min	75
Stabilitas Marshall (kg)	Min	200
Kelelahan (mm)	Min	2
	Mak	3
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	80 ;
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C pada VIM $\pm 7\%$	Min	80

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

3. Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston/Hot Rolled Sheet/HRS), merupakan lapis permukaan yang menggunakan agregat bergradasi senjang dengan ukuran agregat maksimum 19 mm (3/4 inci). Ada dua jente lataston yang digunakan yaitu:
 - a. Lataston Lapis Aus, atau Hot Rolled Sheet Wearing Course = HRS-WC, tebal nominal minimum 30 mm dengan tebal toleransi ± 4 mm.
 - b. Lataston Lapis Permukaan Antara, atau Hot Rolled Sheet Base Course = HRS-BQ tebal nominal minimum 35 mm dengan tebal toleransi ± 4 mm.
4. Lapis Beton Aspal (Laston/Asphalt Concrete/AC), merupakan lapis permukaan yang menggunakan agregat bergradasi baik. Laston sesuai digunakan untuk lalulintas berat. Ada dua jenis Laston yang digunakan sebagai lapis permukaan, yaitu:

- a. Laston Lapis Aus, atau *Asphalt Concrete Wearing Course* = AC-WC, menggunakan agregat dengan ukuran maksimum 19 mm (3/4 inci). Lapis AC-WC bertebal nominal minimum 40 mm dengan tebal toleransi ± 3 mm.
- b. Laston Lapis Permukaan Antara, atau *Asphalt Concrete Binder Course* = AC-BC, menggunakan agregat dengan ukuran maksimum 25 mm (1 inci). Lapis AC-BC bertebal nominal minimum 50 mm dengan tebal toleransi ± 4 mm.

Tabel 2.18 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston	
		we	BC
Jumlah tumbukan-per bidang		7.5	
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Mi	3,0	
	Ma	6,0	
Rongga antara agregat (VMA) (%)	Mi	18	17
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Mi	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Mi	800	
Kelelehan (mm)	Mi	3	
Marshall Quotient (kg/mm)	Mi	250	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C pada VIM $\pm 7\%$	Min	80	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min	2	

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

Jika aspal yang digunakan untuk membuat AC menggunakan bahan aspal polimer, aspal dimodifikasi dengan asbuton, aspal *multigrade* atau aspal padat Pen 60 atau Pen 40 yang dicampur dengan asbuton butir maka lapis tersebut dinamakan Laston Modifikasi. Ketentuan sifat campuran laston seperti pada Tabel 2.19 dan

untuk campuran laston modifikasi seperti pada Tabel 2.20

Tabel 2.19 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		we	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min	3,5		
	Mak	5,5		
Rongga antara agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
	Mak	-		-
Kelelahan (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C pada VIM 7%	Min	80		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5		

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

5. Lapis Penetrasi Macadam (Lapen) adalah lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi seragam. Setelah agregat pengunci dipadatkan disemprotkan aspal kemudian diberi agregat penutup dan dipadatkan. Lapen sesuai digunakan untuk lalulintas ringan sampai dengan sedang. Ukuran maksimum agregat pokok membedakan ketebalan yang dapat dipilih, yaitu:
- tebal 7-10 cm, jika digunakan agregat pokok dengan ukuran maksimum 75 mm (3 inci).
 - tebal 5 - 8 cm, jika digunakan agregat pokok dengan ukuran maksimum 62,5 mm (2,5 inci).
 - tebal 4 - 5 cm, jika digunakan agregat pokok dengan ukuran maksimum 50 mm (2 inci).

Tabel 2.20 Ketentuan Sifat Campuran Laston Modifikasi

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		we Mod	BC Mod	Base Mod
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran	Min	3,5		
	Mak	5,5		
Rongga antara agregat (VMA)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000		1800
	Mak	-		-
Kelelahan (mm)	Min	3		5
	Mak	-		-
Marshall) Quotient (kg/mm)	Min	300		350
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C pada VIM $\pm 7\%$	Min	80		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal	Min	2,5		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min	2500		

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

6. Lapis Asbuton Agregat (Lasbutag) adalah campuran antara agregat asbuton dan peremaja yang dicampur, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Lapis Lasbutag bertebal nominal minimum 40 mm dengan ukuran agregat maksimum adalah 19 mm (3/4 inci). Ketentuan sifat campuran lasbutag seperti pada Tabel 2.21

Tabel 2.21 Ketentuan Sifat Campuran Lasbutag

Sifat Campuran	Persyaratan
Derajat penguapan fraksi ringan:	25
- Campuran untuk pemeliharaan, %	50
- Campuran untuk pelapis, %	
Jumlah tumbukan	2x75
Rongga dalam campuran (VIM), %	3,0 - 6,0
Rongga antara agregat (VMA), %	Min. 16
Stabilitas pada temperatur ruang 25 °C, kg	Min. 500
Kelelehan, mm	2-4
Stabilitas sisa, setelah 4 hari direndam dalam air 25 °C, %	Min. 75

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2007

Ketika menentukan tebal setiap lapisan, perencana perlu memperhatikan tebal nominal minimum dari jenis lapis permukaan yang dipilih. Tabel 2.22 menunjukkan tebal nominal minimum dari berbagai jenis lapis permukaan.

Tabel 2.22 Tebal Nominal Minimum Lapis Permukaan

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (mm)	Toleransi Tebal (mm)
Latasir Kelas A		SS-A	15	
Latasir Kelas B		SS-B	20	
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	30	± 4
	Lapis Permukaan Antara	HRS-BC	35	
Laston	Lapis Aus	AC-WC	40	± 3
	Lapis Permukaan Antara	AC-BC	50	± 4
	Lapis Pondasi	AC-Base	60	± 5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

Lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi (*base course*). Jika tidak digunakan lapis pondasi bawah, maka lapis pondasi diletakkan langsung di atas permukaan tanah dasar. Lapis pondasi berfungsi sebagai:

1. bagian struktur perkerasan yang menahan gaya vertikal dari beban kendaraan dan disebarkan ke lapis dibawahnya;
2. lapis peresap untuk lapis pondasi bawah;
3. bantalan atau perletakkan lapis permukaan.

Material yang digunakan untuk lapis pondasi adalah material yang cukup kuat lapis berbutir tanpa pengikat atau lapis dengan aspal sebagai pengikat.

Berbagai jenis lapis pondasi yang umum digunakan di Indonesia adalah:

Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete Base = AC-Base*), yaitu

1. laston yang digunakan untuk lapis pondasi, tebal nominal minimum 60 mm dengan tebal toleransi ± 5 mm. Agregat yang digunakan berukuran maksimum 37,5 mm (1,5 inci). Ketentuan sifat campuran *AC-Base* seperti pada Tabel 2.19 dan untuk *AC-Base* modifikasi seperti pada Tabel 2.20
2. Lasbutag Lapis Pondasi adalah campuran antara agregat asbuton dan peremaja yang dicampur, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Lapis Lasbutag Lapis Pondasi bertebal nominal minimum 50 mm dengan ukuran agregat maksimum adalah 25 mm (1 inci). Ketentuan sifat campuran Lasbutag seperti pada Tabel 2.21
3. Lapis Penetrasi Macadam (Lapen) seperti yang diuraikan pada Bab 2.1 dapat pula digunakan sebagai lapis pondasi, hanya saja tidak menggunakan agregat penutup.

4. Lapis Pondasi Agregat adalah Lapis pondasi dari butir agregat. Berdasarkan gradasinya lapis pondasi agregat dibedakan atas agregat Kelas A dan agregat Kelas B. Tebal minimum setiap lapis minimal 2 kali ukuran agregat maksimum. Gradasi yang digunakan untuk lapis pondasi Kelas A dan B dapat dilihat pada Tabel 2.23 dan ketentuan sifat lapis pondasi agregat dapat dilihat pada Tabel 2.24.

Tabel 2.23 Gradasi Lapis Pondasi Agregat

Ukuran saringan		Persen berat yang lolos, %	
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B
3"	75		
2"	50		100
1 1/2"	37,5	100	88 -100
1"	25,0	77 -100	70-85
3/8"	9,50	44-60	40-65
No.4	4,75	27-44	25-52
No.10	2,0	17-30	15-40
No.40	0,425	7-17	8-20
No.200	0,075	2-8	2-8

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

5. Lapis Pondasi Tanah Semen adalah lapisan yang dibuat dengan menggunakan tanah pilihan yang diperoleh dari daerah setempat, yaitu tanah lempung dan tanah berbutir seperti pasir dan kerikil kepasiran dengan plastisitas rendah. Bahan dicampur dengan perbandingan semen dan air tertentu di lokasi atau terpusat hingga merata dan memiliki daya dukung yang cukup sebagai lapis pondasi. Ketentuan sifat campuran setelah perawatan 7 hari di laboratorium seperti pada Tabel 2.25.

Tabel 2.24 Ketentuan Sifat Lapis Pondasi Agregat

Sifat	Kelas A	Kelas B
Abrasi dari agregat kasar (SNI 03-2417-1990)	mak. 40%	mak. 40%
Indek plastis (SNI-03-1966-1990 dan SNI-03-1967-1990)	mak. 6	mak. 6
Hasil kali indek plastisitas dengan % lolos saringan No.200	mak. 25	-
Batas cair (SNI 03-1967-1990)	mak. 25	mak. 25
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecan dalam agregat (SNI- 03-4141-1996)	0%	1 mak. 1%
CBR (SNI 03-1744-1989)	min. 90%	min. 65%
Perbandingan % lolos # 200 dan #40	mak. 2/3	mak. 2/3

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

Tabel 2.25 Ketentuan Sifat Lapis Pondasi Tanah Semen

Pengujian	Batas-batas sifat (setelah perawatan 7 hari)	Metode pengujian
Kuat tekan bebas (UCS), kg/cm ²	min. 20	SNI 03-6887-2002
CBR Laboratorium, %	min. 180	SNI 03-1744-1989

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

- Lapis Pondasi Agregat Semen (LFAS) adalah agregat kelas A, agregat kelas B, atau agregat kelas C yang diberi campuran semen dan berfungsi sebagai lapis pondasi. Lapis ini harus diletakkan di atas lapis pondasi bawah agregat Kelas C. Ketentuan sifat campuran setelah perawatan 7 hari di laboratorium seperti pada Tabel 2.26.

Tabel 2.26 Ketentuan Sifat Lapis Pondasi Agregat Semen

Lapis Pondasi Agregat Semen	Kuat Tekan Bebas Umur 7 Hari (kg/cm ²)	
	Silinder (diameter 70 mm x tinggi 140 mm)	Silinder (diameter 150 mm x tinggi 300 mm)
Kelas A	45	75
Kelas B	35	55
Kelas C	30	35

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

7. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi dan tanah dasar dinamakan lapis pondasi bawah (*subbase*). Lapis pondasi bawah berfungsi sebagai :

- a. bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapis tanah dasar. Lapis ini harus cukup stabil dan mempunyai CBR sama atau lebih besar dari 20%, serta Indeks Plastis (IP) sama atau lebih kecil dari 10%;
- b. efisiensi penggunaan material yang relatif murah, agar lapis di atasnya dapat dikurangi tebalnya;
- c. lapis peresap, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi;
- d. lapis pertama, agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar, sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda alat berat;
- e. lapis *filter* untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi. Untuk itu lapis pondasi bawah haruslah memenuhi syarat:

$$D_{15} \text{ pondasi} / D_{15} \text{ tanah dasar} \geq 5 \dots\dots\dots (2.29)$$

$$D_{15} \text{ pondasi} / D_{15} \text{ tanah dasar} \leq 5 \dots\dots\dots (2.30)$$

di mana:

D_{15} = diameter butir pada persen lolos = 15%.

D_{85} = diameter butir pada persen lolos = 85%.

Jenis lapis pondasi bawah yang umum digunakan di Indonesia adalah lapis pondasi agregat Kelas C dengan gradasi seperti pada Tabel 2.27, dan ketentuan sifat campuran seperti pada Tabel 2.28. Lapis pondasi agregat kelas C ini dapat pula digunakan sebagai lapis pondasi tanpa penutup aspal.

Tabel 2.27 Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas C

Ukuran saringan		Persen berat yang lolos, % lolos
ASTM	(mm)	Kelas C
3"	75	100
2"	50	75 - 100
1 1/2"	37,5	60 - 90
1"	25,0	45 - 78
3/8"	9,50	25 - 55
No.4	4,75	13 - 45
No.10	2,0	8 - 36
No.40	0,425	7 - 23
No.200	0,075	5 - 15

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

8. Lapis Tanah Dasar (*Subgrade/Roadbed*)

Lapis tanah setebal 50-100 cm di atas mana diletakkan lapis pondasi bawah dan atau lapis pondasi dinamakan lapis tanah dasar atau *subgrade*. Mutu persiapan lapis tanah dasar sebagai perletakan struktur perkerasan jalan sangat menentukan ketahanan struktur dalam

meneri-ma beban lalulintas selama masa pelayanan.

Tabel 2.28 Ketentuan Sifat Lapis Pondasi Agregat Kelas C

Sifat	Kelas C
Abrasi dari agregat kasar (SNI 03-2417-1990)	mak.
Indek Plastis (SNI-03-1966-1990 dan SNI-03-1967-1990).	4-9
Batas Cair (SNI 03-1967-1990)	mak. 35
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat (SNI- 03-4141-19%)	mak. 1%
CBR (SNI 03-1744-1989)	min. 35%
Perbandingan persen loios #200 dan #40	Mak. 2/3

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2007

Berdasarkan elevasi muka tanah dimana struktur perkerasan jalan dile-takkan, lapis tanah dasar dibedakan seperti pada Gambar 2.5, yaitu:

1. Lapis tanah dasar tanah asli adalah tanah dasar yang merupakan muka tanah asli di lokasi jalan tersebut. Pada umumnya lapis tanah dasar ini disiapkan hanya dengan membersihkan, dan memadatkan lapis atas setebal 30-50 cm dari muka tanah dimana struktur perkerasan direncanakan akan diletakkan. Benda uji untuk menentukan daya dukung tanah dasar diambil dari lokasi tersebut, setelah akar tanaman atau kotoran lain disingkirkan.
2. Lapis tanah dasar tanah urug atau tanah timbunan adalah lapis tanah dasar yang lokasinya terletak di atas muka tanah asli. Pada pelaksanaan. membuat lapis tanah dasar tanah urug perlu diperhatikan tingkat kepadatan yang diharapkan. Benda uji untuk menentukan daya du-kung tanah dasar diambil dari lokasi tanah untuk urugan.

3. Lapis tanah dasar tanah galian adalah lapis tanah dasar yang lokasinya terletak di bawah muka tanah asli. Dalam kelompok ini termasuk pula penggantian tanah asli setebal 50-100 cm akibat daya dukung tanah asli yang kurang baik. Pada pelaksanaan membuat lapis tanah dasar tanah galian perlu diperhatikan tingkat kepadatan yang diharapkan. Benda uji untuk menentukan daya dukung tanah dasar diambil dari elevasi lapis tanah dasar.

Daya dukung dan ketahanan struktur perkerasan jalan sangat ditentukan oleh daya dukung tanah dasar. Masalan-masalah yang sering ditemui terkait dengan lapis tanah dasar adalah:

1. perubahan bentuk tetap dan rusaknya struktur perkerasan jalan secara menyeluruh;
2. sifat mengembang dan menyusut pada jenis tanah yang memiliki sifat plastisitas tinggi. Perubahan kadar air tanah dasar dapat berakibat terjadinya retak dan atau perubahan bentuk. Faktor drainase dan kadar air pada proses pemadatan tanah dasar sangat menentukan kecepatan kerusakan yang mungkin terjadi.
3. perbedaan daya dukung tanah akibat perbedaan jenis tanah. Penelitian yang seksama akan jenis dan sifat tanah dasar di sepanjang jalan dapat mengurangi dampak akibat tidak meratanya daya dukung tanah dasar.
4. perbedaan penurunan (*differential settlement*) akibat terdapatnya lapis tanah lunak di bawah lapisan tanah dasar. Penyelidikan jenis dan karakteristik lapisan tanah yang terletak di bawah lapisan tanah dasar sangat membantu mengatasi masalah ini.
5. kondisi geologi yang dapat berakibat terjadinya patahan, geseran dari lempeng bumi perlu diteliti dengan seksama terutama pada tahap penentuan trase jalan.

6. kondisi geologi di sekitar trase pada lapisan tanah dasar di atas tanah galian perlu diteliti dengan seksama, termasuk kestabilan lereng dan rembesan air yang mungkin terjadi akibat dilakukannya galian.

Agar konstruksi perkerasan lentur memenuhi persyaratan berlalulintas dan struktural seperti tersebut diatas, perencanaan dan pelaksanaannya harus mencakup perencanaan tebal masing-masing lapisan perkerasan, analisis campuran bahan dan pengawasan pelaksanaan pekerjaan. Perkerasan berfungsi sebagai tumpuan rata-rata, permukaan yang rata menghasilkan jalan pesawat yang stabil dan ditinjau dari fungsinya harus dijamin bahwa tiap-tiap lapisan dari atas ke bawah cukup kekerasan dan ketebalannya sehingga tidak mengalami perubahan karena tidak mampu menahan beban (Ashford dan Wright, 1979). Perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan, lapisan pondasi, dan lapisan pondasi bawah, masing-masing bisa satu lapis atau lebih. Semuanya digelar di atas tanah asli yang dipadatkan yang disebut subgrade, subgrade bisa terletak di atas timbunan atau galian. Lapisan permukaan terdiri dari campuran aspal dan agregat, mempunyai rentang ketebalan 5 cm atau lebih. Fungsi utamanya adalah untuk memberikan permukaan yang rata dan operasi lalu lintas yang aman, untuk memikul beban yang bekerja serta menyebarkan beban tersebut ke lapisan-lapisan di bawahnya. Lapisan pondasi bisa di buat dari material yang dipersiapkan (dicampur dengan aspal atau semen), bisa juga dari bahan-bahan alam atau campuran. Seperti halnya lapisan permukaan, lapisan ini juga harus mampu menahan beban, serta pengaruh-pengaruhnya dan membagi/meneruskan beban kepada lapisan di bawahnya. Lapisan pondasi bawah dibuat dari material yang diperbaiki dulu, bisa juga material alam, sering lapisan ini dibuat dengan menghamparkan pitrun

(sirtu) terus dipadatkan. Fungsi utamanya adalah mampu menahan beban serta pengaruh-pengaruhnya serta meneruskan beban kepada lapisan subgrade di bawahnya. Tetapi tidak selalu perkerasan lentur memerlukan lapisan pondasi bawah, namun dilain pihak perkerasan fleksibel yang tipis kadang-kadang memerlukan lebih dari satu lapisan pondasi bawah.

Menurut Basuki (1986), ada beberapa metode dalam perencanaan perkerasan bandara antara lain :

- Metode US Cooperation of Engineers, lebih dikenal dengan metode CBR.
- Metode Federal Aviation Administration (FAA)
- Metode Load Classification Number (LCN)
- Metode Asphalt Institute
- Metode Canadian Department of Transformation

Menurut Basuki (1989), dalam merencanakan tebal perkerasan total di atas subgrade berdasarkan nilai CBR dapat digunakan metode US Corps Of Engineers dengan menggunakan rumus empiris sebagai berikut :

$$T = (8,71 \text{ Log } R + 5,43) \sqrt{P \frac{1}{8,1 \text{ CBR}} - \frac{1}{450.S}} \dots\dots\dots (2.31)$$

di mana :

- T = Tebal perkerasan total (mm) di atas subgrade
- R = Jumlah ESWL yang bekerja (beban repetisi)
- S = Tekanan roda (ban) dalam Mpa
- P = ESWL dalam Kg

Menurut Basuki (1989), Besarnya tekanan roda pesawat dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = 0,5.W + 70 \dots\dots\dots (2.32)$$

di mana :

P = Tekanan roda dalam psi

W = Beban roda / 1000 dalam lbs

Untuk membedakan lapisan-lapisan perkerasan digunakan koefisien faktor equivalent material dari AASHTO, di mana masing-masing koefisien faktor equivalent material dibandingkan satu sama lain sehingga nantinya hasil perbandingan tersebut dikalikan dengan tebal masing-masing lapisan. Tebal lapisan base diperoleh berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan total di atas subgrade (rumus 2.31) dikurangi dengan hasil perbandingan masing-masing lapisan. Koefisien faktor equivalent material diperlihatkan pada Tabel 2.16 berikut ini :

Tabel 2.16 Koefisien Faktor Equivalent Material

Material	Koefisien
Beton aspal (AC)	0.017
Batu pecah atau kerikil CSB (Crushed Stone base)	0.0055
Cement treated base (CTB)	0.0091

Sumber: Basuki (1986)

Basuki (1986), menyebutkan bahwa perkerasan berfungsi sebagai tumpuan rata-rata pesawat permukaan yang rata menghasilkan jalan pesawat yang rata menghasilkan jalan pesawat yang Comfort, dari fungsinya maka harus dijamin bahwa tiap-tiap lapisan dari atas ke bawah cukup kekerasan dan ketebalannya sehingga tidak mengalami "Distress" (perubahan karena ttdak mampu menahan beban). Perkerasan flexible terdiri dari lapisan-lapisan surface coarse, base coarse dan subbase coarse, masing-masing bisa satu lapis bisa lebih. Semuanya di gelar di atas tanah asli yang di padatkan disebut Subgrade, lapisan subgrade bisa terletak di atas timbunan atau galian. Surface coarse terdiri dari campuran aspal dan agregate, mempunyai rentang ketebalan dari 5 cm,

atau lebih. Fungsi utamanya adalah agar pesawat dikendarai di atas permukaan yang rata & keselarasan penerbangan, untuk menumpu beban roda pesawat dan menahan beban relpetisi, serta membagi beban tadi kepada lapisan-lapisan di bawahnya.

Base coarse bisa dibuat dari material yang dipersiapkan (dicampur dengan semen atau aspal), bisa juga dari bahan-bahan alam tanpa campufan. Seperti halnya surface coarse lapisan ini harus mampu menahan beban, serta pengaruh-pengaruhnya dan membagi/meneruskan beban tadi kepada lapisan di bawahnya. Subbase coarse dibuat dari material yang diperbaiki dulu, bisa juga material alam, sering lapisan ini dibuat dengan menghamparkan pitrun (sirtu) apa, adanya dari tempat pengambilan (Quarry) lalu dipadatkan. Fungsi utamanya sama dengan base coarse. Tetapi tidak selalu perkerasan flexible memerlukan subbase coarse, di lain pihak perkerasan flexible yang tipis kadang-kadang membutuhkan lebih dari satu lapis subbase coarse. Perkerasan rigid terdiri dari Slab-slab beton tebal 20 cm -6 cm, digelar di atas lapisan yang telah dipadat, lebih disukai apabila lapisan di bawah beton dicampur dengai semen atau aspai "satebal 10-15 cm, hal ini agar efek pompa (pumping) bisa ditekan sekecil mungkin (lihat buku "Pemeliharaan Lapangan Terbang" makalah oleh penyusun yang sama). Lapisan yang berdampingan di bawah lapisan beton, kadang-kadang disebut Subbase, bukan base coarse, sebab kualitasnya tidak perlu setinggi material yang ada di bawah lapisan Surface Coarse pada perkerasan flexible

Basuki (1986), menyebutkan sejarah: Metode CBR pertama-tama dipakai oleh Badan California Division Of Highway, Bina Marga negara bagian California di Amerika pada tahun 1928, orang yang banyak menghasilkan metode ini bernama Q.J.

PORTER. Karena cepat dan sederhananya metode ini lalu diambil oleh Corps Of Engineer Angkatan Darat Amerika', beberapa saat setelah perang Dunia ke II. Kebutuhan mendesak sesudah perang Dunia ke II, untuk membangun lapangan terbang, jalan-jalan raya, tanpa ditunda-tunda. Maka Angkatan Darat Amerika mengambil metode yang sederhana dan cepat ini, sebab saat itu belum ada metode yang tersedia khusus untuk perkerasan lapangan terbang.

Untuk mengembangkan sebuah metode; perencanaan perkerasan lapangan Terbang yang baru sudah tidak memungkinkan mengingat program-program mendesak untuk mengatasi akibat perang. Pada saat menentukan pilihan metode mana yang patut dipakai dalam perencanaan perkerasan (apangan terbang), telah dibuat beberapa kriteria sebagai dasar pemilihan:

- Prosedure test untuk Subgrade dan komponen-komponen perkerasan-perkerasan lainnya cukup sederhana.
- Metodenya telah menghasilkan perkerasan yang memuaskan.
- Dapat dipakai untuk mengatasi persoalan-persoalan perkerasan lapangan terbang dalam waktu yang relatif singkat.

Dari kriteria di atas, telah memenuhi persyaratan, metode CBR; Penggunaan metode CBR memungkinkan perencanaan untuk menentukan ketebalan lapisan-lapisan Subbase, base dan surface yang diperlukan, dengan memakai kurva-kurva desigjn, dengan test-test lapisan tanah yang sederhana. Basuki (1986), Test CBR menyatakan index kuat geser tanah, pada dasarnya test diadakan dengan memadatkan tanah 4,5 kg ke dalam cetakan silinder 152 mm (6"), tempatkan beban di atas contoh tanah yang dipadatkan tadi; selanjutnya ada dua CBR, direndam dan tidak.

CBR contoh direndam, rendamiah contoh dalam silinder yangidibebani tadi dalam air selama 4 hari atau menurut Spesifikasi, lalu penetrasilah contoh tanah tadi dengan torak penetrasi lebih kurang 2" dengan variasi pembebanan.Harga CBR contoh tanah adalah daya tanan tanah terhadap penetrasi dibandingkan dengan dayatahan batu pecah standard terhadap pembebanan yang sama. Maka CBR 50 berarti tekanan yang diperlukan torak untuk berpenetrasi kepada contoh tanah dengan kedalaman tertentu, adalah setengahnya apabila torak berpenetrasi pada batu pecah Standard dengan jarak yang sama. Untuk jelasnya penelitian CBR baca "Manual Pemeriksaan Bahan Jalan" Dire.k;torat Jenderal Bina Marga No.01/MN/BM/1976 pemeriksaan No. 0113-76 identik dengan pemeriksaan AASHTO T. 193-74 atau ASTM.D-1883-73.

Beban yang ditempatkan di atas silinder contoh tanah sebelum di rendam dalam air disebut "Surcharge" besarnya baban Surcharge berkaitan dengan beban perkerasan Struktural. Pemilihan merendam contoh tanah selama 4 hari, sebab sebagian besar tanah, akari mengalami jenuh air sesudah direndam selama waktu 4 hari. Maka contoh tanah yang direndam mewakili kondisi tanah paling jelek hubungannya dengan kemampuan mendukung beban pada perkerasan Struktural. Tidak diperlukan perendaman contoh tanah, apabila dari pengalaman menunjukkan bahwa perkerasan Struktura! tidak menghisap air sehingga menaikkan kandungan air (Moisture Content).

Apabila tanah asli karena sesuatu alasan tidak bisa diperbaiki dengan pemadatan, Test CBR-nya diadakan pada contoh tanah yang tidak terganggu (Undisturbed). Akan tetapi bila tanah Subgrade mempunyai jenis yang menghasilkan days dukung tingcji dengan pemadatan maka prosedur test CBR-nya harusdimodifikasi.

Sebagaimana diketahui, test Standard pemadatan Proctor adalah contoh tanah dalam silinder, dengan 3 lapisan, beban pemadat 2% kg dan tinggi jatuh 30 cm (Standard Proctor test) maka untuk iapangan terbang dengan Subgrade pada jenis tanah yang baik, test pemadatannya harus dimodifikasi, prosedur modifikasi oleh AASHTO adalah contoh tanah pada silinder yang sama, tanah contoh 5 lapisan, berat pemadat 41/2 kg tinggi jatuh pemadat 45 cm. Tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 56 kali pukulan.

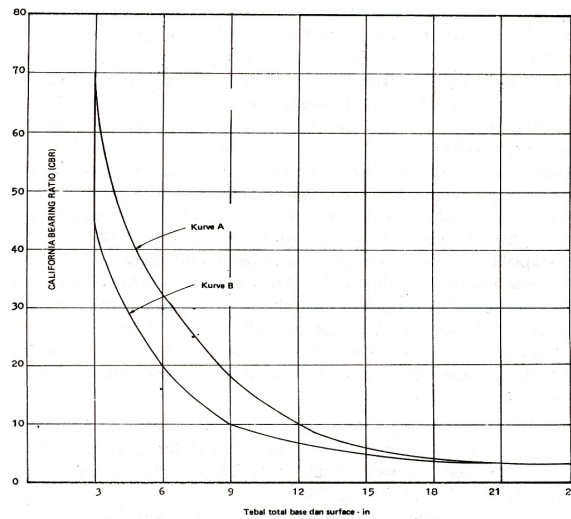
Tabel 2.17 Sub grade tanah asli

Bituminous (asphalt) Concrete atau portland Cement Concrete
Base: Treated (seperti, asphalt atau portland Cement) atau untreated aggregate.
Subbase: Treated atau, untrated aggregate Catatan: pada struktur yang tebal, bisa terdiri dari beberapa lapis).
Subbase: Compacted in-place materia Catatan: bisa juga di-treated deragan campuran seperti semen aspal atau kapur.

Sumber : Basuki (1986)

Basuki (1986), menyatakan bahwa berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh California Highway Department dari tahun 1942, mulai dari perkerasan jalan yang tidak memadai (untuk lalu lintas ringan) sampai perkerasan jalan yang memadai, kurva a ditunjukkan dalam data empiris hubungan antara nilai CBR dengan ketebalan serta kurva b menunjukkan ketebalan minimum perkerasan struktural untuk lalu lintas berat seperti diperlihatkan Gambar 2.3. Dari pengamatan kedua kurva tersebut disimpulkan bahwa perkerasan ini dapat diandalkan dan mampu menahan beban 4 ton roda-roda Truck, selanjutnya dianggap mampu menahan beban roda pesawat 5.5 ton (12.000 lbs), hal ini disebabkan roda lalu lintas jalan raya

mempunyai jalur roda-roda yang tertentu sedangkan roda pesawat dioperasikan dengan deformasi yang lebih besar dibandingkan roda-roda truck.



Sumber : Basuki (1986)

Gambar 2.3 Tebal total base dan surface berkaitan dengan nilai CBR (Grafik dari Corps of Engineer)

2.11 Pelapisan Ulang (Overlay)

Sukirman (1999) menyatakan bahwa konstruksi jalan yang telah habis masa pelayanannya, telah mencapai indeks permukaan akhir yang diharapkan perlu diberikan lapisan tambahan untuk dapat kembali mempunyai nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, tingkat keamanan, tingkat kedekatan terhadap air, dan tingkat kecepatannya mengalirkan air. Sebelum perencanaan tebal lapisan tambahan dapat dilakukan perlu dilakukan terlebih dahulu survey kondisi permukaan dan survey kelayakan struktural konstruksi perkerasan.

Federal Administration Aviation (FAA) mensyaratkan untuk pekerjaan pelapisan ulang perkerasan lentur adalah bahwa tebal perkerasan untuk beban roda pesawat rencana yang baru dihitung dengan anggapan perkerasan yang ada diabaikan. Tebal perkerasan ulang perkerasan lentur adalah sama dengan selisih antara tebal yang dihitung dengan tebal perkerasan yang ada.

BAB 3

METODE DAN TEKNIS PENELITIAN

Proses pengumpulan data dan analisis data yang digunakan dalam melakukan penelitian, pada bab ini akan dijelaskan secara teratur dan terperinci. Langkah awal dari penelitian ini ialah mengumpulkan data spesifikasi bandara beserta pesawat yang dilayani dan hasil percobaan Marshall laboratorium dan Marshall lapangan dari overlay yang telah dilaksanakan. Untuk merencanakan (evaluasi) tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan pada runway Bandara Malikssaleh, maka diperlukan data CBR tanah dasar pada runway Bandara tersebut beserta rumus perhitungan tebal lapisan perkerasan yang digunakan.

3.1 Material dan Peralatan

Material yang digunakan terdiri dari agregat (batu pecah, pasir), serta debu batu yang diganti dengan Portland Cement (PC) dan aspal. Material agregat berupa batu pecah dan pasir berasal dari Krueng Meuh Kabupaten Bireuen sedangkan Aspal berasal dari Iran dengan jenis AC 60/70.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ialah peralatan untuk pemadatan (compactor) dengan menggunakan alat kepadatan berat (modified proctor) yaitu untuk mendapatkan kadar air optimum dan gama kering tanah maksimum (γ_{maks}). Mesin penetrasi (loading machine), untuk mendapatkan (memeriksa) nilai CBR tanah dasar. Pemeriksaan kepadatan berat (Modified Proctor) sesuai AASHTO T-180-74 atau PB-0112-76 dan pemeriksaan nilai CBR tanah dasar sesuai dengan AASHTO T-193-74 atau PB-0113-76. Pengujian kadar air optimum dan gama kering tanah maksimum diperlukan untuk mendapatkan nilai CBR tanah dasar (subgrade) yang contoh tanahnya diambil dari daerah pinggiran landas pacu yang dianggap mewakili tanah dibawah lapisan perkerasan landas pacu pada Bandara Malikussaleh Lhokseumawe.

Pengujian terhadap material yang digunakan dilakukan di Laboratium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh

3.2 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperlukan sebagai data utama dalam penulisan laporan berupa data hasil penelitian di laboratorium yaitu data test CBR tanah dasar. Data sekunder merupakan data pendukung data primer berupa spesifikasi bandara, spesifikasi tentang pesawat, jenis pesawat yang dilayani, pengujian Marshall laboratorium, Marshall lapangan serta informasi lainnya yang mendukung penulisan tesis ini. Data sekunder ini diperoleh dari instansi-instansi terkait, studi literatur dan konsultan perencana.

Untuk menghitung tebal lapisan perkerasan yang sebenarnya dibutuhkan pada landas pacu Bandara Malikussaleh diperlukan data hasil pengujian CBR

tanah dasar pada kondisi sekarang. Sedangkan tebal lapisan perkerasan (Flexible Pavement) yang sudah ada (eksisting) berguna sebagai pedoman untuk menghitung tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan saat ini sesuai dengan pesawat yang dilayani.

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai CBR tanah dasar adalah sebagai berikut, yaitu contoh tanah diambil dari pinggir landas pacu yang dianggap representatif dari tanah dasar yang digunakan pada struktur landas pacu bandara tersebut dan pengambilan sample tanah 2 titik (titik A dan titik B). Jarak antara kedua titik tersebut terhadap panjang runway 500 meter dan jarak antara titik tersebut dengan sisi memanjang runway adalah 2 meter. Kemudian dilakukan pengujian kepadatan (compactor) dengan alat modified proctor. Pengujian ini diperlukan untuk mendapatkan kadar air optimum dan gamma kering tanah maximum (γ_{maks}). Pengujian kepadatan menggunakan mold dengan diameter 4" dan tinggi 4,584". Sample tanah dari lapangan dikeringkan dahulu hingga gembur, kemudian dihancurkan dan disaring dengan mempergunakan saringan no. 4 (4,75 mm). Benda uji per masing-masing titik dibagi menjadi 5 bagian, tiap-tiap bagian dicampur dengan air yang ditentukan dan diaduk sampai merata. Penambahan air diatur sehingga didapat benda uji sebagian dengan kadar air dibawah kadar air optimum dan sebagian dengan kadar air diatas kadar air optimum.

Selanjutnya masing-masing benda uji dimasukkan kedalam kantong plastik dan disimpan selama 12 jam agar kadar air merata pada seluruh bahagian tanah. Cetakan (mold) dan keping alas ditimbang dengan timbangan yang mempunyai ketelitian 5 gram (B1 gram). Tanah yang sudah disimpan selama 12 jam selanjutnya diambil per masing-masing benda uji diaduk sampai merata dan dipadatkan didalam cetakan (mold 4"). Pematatan

dilakukan dengan alat penumbuk Modified 4,54 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh 45,7 cm (18"). Tanah dipadatkan dalam 5 lapisan dan tiap-tiap lapisan dipadatkan 25 tumbukan. Leher sambung pada Mold dilepaskan dan kelebihan tanah pada bagian keliling leher dipotong dengan pisau hingga kelebihan tanah benar-benar rata dengan permukaan cetakan (mold). Benda uji hasil pemadatan yang telah diratakan permukaannya beserta keping alas ditimbang dengan ketelitian 5 gram (B2 gram) dan dicatat. Setelah ditimbang benda uji dikeluarkan dari mold dengan menggunakan alat pengeluar benda uji (extruder) dan diambil sebagian kecil dengan cara memotong pada keseluruhan tingginya kemudian dilakukan pemeriksaan kadar air.

Penentuan kadar air (w) dari benda uji mengikuti (sesuai) PB-0210-76 sedangkan pengujian (pemeriksaan) kepadatan berat dilakukan berdasarkan AASHTO T-180-74 atau PB-0112-76.

Selanjutnya dipersiapkan tanah untuk benda uji CBR dengan memadatkan dalam mold CBR dengan diameter 6", tinggi 7" dan dilengkapi dengan leher sambung serta keping alas logam yang berlubang-lubang. Pemadatan dilakukan dengan menggunakan alat penumbuk Modified 4,54 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh 45,7 cm atau 18" (sesuai dengan cara pemeriksaan kepadatan PB-0112-76). Pemadatan dilakukan pada kadar air optimum yang diperoleh (supaya didapatkan kepadatan yang maximum) dan masing-masing titik dibuat 4 benda uji yaitu 2 benda uji untuk CBR rendaman (CBR soaked) dan 2 benda uji dibuat untuk CBR tanpa rendaman (CBR unsoaked).

Sample yang sudah dipadatkan per masing-masing titik diambil 2 sample dari tiap titik terus direndam selama 4x24 jam. Selanjutnya dilakukan pengujian penetrasi dengan menggunakan mesin

penetrasi (loading machine) berkapasitas 4,45 ton (10.000 lbs) dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm (0,05”) per menit, sehingga diperoleh nilai CBR tanah dasar. Nilai CBR yang dijadikan sebagai nilai CBR disain adalah nilai terkecil diantara beberapa benda uji hasil CBR rendaman dan nilai CBR tersebut selanjutnya dijadikan nilai CBR segmen. Hasil pengujian CBR ini beserta data perencanaan lain yang diperlukan digunakan untuk menghitung tebal lapisan perkerasan yang diperlukan.

3.3 Metode Pengolahan dan Analisa Data

Pemeriksaan terhadap material agregat dan tata cara pengujian Marshall yang telah dilakukan oleh Fakultas Teknik Unsyiah serta hasil pengujian CBR tanah dasar yang sudah didapatkan, diharapkan sesuai dengan yang telah disyaratkan. Hasil pemeriksaan terhadap material agregat, pengujian Marshall dan pengujian CBR tanah dasar harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh AASHTO (1990). Data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium dibuat dalam suatu tabel data, kemudian hasil pengujian Marshall dari benda uji hasil core drill di lapangan dibandingkan dengan pengujian Marshall hasil benda uji yang dibuat di laboratorium.

Analisa data dalam penelitian ini adalah mencari penyebab terjadinya perbedaan antara nilai Marshall lapangan dengan nilai Marshall laboratorium dan perbandingan parameter Marshall laboratorium dengan lapangan serta tebal lapisan perkerasan yang sesungguhnya dibutuhkan di lapangan berdasarkan CBR tanah dasar. Selanjutnya untuk mendapatkan tebal lapisan perkerasan yang sesungguhnya perlu ditentukan terlebih dahulu nilai/jumlah penggulungan beban (beban Repetisi) dari jenis pesawat pada landas pacu tersebut, jenis pesawat yang dilayani, besarnya

nilai tekanan roda (ditentukan berdasarkan jenis pesawat yang dilayani) yaitu berat total pesawat seluruhnya, serta jenis material yang dipakai (aspal, base dan subbase).

Berdasarkan nilai CBR serta data-data di atas, dihitung tebal lapisan perkerasan dengan rumus 2.33 (bab II). Untuk dapat membedakan antara lapisan-lapisan perkerasan, digunakan faktor Equivalent dari AASHTO (1990), seperti diperlihatkan pada Tabel 2.16. Selanjutnya ditentukan tebal lapisan beton aspal (AC), Cemen Treated Base (CTB) yaitu dengan cara pemisalan dan kemudian dikalikan dengan faktor ekuivalen material. Untuk mendapatkan nilai tebal lapisan Crushed Stone Base (CSB), nilai tersebut dikurangi dengan nilai ketebalan lapisan-lapisan hasil perkalian faktor equivalent.

Dari analisa di atas maka diperoleh tebal perkerasan hasil hitungan. Tebal perkerasan hasil hitungan tersebut dibandingkan dengan tebal perkerasan eksisting (lama) dan juga dibandingkan nilai parameter Marshall laboratorium dengan nilai parameter Marshall lapangan untuk mengetahui sejauh mana kekuatan dari overlay runway Bandara Malikussaleh.

BAB 4

HASIL PENELITIAN

Dari perhitungan tebal perkerasan dan perhitungan rasio parameter Marshall antara laboratorium dengan lapangan yang telah dilakukan, pada bab ini akan dikemukakan hasil kedua perhitungan tersebut dan kemudian akan dilakukan pembahasan sejauh mana pengaruh hasil evaluasi tersebut terhadap kinerja runway Bandara Malikussaleh.

4.1 Hasil

Berdasarkan permasalahan serta metodologi yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya serta sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian ini dilakukan maka diperoleh dua hasil perhitungan yang saling keterkaitan, yaitu: perhitungan tebal perkerasan dan perhitungan rasio parameter Marshall

4.1.1 Tebal perkerasan

Dalam melakukan perhitungan evaluasi tebal perkerasan yang dibutuhkan runway bandara malikussaleh, sebelumnya harus ditentukan terlebih

dahulu umur rencana dari runway bandara tersebut. Bandara Malikussaleh yang dibangun pada tahun 1978 dan dioverlay pada tahun 2004 mempunyai periode waktu antara keduanya 25 tahun. Jumlah pengulangan beban (beban repetisi) dari runway bandara dihitung berdasarkan banyaknya pesawat yang dilayani pada setiap harinya yaitu berat lepas landas (take off) dan tidak termasuk berat pada saat mendarat (landing) pada bandara tersebut selama 25 tahun (saat dilakukan overlay). Berat pada saat mendarat tidak diperhitungkan karena lebih kecil bila dibandingkan dengan berat saat lepas landas dan sesuai dengan teori yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya. Selanjutnya variabel lain yang harus diperhitungkan dalam melakukan perhitungan evaluasi dengan metode US Corps Of Engineering ini adalah besarnya beban yang bekerja serta besarnya tekanan roda pesawat terhadap daya dukung perkerasan runway (kontak area). Besarnya beban yang bekerja tergantung pada jenis pesawat yang dilayani dan telah ditentukan didalam tabel karakteristik jenis pesawat.

Pesawat yang dilayani pada bandara malikussaleh dalam masa periode dari tahun 1978 sampai dengan tahun 2004 (tahun dioverlay) ada dua jenis pesawat yaitu Dash 7 dari tahun 1978 sampai dengan saat sekarang sedangkan Beach Craft dari tahun 1978 sampai dengan tahun 1997. Pesawat Dash 7 mempunyai kapasitas lebih besar bila dibandingkan dengan Beach Craft. Dash 7 berkapasitas 52 kursi sedangkan Beach Craft 20 kursi. Sebagai beban dalam melakukan perhitungan tebal perkerasan diambil yang terbesar diantara keduanya. Dari Tabel B.4.7 (lampiran B.7) beban terbesar adalah pesawat Dash 7 dengan berat lepas landas 44.500 pon (20203 kg). Dari informasi yang diperoleh (dicatat) di Bandara pesawat Dash 7 beroperasi dalam setiap harinya 1 kali lepas landas (take off), begitu pula dengan pesawat Beach craft. Dengan umur pelayanan dari tahun 1978 sampai

dengan masa dilakukan overlay (tahun 2004) adalah 25 tahun dan dengan asumsi kedua pesawat beroperasi setiap harinya 1 kali yang berarti dalam 1 bulan 30 kali penerbangan maka didapat dari hasil perhitungan besarnya beban repetisi sebesar 18250 kali penerbangan. Tekanan roda pesawat dihitung dengan rumus 2.34 dan dari hasil perhitungan diperoleh besarnya tekanan roda pesawat 93 psi atau 0,7 Mpa. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Variabel lainnya yang diperlukan untuk menyelesaikan perhitungan tebal perkerasan adalah besarnya nilai CBR subgrade pada runway tersebut. Tanah dasar merupakan media akhir dari suatu sistem struktur dalam menyebarkan beban yang diterima oleh lapisan perkerasan di atasnya (landasan). Hasil pengujian pemadatan dan pengujian nilai CBR dari masing-masing benda uji diperlihatkan secara lengkap pada lampiran C.7 Gambar C.4.4 sampai dengan lampiran C.14 Gambar C.4.11. Rekapitulasi hasil pengujian pemadatan dan pengujian nilai CBR dari masing-masing benda uji diperlihatkan Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian CBR Rendaman dan CBR Tanpa Rendaman

TITIK SAMPLE	W OPTIMUM (%)	Y _d (Gram/cm)	NOMOR SAMPLE	CBR (%)
A	13.00	1.868	A _{1US}	94.30
			A _{2US}	93.30
			A _{1S}	16.20
			A _{2S}	18.60
B	12.23	1.970	B _{1US}	89.50
			B _{2US}	85.70
			B _{1S}	18.10
			B _{2S}	15.20

Note : US adalah Unsoaked, S adalah Soaked

Dari tabel T.4.1 diatas dapat dilihat bahwa bahwa nilai CBR yang terbesar dari kedua titik sample (titik A dan titik B) adalah CBR tanpa rendaman yaitu 94,3% (titik A1 unsoaked)) dan Nilai CBR yang terkecil adalah CBR rendaman yaitu 15,2% (titik B2 soaked). Dalam perhitungan evaluasi tebal perkerasan nilai CBR yang digunakan sebagai CBR disain adalah nilai yang terendah diantara dua titik itu, yaitu 15,2%. Sebelum nilai CBR tersebut dimasukkan kedalam salah satu variabel pada rumus tebal lapisan perkerasan terlebih dahulu dijadikan nilai CBR segmen. Untuk mendapatkan nilai CBR segmen yaitu nilai CBR rata-rata yang mewakili diantara dua titik (titik A dan titik B), maka nilai CBR desain 15,2% dimasukkan dalam grafik pada lampiran A. Dari hasil pembacaan grafik didapat harga CBR segmen sebesar 15,40%.

Berdasarkan variabel-variabel yang telah dikemukakan di atas dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan rumus 2.33 pada halaman 15 yang merupakan rumus tebal total perkerasan pada perhitungan tebal perkerasan dengan metode US Corps Of Engineering, maka diperoleh hasil tebal perkerasan total yang diperlukan pada runway bandara Malikussaleh tersebut. Untuk membedakan lapisan-lapisan perkerasan pada metode ini digunakan koefesian faktor equivalent material dari AASHTO, dimana masing-masing koefesian faktor equivalent material dibandingkan satu sama lainnya dan hasil perbandingan tersebut dikalikan dengan tebal masing-masing lapisan. Tebal lapisan subbase diperoleh berdsarkan hasil perhitungan tebal perkerasan total di atas subgrade (rumus 2.8) dikurangi dengan hasil perbandingan masing-masing lapisan. Koefesian faktor equivalent material dapat dilihat pada tabel 2.16 dan hasil perhitungan tebal total lapisan perkerasan serta perhitungan tebal masing-masing lapisan perkerasan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran C halaman 60 dan halaman 61. Sedangkan perbandingan tebal

perkerasan eksisting (lama) dengan tebal perkerasan hasil evaluasi dapat dilihat pada tabel T.4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Perbandingan Tebal Perkerasan Eksisting dan Hasil Penelitian

LAPISAN	TEBAL PERKERASAN	
	EKSISTING (cm)	HASIL PENELITIAN (cm)
SURFACE COURSE	10	6
BASE COURSE	15	11
SUBBASE COURSE	10	7

4.1.2 Rasio parameter Marshall

Data hasil percobaan Marshall laboratorium dan lapangan overlay runway bandara Malikussaleh pada penelitian ini merupakan data sekunder, yaitu hasil dari percobaan yang telah dilakukan oleh konsultan. Data hasil percobaan Marshall laboratorium dan lapangan pada pengujian ini telah disajikan didalam tabel secara lengkap dan akurat, mulai dari data awal yaitu pengujian material hingga data akhir yaitu Marshall Quotient. Adapun data tersebut dapat dilihat pada lampiran B.1 Tabel B.4.1 sampai dengan lampiran B.6 Tabel B.4.6. Berdasarkan data yang diperoleh dari konsultan terlihat dari tabel hasil percobaan Marshall bahwa dalam melakukan percobaan benda uji untuk benda uji Marshall laboratorium dibuat sebanyak 16 benda uji dan untuk benda uji Marshall lapangan (Core Drill) 5 benda uji.

Nilai rasio yang akan dibandingkan adalah nilai stabilitas (ketahanan) yang merupakan nilai Marshall dan diperoleh dari hasil percobaan/pengujian dengan alat Marshall test. Nilai stabilitas tersebut merupakan nilai akhir yaitu setelah dikalikan dengan nilai kali brasi alat dan nilai koreksi benda uji.

Langkah awal dalam melakukan perhitungan untuk mendapatkan rasio parameter Marshall yaitu dengan cara menghitung nilai rata-rata dari masing-masing nilai Marshall laboratorium dan lapangan. Kemudian dari hasil rata-rata tersebut dihitung perbandingan yang terjadi yaitu dengan cara nilai Marshall laboratorium dibandingkan dengan nilai Marshall lapangan. Nilai Marshall laboratorium dan lapangan dari masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini. Dari hasil perhitungan didapat besarnya nilai rata-rata dari masing-masing antara laboratorium dan lapangan adalah 645,79 kg/cm² dan 168,22 kg/cm². Rasio nilai Marshall antara keduanya adalah 3,84. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.3 Nilai Stabilitas Hasil Percobaan Marshall Laboratorium dan Lapangan

NO	Marshall Laboratorium		Marshall Lapangan	
	No Benda Uji	Stabilitas (q) kg	No Benda Uji	Stabilitas (q) kg
1.	2.1	656,48	1	110,34
2.	2.2	635,11	3	257,47
3.	3.1	555,48	4	67,49
4.	3.2	479,73	5	186,46
5.	5.1	885,66	6	219,35
6.	5.2	802,63		
7.	6.1	608,65		
8.	6.2	530,23		
9.	8.1	449,87		
10.	8.2	539,70		
11.	9.1	968,69		
12.	9.2	498,18		
13.	11.1	529,26		
14.	11.2	767,43		
15.	12.1	648,34		
16.	12.2	747,28		

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam melakukan penelitian, serta setelah dikaitkan dengan literatur-literatur dalam bab II, pada bagian ini akan dilakukan pembahasan kemudian akan diberikan kesimpulan dan saran. Pembahasan meliputi data hasil pemeriksaan CBR subgrade yang merupakan salah satu variabel yang sangat berperan/menentukan dalam mendapatkan tebal lapisan perkerasan dan merupakan variabel utama dalam penelitian ini sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian serta tebal perkerasan hasil penelitian dan rasio parameter Marshall antara Marshall laboratorium dengan Marshall lapangan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan tebal lapisan perkerasan evaluasi lebih tipis bila dibandingkan dengan tebal lapisan perkerasan lama (eksisting). Perbedaan yang terjadi tersebut sangat bergantung pada besarnya beban yang bekerja (jenis pesawat yang dilayani), jumlah pengulangan beban (beban repetisi) dan besarnya nilai CBR subgrade pada runway tersebut.

Pemeriksaan nilai CBR subgrade yang telah dilakukan di laboratorium didasarkan pada dua titik sample tanah dengan jarak antara keduanya terhadap panjang runway tersebut 500 meter dan jarak antara titik terhadap sisi runway 2 meter yang dalam penelitian ini dianggap telah mewakili nilai CBR subgrade keseluruhan dari runway bandara. Dalam melakukan pemeriksaan setiap titik di buat 2 benda uji tanpa rendaman dan 2 benda uji rendaman. Hal ini dimaksudkan sebagai variasi untuk mendapatkan perbandingan nilai CBR dalam satu titik demi keakuratan data (nilai) saat melakukan pemeriksaan dilaboratorium.

Dari hasil pengujian CBR dari beberapa benda uji sesuai pada tabel 4.1 diatas terlihat bahwa nilai CBR sugrade runway bandara Malikussaleh memiliki nilai CBR yang baik (tinggi), dan ini ditandai dengan perolehan hasil nilai CBR tertinggi dari benda uji tanpa rendaman (unsoaked) yang hampir mencapai 100% yaitu 94,3% sedangkan nilai CBR rata-rata tanpa rendaman dari kedua titik tersebut adalah 90,70%. Nilai CBR terendah dari hasil pengujian tersebut adalah 15,2% yang didapat dari hasil pengujian sample tanah dengan rendaman. Berdasarkan gambar rencana Proyek pembangunan runway bandara Malikussaleh tahun 1978 yang merupakan pembangunan awal bandara Malikussaleh terlihat bahwa lapisan subgrade setebal 30 cm merupakan lapisan yang telah diganti antara subgrade asli dengan tanah pilihan (select subgrade). Berdasarkan data tersebut jelas bahwa nilai CBR subgrade hasil pemeriksaan di laboratorium dapat dikatakan telah sesuai dengan keadaan (kondisi) asli di lapangan.

Pesawat yang dilayani oleh bandara Malikussaleh termasuk kedalam jenis pesawat ringan , karena berat lepas landas lebih kecil dari 300000 lbs (Federal Aviation Agency). Pesawat Dash 7 dengan berat lepas landas 44500 pon merupakan pesawat terberat yang dilayani Bandara Malikussaleh selama periode waktu 25 tahun yaitu dari tahun 1978 hingga saat dilakukan overlay yaitu tahun 2004. Jumlah pengulangan beban (beban repetisi) yang terjadi dalam periode waktu 25 tahun dari tahun 1978 sampai dengan saat dioverlay tahun 2004 dari hasil perhitungan didapat 18250 lepas landas. Hubungan antara besarnya beban yang bekerja dengan banyaknya jumlah pengulangan beban (beban repetisi) dalam 1 hari (24 jam) yang dilayani oleh runway bandara dan besarnya nilai CBR subgrade, dalam melakukan perhitungan tebal perkerasan dengan menggunakan metode US Corps Of Engieenering merupakan variabel yang sangat

berpengaruh kepada tebal dan tipisnya lapisan perkerasan. Ini dapat dilihat dari variabel rumus bahwa semakin besar (bertambah) umur rencana yang berarti semakin bertambah jumlah pengulangan beban, maka semakin tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan. Sedangkan nilai CBR subgrade sebaliknya yaitu semakin besar harga CBR subgrade semakin tipis lapisan perkerasan yang dibutuhkan.

Dari uraian (hasil perhitungan) diatas terlihat bahwa berdasarkan pesawat yang dilayani oleh Bandara Malikussaleh dari tahun 1978 sampai dengan saat dilakukannya pelapisan ulang (overlay) tahun 2004 tebal lapisan perkerasan runway Bandara Malikussaleh hasil evaluasi sudah memenuhi untuk tebal lapisan perkerasan runway Bandara tersebut.

Hasil perhitungan rasio parameter Marshall pada penelitian ini menunjukkan bahwa perbandingan kekuatan antara Marshall laboratorium dengan Marshall lapangan pada overlay runway bandara Malikussaleh sebesar 3,84 kali perbandingan, yaitu kekuatan Marshall Laboratorium 3,84 kali kekuatan Marshall lapangan. Dari hasil penelitian besarnya rasio yang terjadi hingga mencapai 3,84 antara Marshall laboratorium dengan Marshall lapangan dapat dijelaskan karena dipengaruhi oleh beberapa faktor. Untuk menjawab (membahas) hal tersebut perlu ditinjau kembali proses pelaksanaan overlay runway bandara dari awal pelaksanaan yaitu mempersiapkan material agregat hingga saat pelaksanaan overlay dilapangan (Bandara).

Pelaksanaan overlay di lapangan diawali langkah-langkah sebagai berikut. Berdasarkan data (laporan) dari konsultan perencana sebelum perencanaan komposisi campuran (job Mix Design) untuk overlay terlebih dahulu dilakukan analisis terhadap material yang akan digunakan yaitu dengan

melakukan pengujian material di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh. Setelah hasil pengujian material agregat didapatkan, maka dilakukan perencanaan komposisi campuran (Job Mix Design) terhadap material tersebut dan kemudian dilakukan overlay Try Out (uji coba) dari hasil Job Mix Design tersebut. Untuk mendapatkan hasil komposisi campuran yang memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan maka dilakukanlah overlay Try Out dalam tiga variasi komposisi campuran (Job Mix Design). Aspal Hot Mix yang berasal dari AMP yang akan dihamparkan untuk pelaksanaan uji coba di ambil beberapa kilogram untuk dilakukan pengujian Marshall dilaboratorium. Setelah dilakukan penghamparan dan pemadatan sesuai syarat yang telah ditetapkan (AASHTO) untuk sebuah runway bandara, kemudian dilakukan Core Drill sebagai sample untuk dilakukan pengujian Marshall lapangan. Dari ketiga variasi komposisi campuran tersebut ternyata satu komposisi campuran yang memenuhi. Uji coba tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil Mix Design yang sesuai kebutuhan untuk pelaksanaan overlay Bandara dan sesuai dengan permintaan Perusahaan yaitu PT. Aron. Pelaksanaan overlay Try Out dilakukan pada lokasi jalan masuk ke Asphalt Mixing Plant (AMP) Desa Paya Meneng Kec. Peusangan Kab. Bireun. Hasil pengujian Marshall laboratorium dari hasil benda uji Try Out yang dijadikan sebagai sample untuk pelaksanaan overlay di bandara (dilapangan) Memiliki nilai stabilitas tertinggi 534,784 kg dengan nilai kelelahan Plastis (flow) 5mm.

Saat pelaksanaan overlay runway Bandara Malikussaleh Aspal Hot Mix dipersiapkan di AMP dan jarak dari lokasi AMP ke Bandara \pm 25 km. Material Aspal Hot Mix dari AMP yang akan dibawa ke Bandara dengan menggunakan truk sebelum dihamparkan diambil beberapa kilogram untuk dilakukan pengujian Marshall dilaboratorium dan pengambilan sample pada truk dilakukan secara random (acak). Material

aspal Hot Mix yang telah sampai dibawa ke lokasi overlay (Bandara) kemudian dihamparkan secara merata diatas perkerasan lama (eksisting) dan selanjutnya dilakukan pemadatan awal menggunakan mesin gilas roda baja (steel roller) dengan tekanan roda 400-600 kg / 0,1 meter lebar roda, kemudian dilakukan pemadatan antara / kedua menggunakan mesin gilas roda karet (tire roller) dengan tekanan roda 8,5 kg/cm² dan selanjutnya dilakukan pemadatan akhir untuk menghilangkan jejak-jejak roda ban dengan jumlah lintasan sesuai yang telah disyaratkan. Selanjutnya setelah pelaksanaan overlay selesai maka dilakukanlah core drill untuk dilakukan pengujian Marshall lapangan. Hasil pengujian Marshall laboratorium dan Marshall lapangan dari benda uji hasil overlay Bandara Malikussaleh secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B.1 Tabel B.4.1 sampai dengan lampiran B.6 Tabel B.4.6.

Melihat uraian seperti yang telah disebutkan diatas secara umum dapat dikatakan bahwa dari proses pengujian material hingga pelaksanaan dilapangan sudah sesuai dengan yang disyaratkan oleh AASHTO, namun demikian melihat rasio Marshall hasil pelaksanaan overlay dilapangan sebesar 3,84 maka dapat dijelaskan disini bahwa pelaksanaan dilapangan tidak seteliti perlakuan di laboratorium. Hal tersebut diantaranya saat proses pembuatan campuran aspal panas (hot mix) di AMP yaitu dari penyimpanan (penimbunan) material di lokasi AMP yang menyebabkan terjadinya segregasi dan degradasi (pemecahan) serta kontaminasi. Kurangnya pengontrolan saat menentukan jumlah bagian (proporsi) dari masing-masing agregat dengan menggunakan penakar (hopper penakar) dari AMP dan pengontrolan terhadap suhu saat pembuatan campuran aspal panas (hot mix). Kemudian saat di lapangan pengontrolan terhadap suhu penghamparan yang kurang tepat dan pengontrolan terhadap proses

penghamparan juga kurang sesuai sehingga terjadinya segregasi serta kurangnya pengontrolan terhadap proses pemadatan. Sedangkan proses pembuatan benda uji di laboratorium melalui pelaksanaan (perlakuan) dengan ketelitian yang cukup tinggi mulai dari penimbangan untuk menentukan jumlah bagian (proporsi) dari masing-masing agregat, pengaturan suhu pada proses pembuatan campuran aspal panas (hot mix), pengaturan suhu pada saat melakukan pemadatan serta syarat pemadatan itu sendiri.

Sehubungan dengan hasil perhitungan dan uraian pembahasan diatas pada kenyataannya dari hasil penelitian (pengamatan langsung) dilapangan (Bandara), hasil overlay runway Bandara Malikussaleh masih memenuhi standar untuk melayani beban dari jenis-jenis pesawat yang saat ini sedang beroperasi pada bandara tersebut walaupun secara perhitungan rasio nilai Marshall antara laboratorium dengan lapangan sampai mencapai nilai perbandingan sebesar 3,84. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa dari saat dilakukannya overlay tahun 2004 sampai dengan saat sekarang, dari hasil pengamatan langsung (visual) dilapangan (runway) Bandara Malikussaleh pada lapisan tambahan (overlay) tidak terjadinya retak-retak (cracking), lubang (pot hole), alur (rutting), pelepasan lapis permukaan (stripping), dan bleeding. Ini berarti bahwa mutu Marshall lapangan masih dalam batas memenuhi. Sehingga masih sanggup untuk melayani beban-baban yang saat ini beroperasi pada bandara tersebut.

BAB 5

RANGKUMAN DAN REKOMENDASI

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini akhirnya dapat diberikan beberapa kesimpulan dan saran. Adapun kesimpulan dan saran yang dapat kemukakan adalah sebagai berikut:

5.1 Rangkuman

1. Hasil perhitungan evaluasi tebal lapisan perkerasan runway Bandara Malikussaleh dalam penelitian ini adalah untuk lapisan subbase (CSB) 13 cm, lapisan base (CTB) 8 cm dan lapisan surface (AC) 5 cm. Sedangkan tebal lapisan perkesan lama (eksisting) adalah untuk lapisan subbase (CSB) 10 cm, lapisan base (CTB) 15 cm dan lapisan surface (AC) 10 cm.
2. Hubungan antara beban dengan jumlah pengulangan beban (beban repetisi) serta besarnya nilai CBR tanah dasar merupakan variabel yang sangat menentukan tebal tipisnya lapisan perkerasan yang dibutuhkan.
3. Dari hasil pengujian dilaboratorium nilai CBR tanah dasar runway Bandara Malikussaleh didapatkan nilai CBR tertinggi 94,3% (CBR tanpa rendaman) yaitu hampir mencapai 100%. Hal

tersebut dikarenakan tanah dasar runway Bandara Malikussaleh telah diganti dengan tanah pilihan (select subgrade)

4. Hasil pengamatan langsung (visual deskripti) yang dilakukan dilaboratorium subgrade runway Bandara Malikussaleh masuk dalam golongan tanah berpasir, sebagian besar pasir halus, 5%-10% clay, non plastis, warna coklat dan tidak berbau.
5. Dari hasil penelitian pada overlay runway Bandara Malikussaleh didapat rasio parameter Marshall antara Marshall laboratorium dengan Marshall lapangan sebesar 3,84 (kekuatan Marshall laboratorium 3,84 kali kekuatan Marshall lapangan).
6. Besarnya rasio parameter Marshall hingga mencapai 3,84 antara kekuatan Marshall laboratorium dengan kekuatan Marshall lapangan pada overlay runway Bandara Malikussaleh setelah dilakukan penelitian (pengamatan langsung) di lapangan pada runway, ternyata tidak terjadi retak-retak, lubang, alur, pelepasan lapis permukaan dan bleeding. Berarti kekuatan runway masih sanggup (memenuhi) untuk melayani beban-beban (pesawat) yang saat ini beroperasi pada Bandara tersebut.

5.2 Rekomendasi

Dalam pelaksanaan overlay pada sebuah runway Bandara sebaiknya harus ada seorang Tenaga ahli yang benar-benar mengerti tentang tata cara untuk mengerjakan pekerjaan overlay pada sebuah bandara, dari mempersiapkan material yang akan digunakan untuk material overlay, pengawasan saat pembuatan/pencampuran aspal hot mix di AMP, pengawasan saat pengerjaan overlay di lapangan hingga selesai pelaksanaan overlay. Hal tersebut demi terjaminnya kualitas (mutu) hasil dari overlay pada sebuah Bandara.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. AASHTO, 1990, Standard Spesification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 15th ed. Washington, D.C
2. Alamsyah, A.A, 2001, Rekayasa Jalan Raya, UMM press, Malang
3. Anonim, 1987, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) untuk Jalan Raya, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
4. Anonim, 2003, Final Report Consultant, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
5. Ashford, N & Paul H.Wright , 1979, Airport Engineering, John Wiley & Sons Inc, Canada
6. Asphalt Institute, 1983, Pinciple Of Construction Of Hot Mix Asphalt Pavements, College Park Maryland, USA
7. ASTM STP 1993, Use for Waste Materials in Hot-Mix Asphalt, Philadelphia
8. Basuki, H, 1986, Merancang Merencanakan Bandara, Penerbit Alumni, Bandung
9. Bina Marga, 1983, Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton Untuk Jalan Raya, No. 13/PT/B/1983, Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta
10. Bowless, 1991, Mekanika Tanah, Erlangga, Jakarta
11. Bukhari. R. A, Ir. M.Eng, dkk. 2004. Rekayasa Bahan Dan Tebal Perkerasan Jalan Raya. Darussalam, Banda Aceh

12. Bukhari, R.A., et al, 2007, Rekayasa Jalan Dan Tebal Perkerasan Jalan Raya, Bidang Study Teknik Transportasi Fakultas Teknik Unsyiah, Banda Aceh.
13. Dairi G, 1995, Bahan Perkerasan Jalan. Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
14. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah 2002.
15. Departemen Kimpraswil, 2005, Campuran Beton Beraspal panas, Buku V Spesifikasi.
16. Departemen Pekerjaan Umum, Badan Peneliti dan Pengembangan, Pusat Litbang Jalan Dan Jembatan, 2007, Spesifikasi Umum Bidang Jalan Dan Jembatan
Departemen Pekerjaan Umum Spesifikasi Umum, Divisi 6 Perkerasan Beraspal, 2010, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas
17. Ismail, M.A, 1995, Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah, Penerbit Fakultas Teknik Unsyiah, Banda Aceh
18. Japan Road Association, 1983, **Manual For Asphalt Pavement**, Japan.
19. Kosasih, D & Agus, I.S., 1997, Kontrol Kepadatan Dalam Pengujian Marshall, Jurnal Teknik Sipil, Himpunan Mahasiswa Sipil ITB
20. Krebs, R.D & Walker, R.D., 1971, Highway Materials, Mc Graw Hill Inc., USA
21. Oglesby, C.H.& R.G. Hick, 1982, Highway Engineering, 4th ed. Willey and Sons, New York

22. Papacostas C. S. dan Prevedouros P.D., 2005, Transportation Engineering and Planning, Pearson Prentice Hall, Singapore.
23. Sukirman, S., 1999, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung
24. Sukirman, S., 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Granit, Jakarta.
25. Suprpto. 2004. Bahan Dan Stuktur Jalan Raya. Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.
26. Woods, 1960, Highway Engineering Handbook, Mc Graw Hill Book Company, New York.

TENTANG PENULIS



Penulis adalah salah seorang dosen di Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh Bidang Transportasi, dilahirkan di Lhokseumawe pada tanggal 3 Juli 1971. Mengampu mata kuliah Rekayasa Jalan Raya, Rekayasa Lalu Lintas, Lapangan Terbang dan Metodologi Penelitian. Pendidikan Sarjana S₁

diselesaikan pada tahun 1997 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh Lhokseumawe. Pascasarjana diselesaikan di Magister Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh yang diselesaikan pada tahun 2006. Penulis aktif melaksanakan kegiatan penelitian dan pengabdian serta menulis jurnal pada berbagai jurnal.

Selama menjalalni profesi sebagai dosen pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Jurusan pada tahun 2002 dan menjabat sebagai Ketua Jurusan tahun 2008-2012. Disamping itu juga pernah menjabat sebagai Sekretaris Program Hibah A1 Jurusan Teknik Sipil.

Pada Tahun 2005 penulis menikah dengan seorang gadis yang bernama **Aida** gadis berdarah Aceh, saat ini penulis dikaruniai seorang anak laki-laki berusia 8 tahun yang diberi nama **Muhammad Faraby** saat ini duduk di bangku kelas 2 Sekolah Dasar (SD).

LAMPIRAN B.7

Tabel B.4.7 Tabel Karakteristik Jenis Pesawat Terbang

TABEL 3-2 Karakteristik Pesawat Terbang Penerbangan Umum dan Pesawat Penumpang Jarak Pendek

Jenis pesawat	Bentangan sayap	Panjang pesawat	Jarak roda	Berat lepas landas maks., pon	Jumlah kursi maks.*	Jumlah dan tipe mesin	Panjang landasan pacu, kaki
Beech 23 Musketeer	32'09"	25'00"	11'10"	2.200	4	1 P	1.380
Beech V35 Bonanza	33'05"	26'04"	9'07"	3.400	6	1 P	1.320
Beech 58-Baron	37'10"	29'09"	11'00"	6.775	6	2 P	2.380
Beech B80-QueenAir	50'03"	35'06"	12'09"	8.800	11	2 P	1.800
Beech C99	45'10"	44'07"	13'00"	10.900	17	2 TP	2.800
Bellanca 260C	34'02"	22'11"	9'00"	3.000	4	1 P	1.000
Cessna 150	32'08"	23'00"	6'06"	1.600	2	1 P	1.385
Cessna 172 Skyhawk	35'09"	26'11"	7'02"	2.300	4	1 P	1.525
Cessna 182 Skylane	35'10"	28'00"	7'11"	2.950	4	1 P	1.350
Cessna T310	36'11"	29'06"	12'00"	5.500	6	2 P	1.790
Cessna 402	44'01"	36'05"	18'00"	6.850	10	2 P	2.485
Piper PA-23 Aztec	37'02"	30'03"	11'04"	5.200	6	2 P	1.250
Piper PA-28 Cherokee	30'00"	23'06"	10'00"	2.400	4	1 P	
Piper PA-28 Arrow	30'00"	24'02"	10'06"	2.600	4	1 P	
Piper Twin Comanche C	36'00"	25'02"	9'09"	3.600	6	2 P	1.870
Piper PA-31 Navajo	40'08"	32'07"	13'09"	6.500	6	2 P	2.095
Gulfstream II	68'10"	79'11"	13'08"	17.500	22	2 TF	4.070
Metroliner II	46'03"	59'05"	15'00"	12.500	22	2 TF	3.550
Lear Jet 25	35'07"	47'07"	8'03"	15.000	8	2 TJ	5.186
Lockheed Jet Star	54'05"	60'05"	12'03"	42.000	12	4 TJ	4.880
Sabreliner-60	44'05"	48'04"	7'02"	20.000	12	2 TJ	4.875
Jet Falcon 20T	54'03"	60'00"	12'03"	29.100	28	2 TF	4.430
deHavilland TwinOtter	65'00"	51'09"	12'02"	12.500	22	2 TP	1.200
Shorts 330-200	74'08"	58'01"		22.900	32	2 TF	3.880
BAe 146-100	85'05"	78'09"		74.600	84	4 TP	3.530
deHavilland DASH 7	93'00"	80'08"		44.500	52	4 TP	2.260
Fokker F27 Mk500	95'02"	82'03"		45.000	50	2 TP	5.460

*Termasuk penerbang

SUMBER: Data pabrik: *Jan's All the World's Aircraft* [27]

Sumber: Horonjeff (1993)

LAMPIRAN C.1

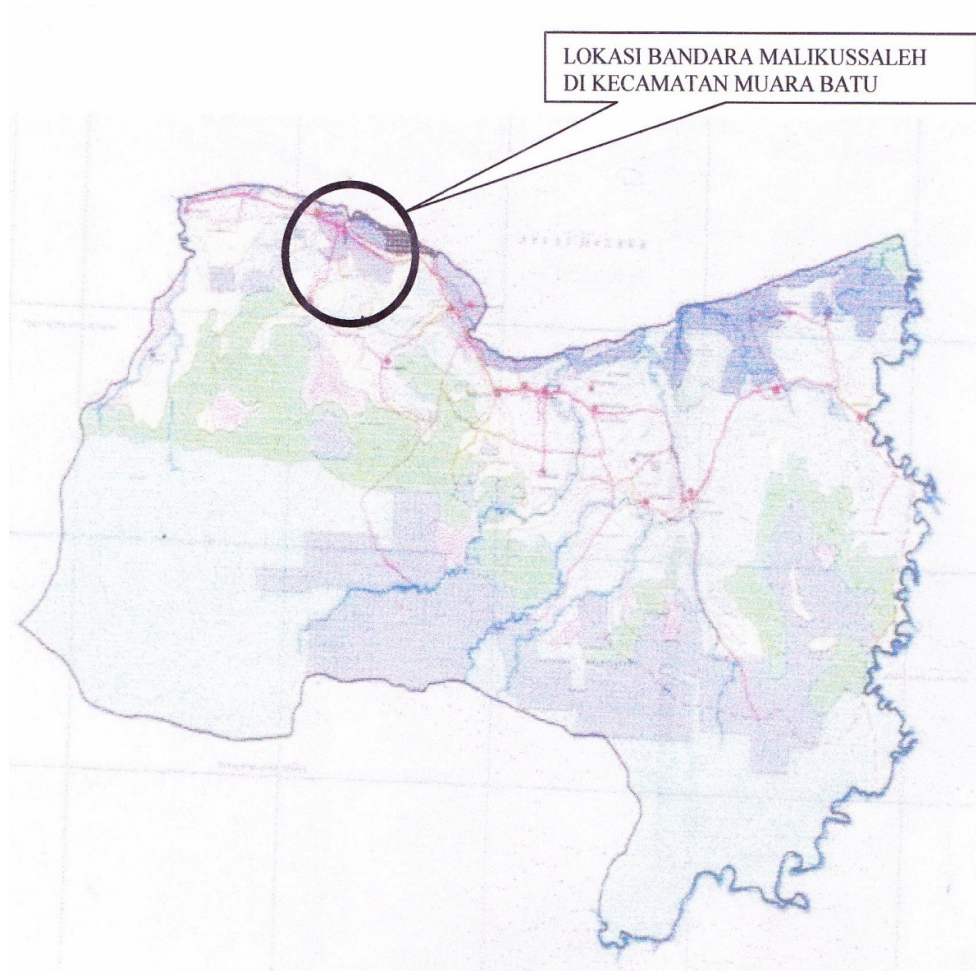


Scale : NTS (Not To Scale)

Gambar C.1.1 Peta Propinsi NAD

Sumber : Bappeda NAD

LAMPIRAN C.2

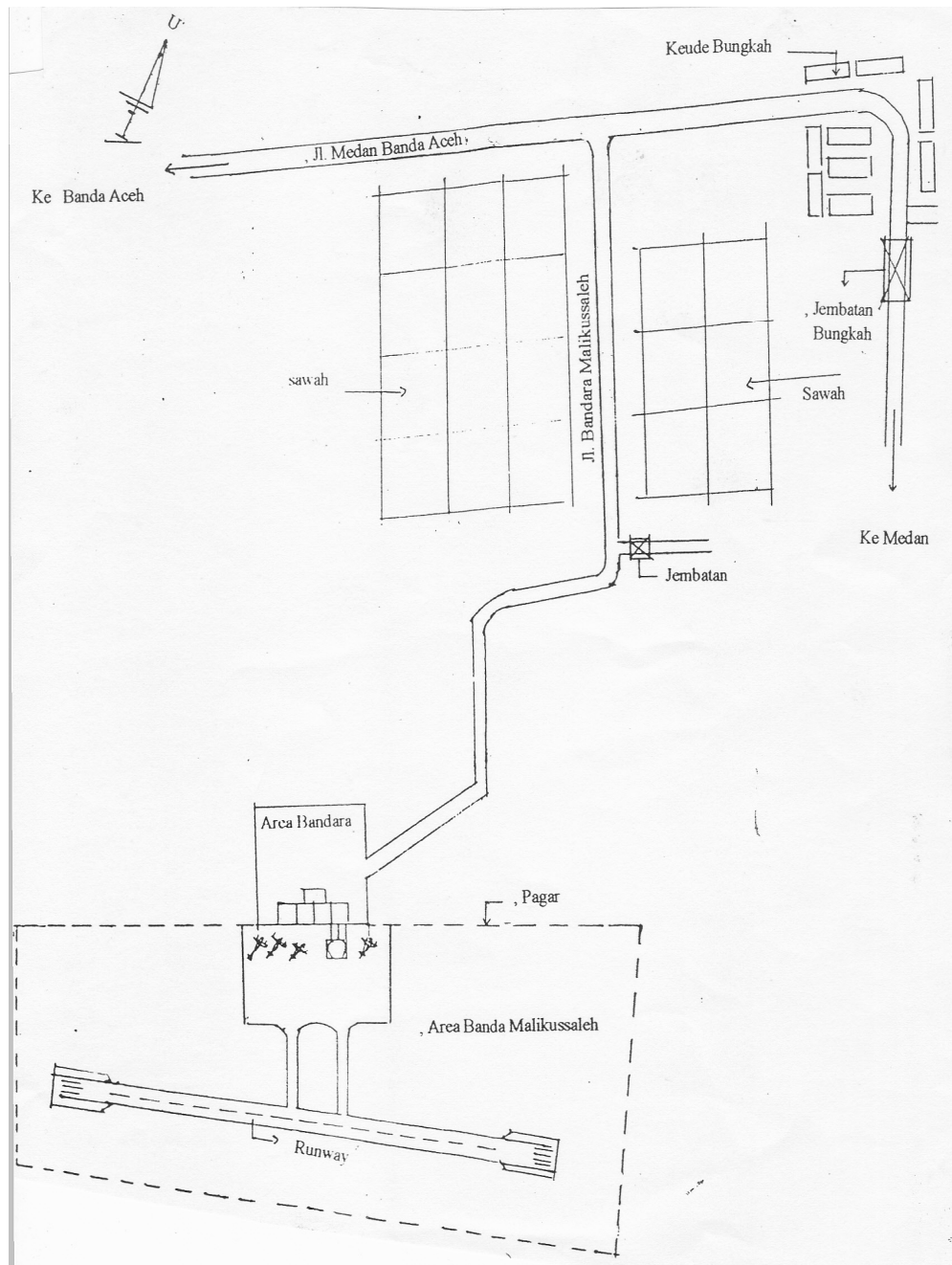


Scale : NTS (Not To Scale)

Gambar C.1.2 Peta Kabupaten Aceh Utara Dan Kecamatan Muara Batu

Sumber : Bappeda NAD

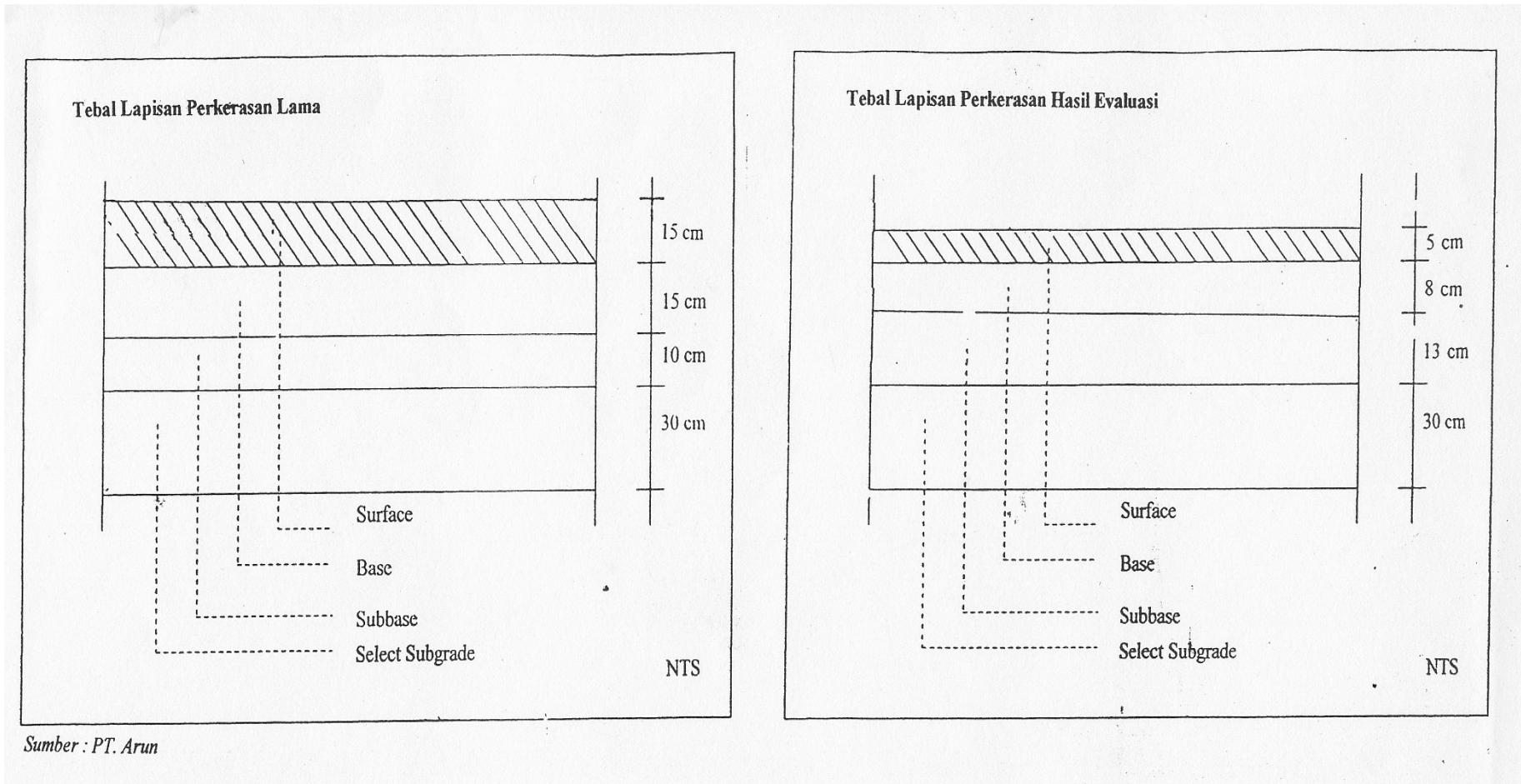
LAMPIRAN C.3



Gambar C.1.3 Peta Lokasi Bandara Malikussaleh

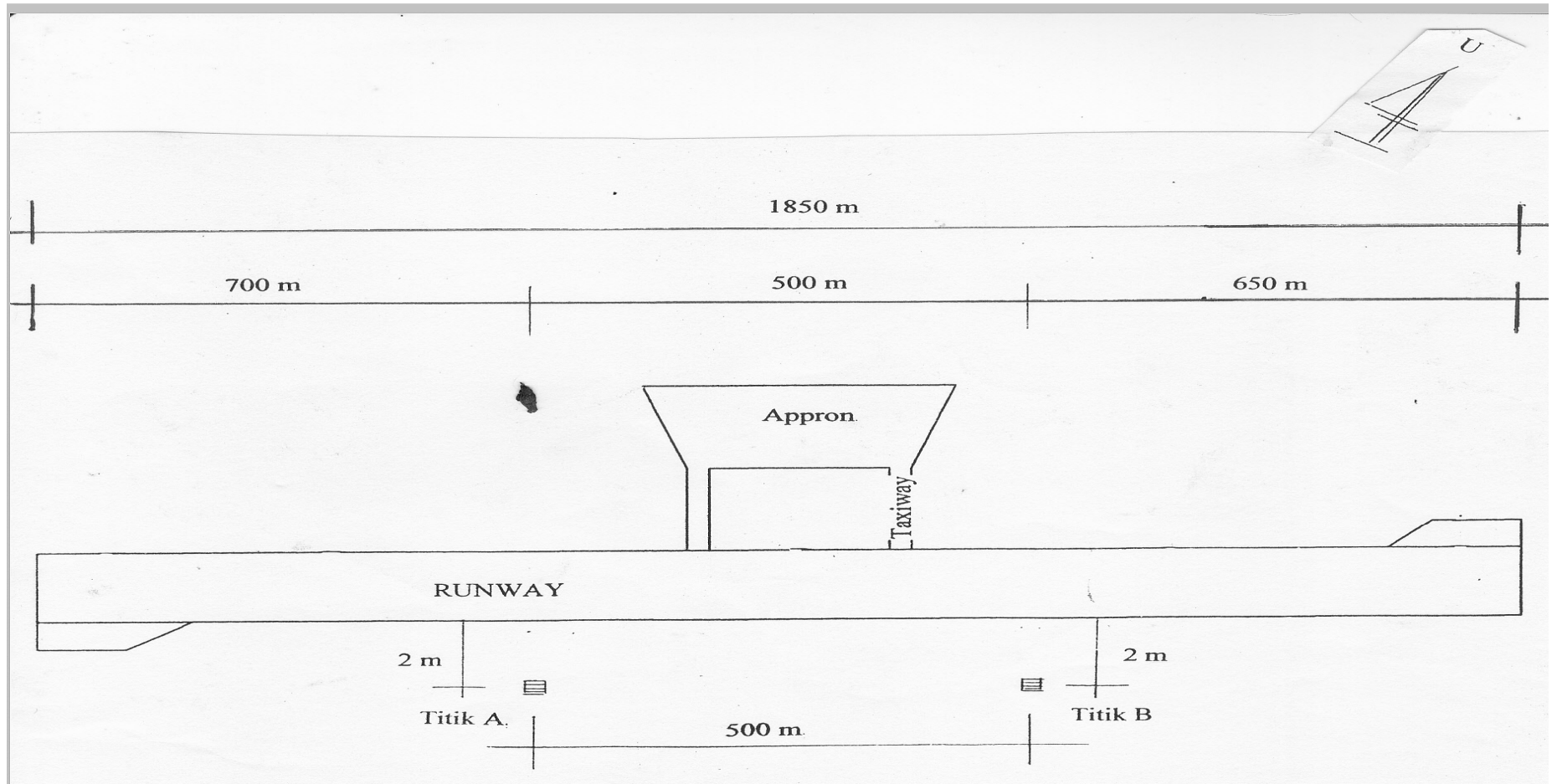
Not To Scale

LAMPIRAN C.4



Gambar C.4.1 Detail Lapisan Perkerasan Lama Dan Hasil Evaluasi Landas Pacu Bandara Malikussaleh

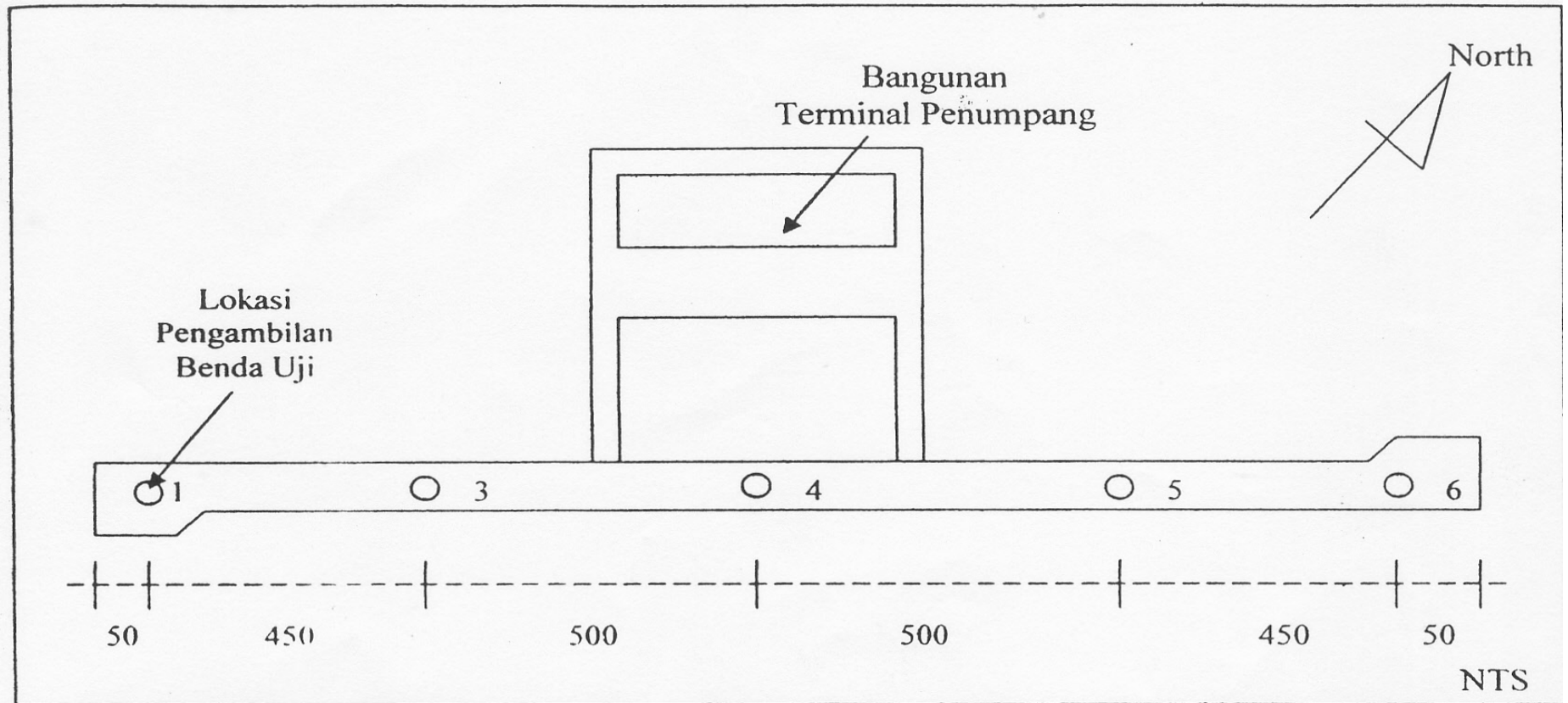
LAMPIRAN C.5



Not To Scale

Gambar C.4.2 Denah Titik Pengambilan Tanah Untuk Pengujian CBR Subgrade Runway Bandara Malikussaleh

LAMPIRAN C.6



Not To Scale

Gambar C.4.3 denah core drill pada landas pacu bandara malikussaleh

Sumber : Konsultan Perencana