

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

1. (Elip Woro Sukarno, 2022). **Studi Perbandingan Efisiensi Biaya Antara Pekerjaan Jalan Perkerasan Kaku (RIGID PAVEMENT) Dengan Perkerasan lentur (FLEXIBLE PAVEMENT) Di Kabupaten Ngawi.** Jurnal Impresi Indonesia (JII). website: <https://rivierapublishing.id/JII/index.php/jii/index>. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis dari penelitian ini dapat disimpulkan: Jenis perkerasan kaku (rigid pavement) lebih bisa mencapai live style (umur ekonomis) karena dari segi biaya per tahun yang harus di keluarkan jauh lebih hemat dibandingkan dengan perkerasan lentur (flexible pavement). Dengan memperhatikan biaya konstruksi jalan antara perkerasan kaku (rigid pavement) dengan perkerasan lentur (flexible pavement). konstruksi jalan perkerasan kaku (rigid pavement) dapat menghemat biaya sebesar 33,23 % atau senilai dengan Rp. 189.013.402,50. Penggunaan konstruksi jalan dengan perkerasan kaku (rigid pavement) dapat menjadi alternatif pilihan yang bagus untuk perkerasan yang hemat dalam pembiayaan per tahunnya. (Sukarno, 2022)
2. (Daar Maria Lun Atbar, 2019). **Perencanaan Peningkatan Perkerasan Lentur Dan Perkiraan Rencana Anggaran Biaya Pada Pembangunan Jalan Maruni – Mameh.** Student Journal GELAGAR Volume. 1 Nomor. 1 2019. Website : <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/gelagar> Pembangunan jalan yang dilakukan pemerintah ialah dengan meningkatkan kapasitas dan kualitas jalan itu sendiri. Ruas jalan Maruni – Mameh kabupaten Manokwari dengan panjang jalan 4,433 km merupakan salah satu jalan nasional dan termasuk dalam jalan arteri berdasarkan klasifikasi jalan fungsional di Indonesia dengan sistem jaringan jalan primer..Dari hasil data lapangan serta perhitungan perencanaan perkerasan lentur pembangunan ruas jalan Maruni - Mameh kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat diperoleh perencanaan perkerasan lentur menggunakan laston untuk umur rencana 10 tahun dengan tebal Lapisan AC-WC = 4 cm, AC-BC = 6 cm, Lapisan Fondasi Atas (LFA) Agregat kelas A = 40 cm, dan Bahu jalan (sirtu) = 40 cm dengan perkiraan Rencana Anggaran Biaya sebesar Rp.15.445.669.878,69 termasuk PPN 10% (Daar Maria, 2019)

3. (Dwi Erry Nopriyanto, 2021). **Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Peningkatan Jalan Laksantri – Benowo Kota Surabaya Dengan Menggunakan Metode Bina Marga.** Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi. Wabsite : [ISSN 2337-6317 \(PRINT\); ISSN 2615-0824 \(ONLINE\)](#). Perencanaan pembangunan Ruas Jalan Lakarsantri – Jalan Benowo Kota Surabaya merupakan akses jalan kolektor yang dilalui oleh pengendara yang masuk dari arah Kabupaten Gresik masuk ke jalan tersebut karena Jalan Lakarsantri dan Jalan Benowo berbatasan langsung dengan Kabupaten Gresik. Dari hasil perhitungan tebal perkerasan 27,5 cm lapis pondasi bawah berupa lean mix concrete setebal 10 cm, Lapis Drainase (LFA Kelas A) setebal 15 cm. :Sambungan dowel berdiameter 35 mm, panjang 455 mm dan jarak 305 mm. Sambungan memanjang batang pengikat tie bars berdiameter 16 mm, panjang 700 mm dan jarak batang pengikat 750 mm. Tulangan memanjang berdiameter 12 mm dengan jarak 300 mm tulangan melintang berdiameter 12 mm dengan jarak 300 mm. untuk pembangunan sebesar Rp. 126.065.506.170. (Erry Nopriyanto, 2021).
4. (Risky Prayoga Pratama Ananta,2019). **Perencanaan Peningkatan Jalan Pada Ruas Jalan Bulaktimun – Ketanggung Kabupaten Ngawi.** Journal GELAGAR Volume. 1 Nomor. 1 2019. Website : <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/gelagar> . Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, Pedoman Konstruksi Bangunan, Pd.T-14-2003. Berdasarkan analisa didapatkan hasil tebal slab beton menggunakan ketebalan minimal yaitu 15 Cm berjenis beton bersambung tanpa tulangan (BBTT) dengan memakai beton K450. Pemakaian ketebalan minimal ini dipakai karena CBR efektif tanah dan beban lalulintas rencana yang seimbang. Hal ini baik dalam penghematan anggaran biaya yang nantinya digunakan pada proyek tersebut yang sudah di hitung dan mendapat hasil nominal sebesar Rp18.215.623.000 (Prayoga Pratama Putra Ananta, n.d. 2019).

2.1.1 Persamaan dan perbedaan studi terdahulu

Perbedaan antara studi sebelumnya yang telah dibahas pada studi terdahulu dengan studi yang akan dibahas oleh penyusun harus transparan dan jelas agar terhindar dari plagiasi. Maka dapat dilihat pada table 2.1 untuk mengetahui persamaan dan perbedaan.

Tabel 2.1 Persamaan Dan perbedaan Studi Terdahulu

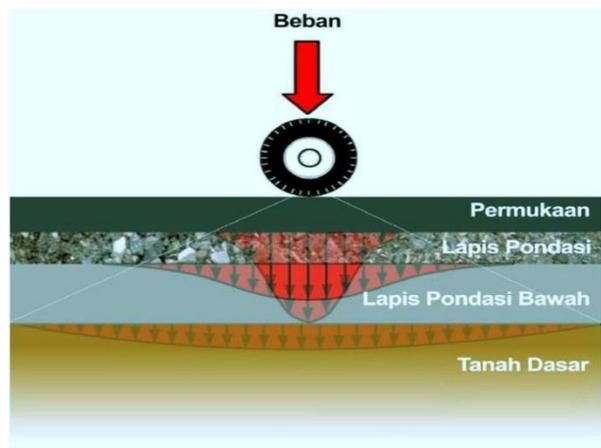
No	Nama Penulis	Judul	Hasil Analisis	Perbedaan
1.	Elip Woro Sukarno	Studi Perbandingan Efisiensi Biaya Antara Pekerjaan Jalan Perkerasan Kaku (RIGID PAVEMENT) Dengan Perkerasan lentur (FLEXIBLE PAVEMENT) Di Kabupaten Ngawi	Jenis perkerasan kaku (rigid pavement) lebih bisa mencapai live style (umur ekonomis) karena dari segi biaya per tahun yang harus dikeluarkan jauh lebih hemat dibandingkan dengan perkerasan lentur (flexible pavement). Dengan memperhatikan biaya perkerasan kaku (rigid pavement) dapat menghemat biaya	Pada Studi ini lebih berfokus pada studi perbandingan biaya yang efisien antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.
2.	Daar Maria Lun Atbar	Perencanaan peningkatan perkerasan lentur dan perkiraan anggaran biaya pada pembangunan jalan Maruni-Mameh	Dari hasil data lapangan serta perhitungan perencanaan perkerasan lentur pembangunan ruas jalan Maruni - Mameh kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat diperoleh perencanaan perkerasan lentur menggunakan laston untuk umur rencana 10 tahun dengan perkiraan Rencana Anggaran Biaya sebesar Rp.15.445.669.878,69	Pada Studi ini hanya menghitung peningkatan perkerasan lentur saja tidak menghitung perkerasan kaku, dan juga menghitung anggaran biaya perkerasan lentur

3.	Dwi Erry Nopriyanto	Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Peningkatan Jalan Lakasantri – Benowo Kota Surabaya Dengan Metode Binamarga	Keunggulan penggunaan konstruksi perkerasan kaku sebagai konstruksi jalan raya adalah dari segi umur konstruksi yang lebih lama dibandingkan dengan konstruksi perkerasan lentur sehingga pelebaran jalan tercipta suasana yang aman, dan efisien Pada perbaikan jalan lakarsantri – benowo	Pada Studi ini menghitung perencanaan perkerasan kaku saja dan menghitung anggaran biayaya pembangunan perkersan kaku
4.	Risky Prayoga Pratama Putra Ananta	Perencanaan Peningkatan Jalan Pada Ruas Jalan Bulaktimun – Ketanggung Kabupaten Ngawi	Kerusakan jalan banyak sekali ditemui di beberapa titik ruas jalan. Hal tersebut sangat mengganggu aktifitas lalu lintas di sepanjang jalan tersebut. Tak jarang terjadi genangan air yang semakin memperparah kerusakan jalan. perencanaan peningkatan jalan salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan lalu lintas di Kabupaten Ngawi. Dalam perancangannya dibutuhkan metoda efektif agar hasil yang diperoleh nantinya mampu memenuhi unsur kenyamanan, keamanan dan keselamatan pengguna jalan.	Di Studi ini berfokus pada perencanaan ulang pada jalan tersebut agar tidak terjadi kecelakaan akibat jalan yang rusak dan belubang dengan mengitung anggaran biyaya yang efisien

2.2 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavemen*)

Perkerasan lentur adalah konstruksi perkerasan yang terdiri dari lapisan-lapisan perkerasan yang dihampar diatas tanah dasar yang dipadatkan. Lapisan tersebut dapat menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Kekuatan konstruksi perkerasan ini ditentukan oleh kemampuan penyebaran tegangan tiap lapisan, yang ditentukan oleh tebal lapisan tersebut dan kekuatan tanah dasar yang diharapkan.

Perkerasan lentur ini bila diberikan beban maka perkerasan akan melendut /melentur. Struktur perkerasan lentur ini terdiri atas beberapa lapisan dengan material tertentu. Pada lapisan struktur perkerasan dibawahnya akan menerima/ mendukung beban yang lebih ringan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Penyebaran beban relatif lebih kecil pada perkerasan lentur sehingga lapis pondasi dan lapis pondasi bawah memberi sumbangan yang besar dalam memikul beban.



Gambar 2.1 Distribusi Beban Pada Perkerasan Lentur

Menurut Silvia Sukirman (1999) agar konstruksi perkerasan jalan dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pengguna jalan, maka perkerasan jalan harus memenuhi syarat-syarat tertentu, yaitu :

1. Fungsional

Perkerasan tersebut mampu melaksanakan fungsi yang baik bagi pengguna jalan. Fungsi tersebut mencakup keamanan, dan kenyamanan dalam berkendara. Persyaratan tersebut adalah meliputi antara lain:

- a) Permukaan yang rata, tidak bergelombang/melendut dan tidak berlubang.
- b) Permukaan cukup kuat kesat sehingga permukaan perkerasan tidak licin/tidak mudah selip.
- c) Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat dengan cepat dialirkan ke saluran samping.

2. Struktural.

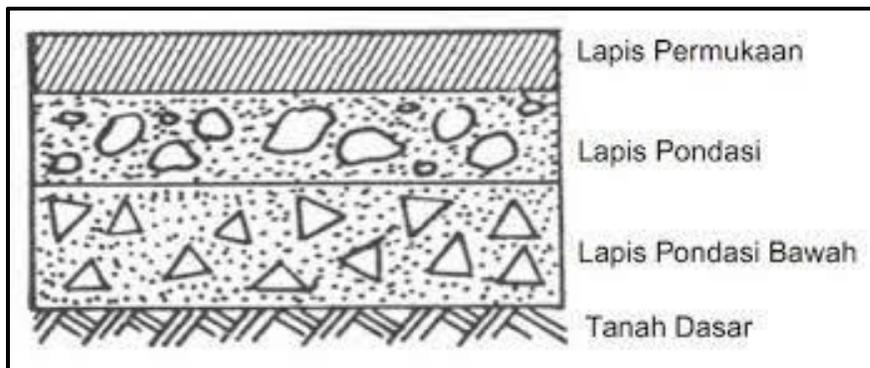
Perkerasan mampu memikul dan menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi adalah antara lain:

- a) Mempunyai ketebalan yang cukup, sehingga dapat menyebarkan beban/muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- b) Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan dibawahnya.
- c) Perkerasan mampu menahan tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas.
- d) Permukaan yang cukup kaku sehingga tidak mudah

2.2.1 Struktur Perkerasan Lentur

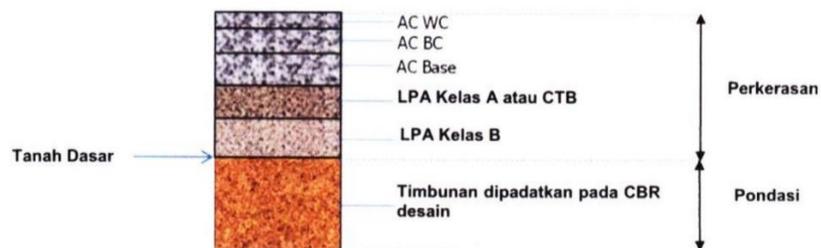
Perkerasan aspal dan perkerasan beton aspal (asphalt concrete pavement), juga disebut perkerasan lentur (flexible pavement), yang merupakan campuran dari agregat batu pecah, pasir, material pengisi, dan aspal, yang dihamparkan dan dipadatkan. Perkerasan lentur dirancang untuk melendut dan kembali keposisi semula bersama-sama dengan tanah dasar. Konsep dasar dalam perencanaan ini adalah menghamparkan lapisan-lapisan permukaan dan lapis pondasi beserta lapisan-lapisan antaranya, sedemikian hingga regangan pada tanah dasar dapat dikendalikan guna mencegah terjadinya defleksi permanen. Perkerasan lentur jalan dibangun dengan susunan :



Gambar 2.2 Struktur Perkerasan Lentur



Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)



Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Timbunan

dari 42



Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Galian

Gambar 2.3 Komponen Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat)
(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga),2013)

Menurut Sukirman, (1999) konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut terdiri dari:

a. Lapisan permukaan (*surface course*).

Lapisan permukaan adalah lapisan paling atas dari perkerasan lentur yang terletak diatas lapisan pondasi, fungsi dari lapisan permukaan sebagai berikut :

- Sebagai lapisan kedap air, untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap kedalam lapisan dibawahnya dan bisa melemahkan lapisan-lapisan dibawahnya
- Sebagai perkerasan untuk menahan beban roda, dimana lapisan ini mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- Sebagai lapisan aus (*Wearing Course*), yaitu lapisan yang langsung mendapat gaya gesekan dari rem kendaraan dengan tekanan roda serta pengaruh cuaca dan iklim.
- Sebagai lapisan (*Asphalt Concrete – Binder Course*) AC-BC merupakan lapis perkerasan yang berfungsi sebagai lapis antara, yaitu diantara AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) sebagai lapis aus dan AC-base yang berfungsi sebagai lapis pondasi bawah. Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Perhubungan dan Prasarana wilayah adalah AC-WC/ lapis aus aspal beton.
- Sebagai lapisan yang menyebabkan beban roda ke lapisan dibawahnya yang mempunyai daya dukung lebih kecil.

Agar dapat memenuhi fungsi tersebut diatasnya pada umumnya lapisan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan yang lama.

b. Lapisan pondasi atas (*base course*)

Lapis pondasi atas merupakan lapisan yang dihamparkan dibawah lapis permukaan. Lapisan pondasi terletak diatas lapis pondasi bawah, atau jika lapis pondasi bawah tidak digunakan, diatas tanah dasar. Lapisan pondasi atas berfungsi untuk :

- Mendukung kerja lapisan permukaan sebagai penahan gaya geser dari beban roda dan menyebarkan kelapisan dibawahnya.
- Memperkuat konstruksi perkerasan sebagai bantalan terhadap lapis permukaan. Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Dalam penentuan bahan lapis pondasi ini perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain, kecukupan bahan setempat, harga, volume pekerjaan dan jarak angkut bahan kelapangan. Berbagai macam bahan alam atau bahan setempat ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) Dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, seperti batu pecah, kerilil pecah dan stabilitas tanah dengan semen atau kapur.

Setiap bahan atau agregat untuk campuran lapis pondasi atas harus bebas kotoran, bahan organik, gumpalan lempung atau tanah yang tidak dikehendaki. Selain itu agregat pada lapis pondasi atas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

Tabel 2.2 Persyaratan Lapisan Pondasi Atas

Sifat – Sifat	Kelas A	Kelas B	Kelas C
Abrasi dari agregat kasar (SNI 03-2417-1990)	Maks 40%	Maks 40%	Maks 40%
Indek plastis (SNI 03-1966-1990) Dan (SNI 03-1967-1990)	Maks 6	Maks 6	4 – 9
Hasil kali indeks plastisitas dengan % lolos ayakan No. 200	Maks 25	-	-
Batas cair (SNI 03-1867-1990)	Maks 25	Maks 25	Maks 25
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat (SNI 02-4141-1996)	0%	Maks 1%	Maks 1%
CBR (SNI 03-1744-19989)	Min 90%	Min 65%	Min 35%
Perbandingan persen lolos #200 dengan persen lolos 340	Maks 2/3	Maks 2/3	Maks 2/3

(Sumber : SNI 002-03/BM/2006)

c. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Lapisan pondasi bawah adalah material yang kualitasnya lebih rendah dari lapis pondasi (*base course*) (kekuatan plastisitas dan gradasi), tetapi masih lebih tinggi kualitasnya dibandingkan tanah dasar. Jenis lapisan pondasi bawah yang umum dipergunakan dalam peraturan Bina Marga 1987 antara lain agregat kelas A dan

agregat kelas B. lapisan pondasi bawah berfungsi untuk bagian kontruksi perkerasan untuk menyebarkan roda ke tanah dasae. Lapisan ini harus mempunyai $CBR \geq 20\%$ dan plastisitas indeks $(PI) \leq 10\%$.

d. Lapisan Tanah Dasar (*subgrade*)

Perkerasan jalan lentur (*hotmix*) berfungsi untuk menerima beban lalu-lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Di dalam pelaksanaannya, beban lalu-lintas diterima oleh perkerasan lentur, pertama oleh lapisan permukaan/ penutup (*surface course*), selanjutnya disebarkan ke lapisan dibawahnya yaitu lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*) dan lapisan tanah dasar (*sub grade*).

Laston adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, kadar aspal berkisar 4-7% terhadap berat campuran, dan dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang, hingga berat. Campuran ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi. Menurut Kimpraswil tahun 2000 (dalam Hardiyatmo, 2015) aspal beton menjadi 3 macam campuran, yaitu laston lapis aus (AC-WC), laston lapis pengikat (AC-BC), dan laston lapis pondasi.

Lapis aspal beton biasanya digunakan untuk lapis permukaan, lapis perata, dan lapis pengikat. Dalam penggunaan, ketiganya mempunyai perbedaan dalam persyaratan campurannya. Agregat yang digunakan umumnya memiliki gradasi rapat, dan memiliki rongga udara antar agregat kecil dan memerlukan sedikit aspal. Kerusakan yang sering terjadi pada beton aspal biasanya dimulai dengan adanya retak-retak pada perkerasan. Hal ini karena beton aspal memiliki rongga antar agregat yang kecil, sehingga volume aspal yang menyelimuti butiran agregat juga sedikit. Akibatnya aspal dengan mudah teroksidasi, lapisan kurang kedap air yang mengakibatkan aspal mudah terkelupas dari agregat yang menyebabkan terjadinya pelepasan butir. Menurut Asphalt Institute MS-22 (dalam Hardiyatmo, 2015), suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik tersebut meliputi stabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, daya

tahan/durabilitas, kekesatan permukaan, kemudahan pekerjaan, kedap air, dan ketahanan terhadap kelelahan. Berikut penjelasan masing-masing karakteristik marshall:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal dalam melawan deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. Stabilitas juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan lapisan perkerasan dalam melayani beban lalu lintas dengan tanpa mengalami deformasi permanen, seperti gelombang dan timbulnya alur-alur. Stabilitas akan maksimal apabila agregat memiliki permukaan kasar dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan agregat dapat disebarkan dengan merata. Nilai stabilitas marshall dinyatakan dalam pon yang menyebabkan keruntuhan dari benda uji campuran beton aspal panas padat yang diuji dalam alat marshall. Stabilitas marshall bertambah apabila kadar aspal bertambah sampai nilai tertentu, setelah nilai tersebut stabilitasnya berkurang.

2. Kelenturan/fleksibilitas

Kelenturan adalah campuran aspal harus mampu mengakomodasi lendutan permanen dalam batas-batas tertentu dengan tanpa mengalami retak-retak. Untuk mendapatkan kelenturan yang tinggi, maka dapat digunakan agregat yang bergradasi terbuka atau gradasi senjang. Aspal yang digunakan harus lunak (penetrasi tinggi).

3. Daya tahan/durabilitas

Daya tahan atau durabilitas maksudnya daya tahan suatu lapis perkerasan terhadap keausan akibat beban lalu lintas dan pengaruh perubahan cuaca dengan tanpa mengalami pelepasan film aspal dari butiran agregat. Perubahan cuaca dapat mengakibatkan penebaran aspal. Faktor-faktor yang dapat meningkatkan durabilitas campuran agregat aspal adalah kadar aspal tinggi, gradasi agregat rapat, pemadatan sempurna, campuran agregat kedap air, serta batuan penyusun lapis perkerasan cukup keras.

4. Kekesatan permukaan

Kekesatan permukaan adalah lapisan permukaan aspal harus mempunyai kekesatan yang cukup tinggi, sehingga menjamin keselamatan pengguna jalan, terutama apabila dalam kondisi basah. Untuk mempertinggi kekesatan maka jadar aspal harus tepat dan permukaan agregat harus kasar.

5. Kemudahan pekerjaan

Kemudahan dalam pekerjaan adalah campuran aspal harus mudah dikerjakan dalam pelaksanaan di lapangan termasuk penghamparan dan pematatannya.

6. Kedap air

Kedap air maksudnya adalah kededapan campuran beraspal terhadap masuknya air dan udara. Hal ini diperlukan untuk mencegah lolosnya air dan kontak langsung aspal dengan udara. Air dan udara akan mempercepat penuaan aspal. Selain itu, air juga dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada di permukaan agregat.

7. Ketahanan terhadap kelelahan

Ketahanan terhadap kelelahan adalah ketahanan campuran beraspal dalam menahan lendutan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang-ulang, sehingga campuran tidak cepat mengalami keretakan

2.2.2 Umur Rencana

Pada perkerasan jalan baru umur rencana minimal 20 tahun, sedangkan untuk tebal lapis tambah (*Overlay*) ditetapkan minimal 10 tahun, seperti yang tertera pada tabel dibawah ini

Tabel 2.3 Umur Rencana Pada Penanganan Overlay

Kreteria beban lalu lintas (juta ESA4)	<0,5	0,5_<30	≥30
Umur rencana perkerasan lentur	Seluruh penanganan 10 tahun	<ul style="list-style-type: none"> - Rekonstruksi – 20 tahun - <i>Overlay</i> Struktur -10 tahun - <i>Overlay</i> non struktur -10 tahun - Penanganan sementara 	

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017)

Tabel 2.4 Umur Rencana Jalan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti : jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan.	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan Kaku	Lapisan fondasi atas, lapisan fondasi bawah, lapisan beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan Tanpa Penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017)

Catatan :

1. Jika dianggap sulit untuk menggunakan umur rencana diatas, maka dapat digunakan rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisis dengan discounted lifecycle cost yang dapat menunjukkan bahwa umur rencana tersebut dapat memberikan discounted lifecycle cost rendah.
2. Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan.

Untuk mencari kapasitas jalan menggunakan table pedoman kapasitas jalan Indonesia 2014 (PKJI 14) untuk perhitungan kapasitas jalan (antar kota). Berikut table yang digunakan dalam perhitungan kapasitas jalan :

- a. Penentuan nilai ekivalen kendaraan ringan (EKR) Penentuan nilai Ekivalen Kendaraan Ringan (EKR) untuk merubah data lalu lintas untuk menjadi satuan kendaraan (SKR) dengan mengalikan LHR dengan factor penyesuaian tersebut sesuai dengan kreteria yang digunakan.

Tabel 2.5 Ekivalen Kendaraan Ringan (EKR) Unuk Jalan 2/2 TT (Tidak Terbagi)

Tipe alinyemen	Arus lalu lintas per arah (kend/jam)	Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR)					
		KBM	BB	TB	SM		
					Lebar Lajur (m)		
					< 6	6 - 8	>8
Datar	0	1.2	1.2	1.8	0.8	0.6	0.4
	800	1.8	1.8	2.7	1.2	0.9	0.6

	1350	1.5	1.6	2.5	0.9	0.7	0.5
	≥1900	1.3	1	2.5	0.6	0.5	0.4
Bukit	0	0	1	1.8	0.7	0.5	0.3
	650	2.4	2	5.0	1.0	0.8	0.5
	1100	2.0	2	4.0	0.8	0.6	0.4
	≥1900	1.7	1	3.2	0.5	0.4	0.3
Gunung	0	0	3	2.5	0.6	0.4	0.2
	450	3.0	3	5.5	0.9	0.7	0.4
	900	2.5	2	5.0	0.7	0.5	0.3
	≥1350	1.9	2	4.0	0.5	0.4	0.3

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017, 2017 : Lampiran G-1)

b. Kapasitas Jalan

Tabel 2.6 Kapasitas Dasar Co

Tipe jalan	C ₀ (skr/jam)	Catatan
4/2Tatau Jalan satu-arah	1650	Per lajur (satu arah)
2/2 TT	2900	Per Jalur (dua arah)

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 30)

Tabel 2.7 Penyesuaian Kapasitas Terkait Lebar Jalur Atau Jalur Lalu Lintas

Tipe jalan	Lebar jalur lalu lintas efektif (W _c) (m)	FC _{LJ}
4/2T atau Jalan satu-arah	Lebar per lajur; 3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
2/2TT	Lebar jalur 2 arah; 5,00	0,56
	6,00	0,87
	7,00	1,00
	8,00	1,14
	9,00	1,25
	10,00	1,29
	11,00	1,34

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 31)

Tabel 2.8 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Pemisah Arah,

Pemisahan arah PA %-%	50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{PA} 2/2TT	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 31)

Tabel 2.9 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait KHS

Tipe jalan	KHS	FC _{HS}			
		Lebar bahu efektif L _{Be} , m			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 2,0
4/2T	SR	0,96	0,98	1,01	1,03
	R	0,94	0,97	1,00	1,02
	S	0,92	0,95	0,98	1,00
	T	0,88	0,92	0,95	0,98
	ST	0,84	0,88	0,92	0,96
2/2TT atau Jalan satu arah	SR	0,94	0,96	0,99	1,01
	R	0,92	0,94	0,97	1,00
	S	0,89	0,92	0,95	0,98
	T	0,82	0,86	0,90	0,95
	ST	0,73	0,79	0,85	0,91

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 31)

Tabel 2.10 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Ukuran Kota

Ukuran kota (Jutaan penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota, (FC _{UK})
< 0,1	0,86
0,1 - 0,5	0,90
0,5 - 1,0	0,94
1,0 - 3,0	1,00
> 3,0	1,04

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 32)

2.2.3 Lalu Lintas

Data lalu lintas diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi. (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017)

Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah:

- Beban gandar kendaraan komersial.
- Volume lalu lintas dalam beban sumbu standar berdasarkan jenis kendaraan.

Tabel 2.11 Klasifikasi Kendaraan Berdasarkan Jenisnya

Golongan	Jenis Kendaraan
1	Sepeda Motor
2,3,4	Sedan / Angkot / Pickup / Station Wagon
5A	Bus Kecil
5B	Bus Besar
6A	Truk 2 Sumbu – Ringan
6B	Truk 2 Sumbu – Berat
7A	Truk 3 Sumbu
7B	Truk Gandeng
7B	Truk Trailer

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017)

2.2.4 Analisis Volume Lalu Lintas

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017):

1. Survei lalu lintas dengan durasi minimal 7 x 24 jam yang mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B).
2. Hasil–hasil survei lalu lintas sebelumnya.
3. Nilai perkiraan untuk jalan dengan lalu lintas rendah.

Analisis untuk penentuan volume lalu lintas dilakukan pada jam sibuk dan lalu lintas harian rata–rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas.

2.2.5 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data–data pertumbuhan (historical growth data) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka dapat menggunakan tabel berikut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

Tabel 2.12 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata – rata Indonesia
Ateri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017)

2.2.6 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas dinyatakan dalam smp/jam. Derajat kejenuhan digunakan untuk untuk analisa perilaku lalu lintas berupa kecepatan. Derajat kejenuhan dihitung dengan rumus

$$DS = Q/C \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

DS : Derajat Kejenuhan

Q : Volume Lalu Lintas (skr/jam)

C : Kapasitas (skr/jam)

2.2.7 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi sesuai estimasi lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Brantas di dalam tabel 2.13 tidak absoulut, desainer juga harus mempertahankan biaya selama umur pelayanan terendah, Batasan dan kepraktisan konstruksi. Solusi alternatif diluar solusi desain awal berdasarkan manual ini harus didasarkan pada biaya-biaya umur pelayanan discounted terendah.

Tabel 2.13 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur perkerasan	Bagan desain	ESA (uta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0.5	0.1 - 4	>4 - 10	>10 – 30	>30 – 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (diatas tanah dasar ≥ 2.5 %)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah perdesaan dan perkotaan)	4A	-	1.2	-	-	-
AC WC modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC Dengan CTB (ESA Pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC Tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (ESA Pangkat 5)	3B	-	-	1.2	2	2
AC atau HRD tipis diatas Lapis fondasi berbutir	3A	-	1.2	-	-	-
Burda atau burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapisan fondasi soil cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan jalan tanpa penutup (jalan, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017)

2.2.8 Pengukuran daya dukung Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Dan Child Birth Ratio (CBR)

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah suatu alat digunakan untuk menguji tanah dasar dan atau tanah lapis fondasi jalan dari tiga bagian utama yang satu sama lain harus disambung sehingga cukup kaku. (DPU Pedoman Cara Uji CBR Dengan DCP,2008 : 1)

Nilai modulus tanah dasar yang diperoleh dari DCP harus disesuaikan dengan kondisi musim. Factor penyesuain minimum ditunjukkan pada tabel 2.14

Tabel 2.14 factor penyesuaian modulus tanah dasar terhadap kondisi musim

Musim	Factor penyesuaian minimum nilai CBR Berdasarkan Pengujian DCP
Musim hujan dan tanah jenuh	0,90
Masa transisi	0,80
Musim kemarau	0,70

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017)

Nilai CBR Desain = (CBR Hasil Pengujian DCP) x Factor Penyesuaian

Daya dukung tanah dasar (DDT) Diketahui oleh perubahan kadar air. Daya dukung tanah ditetapkan berdasarkan grafik kolerasi antar CBR tanah dasar dengan daya dukung tanahnya. Sedangkan CBR Adalah nilai yang menyatakan kualitas dasar disbanding dengan bahan standar betu pecah yang memiliki nilai CBR Sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas (Silvia Sukirman, 1999 : 116) kekuatan tanah dasar dapat berfariasi antara nilai yang baik dan jelek, dengan demikian tidak ekonomis jika perencanaan tebal lapisan perkerasan berdasarkan nilai yang terendah, dan tidak memenuhi syarat jika berdasarkan nilai yang terbesar saja. Jadi alangkah baiknya apabila jalan tersebut dibagi atas segmen-segmen jalan yang mempunyai daya dukung yang hamper sama. Jadi segmen jalan adalah bagian dari Panjang jalan yang mempunyai daya dukung tanah, sifat tanah, dan keadaan lingkungan yang relative sama. CBR merupakan perbandingan

beban penetsai pada suatu bahan dengan beban standart pada presentasi dan kecepatan pembebanan yang sama. Data CBR yang digunakan adalah harga-harga CBR terendah, kemudian ditentukan harga CBR yang mewakili atau CBR segmen. Dalam menentukan CBR segmen terdapat 2 cara yaitu.

1. Secara Analistis

$$CBR_{Segmen} = CBR_{rata-rata} - (CBR_{maks} - CBR_{min}) / R$$

Tabel 2.15 Nilai R untuk perhitungan CBR segmen

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

Catatan : nilai R ditentukan berdasarkan data yang ada dilapangan (data R hanyalah pemisah)

Dapat dihitung nilai CBR Menggunakan cara analistis dapat dihitung menggunakan kolerasi nilai CBR-DCP menggunakan persamaan rumus log model yang berbeda rumus korelasi nilai CBR-DCP yang dimaksud sebagai berikut :

- a. Perhitungan CBR menggunakan pedoman bahan kosntruksi sipil 2007. Perhitunggan pengolahan CBR dari data sekunder menggunakan korelasi nilai CBR -DCP persamaan log model dengan konus 60⁰ dengan rumus :

$$\text{Log}(\text{CBR}) = 2,8135 - 1,313 \text{ Log}(\text{DCPI}) \dots\dots\dots 2.2$$

- b. Perhitungan CBR menggunakan rumus NCDOT
Perhitungan pengolahan CBR dari data sekunder menggunakan korelasi nilai CBR-DCP persamaan log model material agregat tanah dasar dan kohesif dengan rumus :

$$\text{Log(CBR)} = 2,60 - 1,07 \text{ Log (DCPI)} \dots\dots\dots 2.3$$

Sumber : NCDOT (Pavement;1998)

2. Secara Grafis

Prosedur adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan nilai CBR terendah
- b. Tentukan berapa banyak nilai CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR dan kemudian disusun secara tabel mulai dari nilai CBR terkecil sampai yang terbesar.
- c. Angka terbanyak diberi nilai 100% angka yang lain merupakan presentasi dari 100%.
- d. Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan presentasi jumlah tersebut.
- e. Nilai CBR segmen adalah nilai pada keadaan 90%

Tabel 2.16 Bagan Desain -2 Desain Fondasi Jalan Minimum (1)

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana 40 tahun (juta ESA5)			Stabilitas Semen
			< 2	2 - 4	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilitas semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan spesifikasi umum, Deviasi 3 - < 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2.5		175	250	350	
Tanah ekspansif (Potensi Pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Pekerjaan diatas tanah lunak	SGI	Lapis penompang	1000	1100	1200	
		Atau lapis penompang dan geogrid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum – ketentuan lain berlaku		Lapis penompang berbutir	1000	1250	1500	

(Sumber : Bina Marga MDPJ, 2017)

- Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal, syarat tambahan mungkin berlaku.
- Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
- Menggunakan nilai CBR Insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
- Permukaan lapisan penompang diatas tanah SGI dan Gambut Diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5 % Dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh : Untuk lalu lintas rencana >4 jt ESA,

Tanah SGI memerlukan lapisan penompang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu menambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.

- e) Tebal lapisan penompang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal didapatkan pada kondisi kering.

2.2.9 Desain Perkerasan Lentur

Desain perkerasan lentur desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dan pertimbangan biaya terdah ditunjukkan pada :

Tabel 2.17 bagan desain -3 desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB

	F1²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas dibawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B Dan 3C	Lihat bagan desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10⁶ ESA5)	> 10 - 30	> 30 -50	> 50 -100	> 100 - 200	> 200 – 500
Jenis permukaan berpegikat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	Cement treated Base (CTB)				
AC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi agregat kelas A	150	150	150	150	150

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017)

Catatan :

1. Ketentuan – ketentuan struktur Fondasi bagan desain -2 berlaku.
2. CTB mungkin tidak ekonomis untuk jalan dengan beban lalu lintas < 10 juta ESA 5 Rujuk Bagan Desain -3A Dan 3B Sebagai alternatif.
3. Pilih bagan desain -4 untuk solusi pekerjaan kaku dengan pertimbangan life cycle cost yang lebih rendah untuk kondisi tanah dasar biasa (bukan tanah lunak).
4. Hanya kontraktor yang cukup berkualitas dan memiliki akses terhadap peralatan yang sesuai dan kelihatan yang diizinkan melaksanakan pekerjaan CTB. LMC dapat sebagai pengganti CTB untuk pekerjaan di area sempit atau jika disebabkan oleh ketersediaan alat.
5. AC BC harus dihampar dengan tebal padat minimum 50 mm dan max 80 mm.

Tabel 2.18 bagan desain -3A Desain Perkerasan Lentur Dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA5)	FF < 0,5	$0,5 \leq FF \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapisan distabilitas dengan CBR > 10 $10\%^3$	150	125

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017)

Catatan :

1. Bagan desain -3A merupakan alternatif untuk daerah yang HRS menunjukkan Riwayat kinerja yang baik dan daerah yang dapat menyediakan material yang sesuai (gap graded mix)
2. HRS tidak sesuai untuk jalan dengan tanjakan curam dan daerah perkotaan dengan beban lebih besar dari 2 juta ESA5
3. Kerikil alam dengan atau material stabilitas dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumber daya penyedia jasa yang mumpuni tersedia.

Tabel 2.19 bagan desain -3B Desai Perkerasan Lentur – aspal dengan lapisan pondasi berbutir (sebagai alternatif dari bagan desain -3 dan 3A)

	Struktur Perkerasan								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
	Solusi yang dipilih				Lihar catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (106 ESA5)	< 2	≥ 2 – 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 – 50	> 50 - 100	> 100 – 200
Ketebalan lapisan perkerasan									
ACWC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ACBC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ACBase	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017)

Catatan :

1. FFF1 atau FFF2 harus lebih diutamakan dari pada FF1 dan FF2 (Bagan Desain -3A) Atau dalam situasi jika HRS Berpotensi mengalami rutting.
2. Pekerjaan dengan CTB (Bagan Desain -3) dan pilihan perkerasan kaku dapat lebih efektif biaya tapi tidak praktis jika sumber daya yang dibutuhkan tidak tersedia
3. Untuk desain perkerasan lentur dengan beban >10 juta CESA5, diutamakan menggunakan bagan desain -3 bagan desain. Bagan desain -3B digunakan jika CTB sulit untuk diimplementasikan. Solusi dari FFF5 – FFF9 dapat lebih praktis dari pada solusi bagan desain -3 atau 4 untuk situasi konstruksi tertentu seperti: (i) perkerasan kaku atau CTB Bisa menjadi tidak praktis pada pelebaran perkerasan lentur eksisting atau, (ii) diatas tanah yang berpotensi konsolidasi atau, (iii) pergerakan tidak seragam (dalam hal perkerasan kaku) atau, (iv) jika sumber daya kontraktor tidak tersedia
4. Tebal minimum lapis fonasi agregat yang tercantum didalam bagan desain -3 dan 3A diperlukan untuk memastikan drainase yang mencukupi sehingga dapat membatasi kehilangan kekuatan perkerasan pada musim hujan. Kondisi tersebut berlaku untuk semua bagan desain kecuali bagan desain -3B
5. Tebal LFA berdasarkan bagan desain -3B dapat dikurangi untuk subgrade dengan daya dukung lebih tinggi dan struktur perkerasan dapat mengalirkan air dengan baik (factor $m \geq 1$)
6. Semua CBR adalah nilai setelah sampel direndam 4 hari

Tabel 2.20 bagan desain -3C penyesuaian tebal lapis pondasi agregat A Untuk tanah dasar CBR $\geq 7\%$ (Hanya Untuk Bagan Desain -3B)

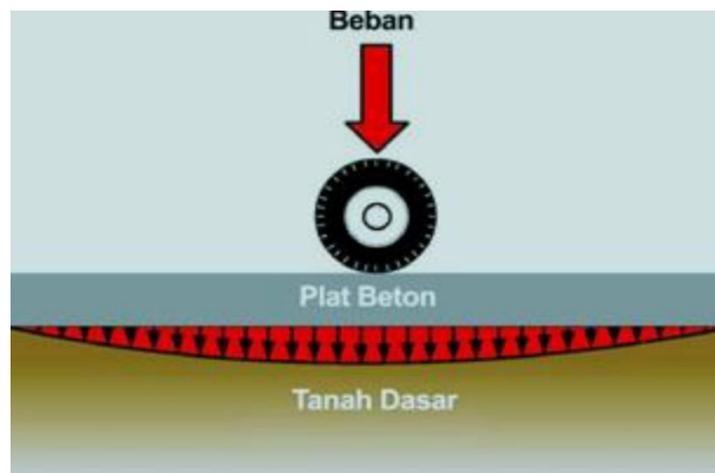
Komulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA 5)	Struktur Perkerasan								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
	>2	>2-4	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200
Tebal LFA (mm) penyesuaian terhadap bagan desain 3b									
Subgrade CBR > 5.5 -7	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade CBR > 7 -10	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade CBR > 10	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade CBR > 15	200	150	150	150	150	150	150	150	150

(Sumber : Bina Marga MDJP No. 04/SE/Db/2017)

2.3 Perkerasan Kaku (*Rigid pavement*)

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Beton dengan tulangan atau tanpa tulangan diletakkan di atas lapis pondasi bawah atau langsung di atas tanah dasar yang sudah disiapkan, dengan atau tanpa lapisan aspal sebagai lapis permukaan.

Kekuatan perkerasan kaku ditentukan oleh kekuatan lapisan beton itu sendiri, sedangkan kekuatan tanah dasar tidak begitu menentukan. Kekuatan plat beton yang tinggi dapat memikul sebagian besar beban lalu lintas sehingga pengaruh pada daya dukung tanah dasar kecil. Gambar distribusi beban pada perkerasan kaku terdapat pada **Gambar 2.4**. Karena kekakuan pelat beton yang relatif tinggi sehingga dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas. Tegangan yang timbul pada lapis pondasi bawah relatif kecil karena beban telah disebarkan oleh pelat beton.



Gambar 2.4 Distribusi Beban Pada Perkerasan Kaku

Perkerasan beton mempunyai kekakuan atau modulus elastisitas yang tinggi dari perkerasan lentur. Beban yang diterima akan disebarkan ke lapisan dibawahnya sampai ke lapis tanah dasar. Dengan kekakuan beton yang tinggi,

maka beban yang disalurkan tersebut berkurang tekanannya karena makin luasnya area yang menampung tekanan beban sehingga mampu dipikul oleh lapisan dibawah (tanah dasar) sesuai dengan kemampuan CBR.

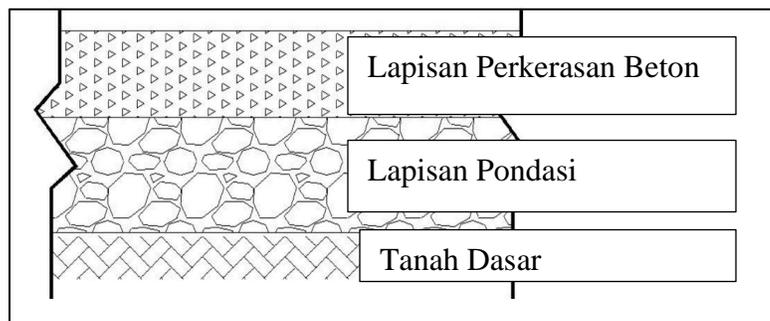
2.3.1 Umum

Perkerasan kaku adalah struktur yang terdiri dari pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah, tanpa atau dengan peraspalan sebagai lapis permukaan.

Dalam perkerasan kaku, tebal plat beton didesain agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh beban roda kendaraan, perubahan suhu dan kadar air, serta perubahan volume yang terjadi pada lapisan dibawahnya. Untuk memikul repetisi/pengulangan pembebanan lalu lintas sesuai dengan konfigurasi sumbu dan bebannya, dalam perhitungan tebal plat beton diterapkan kelelahan (fatigue).

Pada prinsipnya, perkerasan kaku didesain atas dasar:

1. Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dalam modulus reaksi tanah dasar (k).
2. Tebal dan jenis lapisan pondasi bawah yang salah satunya untuk mendapatkan keseragaman daya dukung di bawah pelat.
3. Kekuatan beton yang dinyatakan dalam kekuatan lentur tarik mengingat keruntuhan pada perkerasan beton berupa retakan oleh tegangan lentur tarik yang berlebihan.



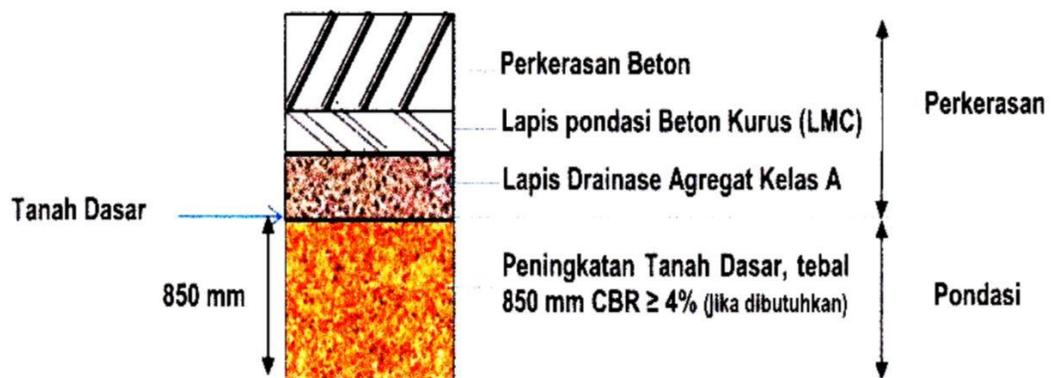
Gambar 2.5 Struktur Perkerasan kaku



Struktur Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)



Struktur Perkerasan Kaku Pada Timbunan



Struktur Perkerasan Kaku Pada Galian

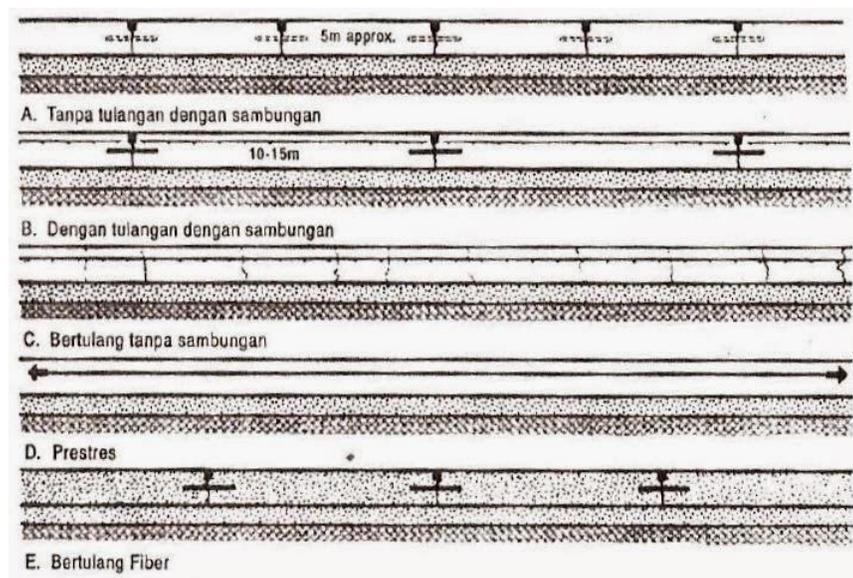
Gambar 2.6 Komponen Struktur Perkerasan Kaku

Sesuai dengan pengertian di atas, perkerasan kaku dapat dikelompokkan ke dalam

a) Perkerasan beton semen, yaitu perkerasan kaku dengan beton semen sebagai lapisan aus.

Terdapat 4 jenis perkerasan beton semen:

- Perkerasan beton semen tanpa tulangan dengan sambungan (jointed plain concrete pavement)
- Perkerasan beton semen bertulang dengan sambungan (Joint reinforced concrete pavement)
- Perkerasan beton semen tanpa tulangan (continuously reinforced concrete pavement)
- Perkerasan beton semen prategang (prestressed concrete pavement)
- Perkerasan beton semen bertulang fiber (fiber reinforced concrete pavement)



Gambar 2.7 Macam-Macam Perkerasan Beton Semen
(Sumber : Anas Aly, *Perkerasan Beton Semen* 2004)

2.3.2 Dasar – Dasar Perencanaan

Perencanaan sistem perkerasan kaku, tebal pelat beton diperhitungkan untuk mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh:

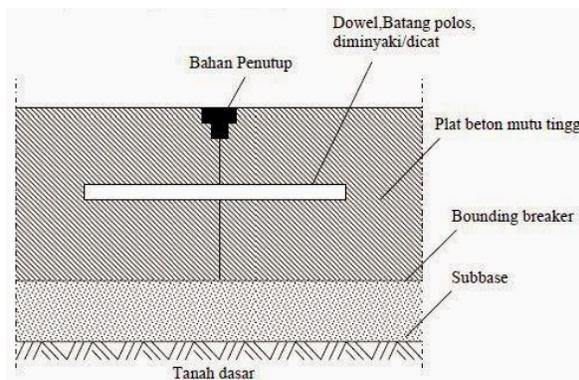
- beban roda kendaraan;
- perubahan suhu dan kadar air;
- perubahan volume pada lapisan di bawahnya.

Perencanaan tebal perkerasan kaku didasarkan pada:

- Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dalam Modulus Reaksi Tanah Dasar (k);
- Tebal dan jenis lapis pondasi bawah yang diperlukan untuk melayani lalu lintas pelaksanaan, mengendalikan pemompaan (*pumping*) dan perubahan volume tanah dasar, serta untuk mendapatkan keseragaman daya dukung di bawah pelat;
- Kekuatan beton dinyatakan dengan Kuat Lentur (MR) untuk mengatasi tegangan yang diakibatkan oleh beban roda dari lalu lintas rencana.

2.3.3 Komponen – Komponen Perkerasan Kaku

Pada konstruksi perkerasan beton semen, sebagai konstruksi utama adalah berupa satu lapis beton semen mutu tinggi. Sedangkan lapis pondasi bawah (subbase berupa cement treated subbase maupun granular subbase) berfungsi sebagai konstruksi pendukung atau pelengkap.



Gambar 2.8 skema potongan melintang konstruksi perkerasan kaku

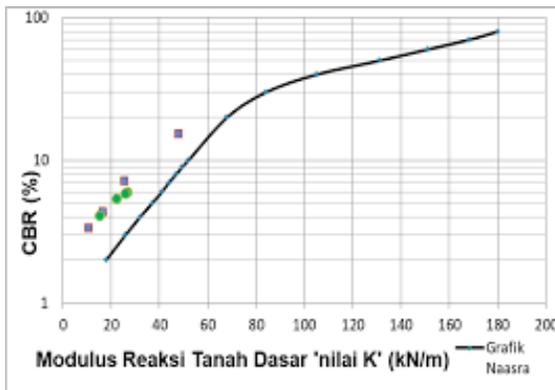
(Sumber : DPU, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen 2003*)

Adapun Komponen Konstruksi Perkerasan Beton Semen (*Rigid Pavement*) adalah sebagai berikut:

a. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah bagian dari permukaan badan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi di atasnya yaitu konstruksi perkerasan. Tanah dasar ini berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang telah disalurkan / disebarkan oleh konstruksi perkerasan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyiapan tanah dasar (subgrade) adalah lebar, kerataan, kemiringan melintang keseragaman daya dukung dan keseragaman kepadatan.

Daya dukung atau kapasitas tanah dasar pada konstruksi perkerasan kaku yang umum digunakan adalah CBR dan modulus reaksi tanah dasar (k).



Gambar 2.9 korelasi hubungan antara CBR Dan Nilai (k)

(Sumber : DPU, *Perencanaan perkerasan jalan beton semen 2003 hal 32*)

Pada konstruksi perkerasan kaku fungsi tanah dasar tidak terlalu menentukan, dalam arti kata bahwa perubahan besarnya daya dukung tanah dasar tidak berpengaruh terlalu besar pada nilai konstruksi (tebal) perkerasan kaku.

b. Lapis Pondasi (*Subbase*)

Lapis pondasi ini terletak di antara tanah dasar dan pelat beton semen mutu tinggi. Sebagai bahan subbase dapat digunakan unbound granular (sirtu) atau bound granular (*CTSB, cement treated subbase*). Pada umumnya fungsi lapisan ini tidak terlalu struktural, maksudnya keberadaan dari lapisan ini tidak untuk menyumbangkan nilai struktur perkerasan beton semen.

Fungsi utama dari lapisan ini adalah sebagai lantai kerja yang rata dan uniform. Apabila subbase tidak rata, maka pelat beton juga tidak rata. Ketidakrataan ini dapat berpotensi sebagai crack inducer.

c. Tulangan

Pada perkerasan beton semen terdapat dua jenis tulangan, yaitu tulangan pada pelat beton untuk memperkuat pelat beton tersebut dan tulangan sambungan untuk menyambung kembali bagian – bagian pelat beton yang telah terputus (diputus). Kedua tulangan tersebut memiliki bentuk, lokasi serta fungsi yang berbeda satu sama lain. Adapun tulangan tersebut antara lain:

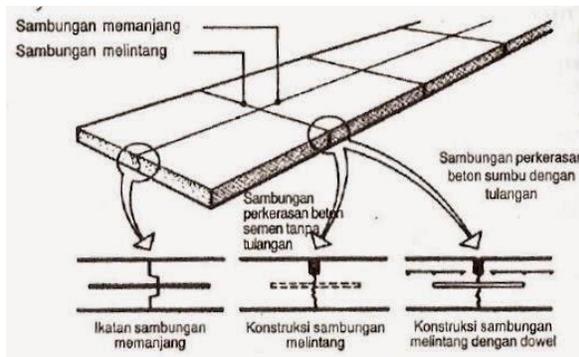
1) Tulangan Pelat

Tulangan pelat pada perkerasan beton semen mempunyai bentuk, lokasi dan fungsi yang berbeda dengan tulangan pelat pada konstruksi beton yang lain seperti gedung, balok dan sebagainya. Adapun karakteristik dari tulangan pelat pada perkerasan beton semen adalah sebagai berikut:

- Bentuk tulangan pada umumnya berupa lembaran atau gulungan. Pada pelaksanaan di lapangan tulangan yang berbentuk lembaran lebih baik daripada tulangan yang berbentuk gulungan. Kedua bentuk tulangan ini dibuat oleh pabrik.
- Lokasi tulangan pelat beton terletak $\frac{1}{4}$ tebal pelat di sebelah atas. Fungsi dari tulangan beton ini yaitu untuk “memegang beton” agar tidak retak (retak beton tidak terbuka), bukan untuk menahan momen ataupun gaya lintang. Oleh karena itu tulangan pelat beton tidak mengurangi tebal perkerasan beton semen.

2) Tulangan Sambungan

Tulangan sambungan ada dua macam yaitu tulangan sambungan arah melintang dan arah memanjang. Sambungan melintang merupakan sambungan untuk mengakomodir kembang susut ke arah memanjang pelat. Sedangkan tulangan sambungan memanjang merupakan sambungan untuk mengakomodir gerakan lenting pelat beton.



Gambar 2.10 sambungan pada konstruksi perkerasan kaku

Sumber : Anas Aly, Perkerasan beton semen 2004 hal 14

Adapun ciri dan fungsi dari masing – masing tulangan sambungan adalah sebagai berikut:

- a) Tulangan Sambungan Melintang
 - Tulangan sambungan melintang disebut juga dowel
 - Berfungsi sebagai ‘sliding device’ dan ‘load transfer device’.
 - Berbentuk polos, bekas potongan rapi dan berukuran besar.
 - Satu sisi dari tulangan melekat pada pelat beton, sedangkan satu sisi yang lain tidak lekat pada pelat beton.
 - Lokasi di tengah tebal pelat dan sejajar dengan sumbu jalan.
- b) Tulangan Sambungan Memanjang
 - Tulangan sambungan memanjang disebut juga Tie Bar.
 - Berfungsi sebagai unsliding devices dan rotation devices.
 - Berbentuk deformed / ulir dan berbentuk kecil.
 - Lekat di kedua sisi pelat beton.
 - Lokasi di tengah tebal pelat beton dan tegak lurus sumbu jalan.
 - Luas tulangan memanjang dihitung dengan rumus seperti pada tulangan melintang
- 3) Sambungan atau Joint

Fungsi dari sambungan atau joint adalah mengendalikan atau mengarahkan retak pelat beton akibat shrinkage (susut) maupun wrapping (lenting) agar teratur baik bentuk maupun lokasinya sesuai yang kita kehendaki (sesuai desain). Dengan

terkontrolnya retak tersebut, maka retak akan tepat terjadi pada lokasi yang teratur dimana pada lokasi tersebut telah kita beri tulangan sambungan.

Pada sambungan melintang terdapat 2 jenis sambungan yaitu sambungan susut dan sambungan lenting. Sambungan susut diadakan dengan cara memasang bekisting melintang dan dowel antara pelat pengecoran sebelumnya dan pengecoran berikutnya. Sedangkan sambungan lenting diadakan dengan cara memasang bekisting memanjang dan tie bar.

Pada setiap celah sambungan harus diisi dengan joint sealent dari bahan khusus yang bersifat thermoplastic antara lain rubber asphalt, coal tars ataupun rubber tars. Sebelum joint sealent dicor/dituang, maka celah harus dibersihkan terlebih dahulu dari segala kotoran.

4) Bound Breaker di atas Subbase

Bound breaker adalah plastik tipis yang diletakan di atas subbase agar tidak terjadi bounding antara subbase dengan pelat beton di atasnya. Selain itu, permukaan subbase juga tidak boleh di - groove atau di - brush.

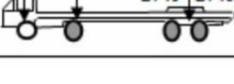
5) Alur Permukaan atau Grooving/Brushing

Agar permukaan tidak licin maka pada permukaan beton dibuat alur-alur (tekstur) melalui pengaluran/penyikatan (grooving/brushing) sebelum beton disemprot curing compound, sebelum beton ditutupi wet burlap dan sebelum beton mengeras. Arah alur bisa memanjang ataupun melintang.

2.3.4 Konfigurasi Dan Distribusi Beban Sumbu Kendaraan

Beban kendaraan seperti yang terlihat pada **Tabel 2.21**, dilimpahkan melalui roda kendaraan yang terjadi berulang kali selama masa pelayanan jalan akibat repetisi kendaraan yang melintasi jalan tersebut. Jika kendaraan memiliki dua sumbu maka repetisi beban pada penampang jalan adalah dua kali, dan jika memiliki 3 sumbu maka repetisi beban adalah 3 kali. Maka, repetisi beban yang diakibatkan oleh satu kendaraan sama dengan jumlah sumbunya. Oleh karena itu repetisi beban pada perencanaan tebal perkerasan dinyatakan dengan repetisi lintasan sumbu, bukan lintasan roda ataupun lintasan kendaraan.

Tabel 2.21 Distribusi Beban Sumbu Untuk Berbagai Jenis Kendaraan

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBANMUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	 50% 50%
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	 34% 66%
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	 34% 66%
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	 34% 66%
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	 25% 75%
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	 18% 28% 27% 27%
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	 18% 41% 41%
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	 18% 28% 54% 27% 27%

2.3.5 Faktor Pertumbuhan Lalu-Lintas

Factor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (historical growth data) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka **Tabel 2.22** dapat digunakan. (Pd T-14-2003).

Tabel 2.22 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber :Pd-T-14-2003)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (Cumulative Growth Factor). Rumus mencarinya pada Persamaan 2.4 berikut :

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %

UR : Umur rencana (Tahun)

2.3.6 Lajur Rencana dan Koefisien Distribusi

Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya, yang menampung lalu lintas terbesar. Jumlah kendaraan yang melewati lajur rencana masing-masing beratnya diperhitungkan dengan nilai koefisien distribusi arah kendaraan (C).

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif kendaraan pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Lajur rencana dan koefisien distribusi jalan yang ditunjukkan pada Tabel 2.23 berikut :

Tabel 2.23 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan & Konfigurasi Distribusi

lebar perkerasan (Lp)	Jumlah lajur (n)	konfigurasi distribusi	
		1 Arah	2 Arah
Lp < 5,50 m	1 lajur	1	1
5,50 ≤ Lp < 8,25 m	2 lajur	0.70	0.50
8,25 ≤ Lp < 11,25 m	3 lajur	0.50	0.475
11,23 ≤ Lp < 15,00 m	4 lajur	-	0.45
15,00 ≤ Lp < 18,75 m	5 lajur	-	0.425
18,75 ≤ Lp < 22,00 m	6 lajur	-	0.40

(Sumber : DPU, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen 2003*)

2.3.7 Lalu Lintas Rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survei beban.

Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus Persamaan 2.5 berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots 2.5$$

Keterangan :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R : Faktor pertumbuhan komulatif yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana

C : Koefisien distribusi kendaraan

2.3.8 Repetisi Sumbu Yang Terjadi

Repetisi yang terjadi pada setiap beban persumbu yang dapat digunakan untuk perhitungan analisa fatik dan erosi. analisis fatik dan erosi berdasarkan perhitungan beban rencana per roda, faktor tegangan dan erosi, repetisi ijin fatik

dan erosi. Persen rusak fatik dan erosi diperoleh dari hasil pembagian repetisi yang terjadi dengan repetisi ijin dan dikalikan dengan 100%. Hasil dari persen rusak fatik dan erosi pada masing-masing sumbu diakumulasi. Apabila total persen rusak fatik dan erosi > 100%, maka dihitung ulang dengan mempertebal pelat beton perkerasan sedangkan apabila persentase rusak fatik dan erosi ≤ 100%

Repetisi Sumbu : Proporsi Beban x Proporsi Sumbu x LL Rencana 2.6

2.3.9 Beton Semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strength) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat.

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8 berikut :

$$f_{cf} = K \times (f_c')^{0,50} \text{ dalam Mpa atau 2.7}$$

$$f_{cf} = 3,13 \times K \times (f_c')^{0,50} \text{ dalam Kg/Cm}^2 \text{ 2.8}$$

Pengertian :

f_c' : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (Kg/Cm²)

f_{cf} : kuat tarik lentur beton 28 hari (Kg/Cm²)

K : konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat dipecah

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 dengan rumus Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 berikut :

$$f_{cf} = 1,37 \cdot f_{cf}, \text{ Dalam Mpa atau 2.9}$$

$$f_{cf} = 13,44. f_{cf}, \text{ dalam Kg/Cm}^2 \dots\dots\dots 2.10$$

Pengertian :

f_{cf} : kuat tarik belah beton 28 hari

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (steel-fibre) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Serat baja dapat digunakan pada campuran beton, untuk jalan plaza tol, putaran dan perhentian bus. Panjang serat baja antara 15 mm dan 50 mm yang bagian ujungnya melebar sebagai angker dan/atau sekrup penguat untuk meningkatkan ikatan.

2.3.10 Faktor Keamanan Beban

penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada tabel 2.24

Tabel 2.24 Faktor Keamanan Beban

No.	Penggunaan	Nilai FKB
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintasnya dari hasil survei beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>Freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah	1,0

(Sumber : DPU, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen 2003*)

2.3.11 Pondasi Bawah

Pondasi bawah tidak memiliki nilai struktural, tetapi berfungsi untuk:

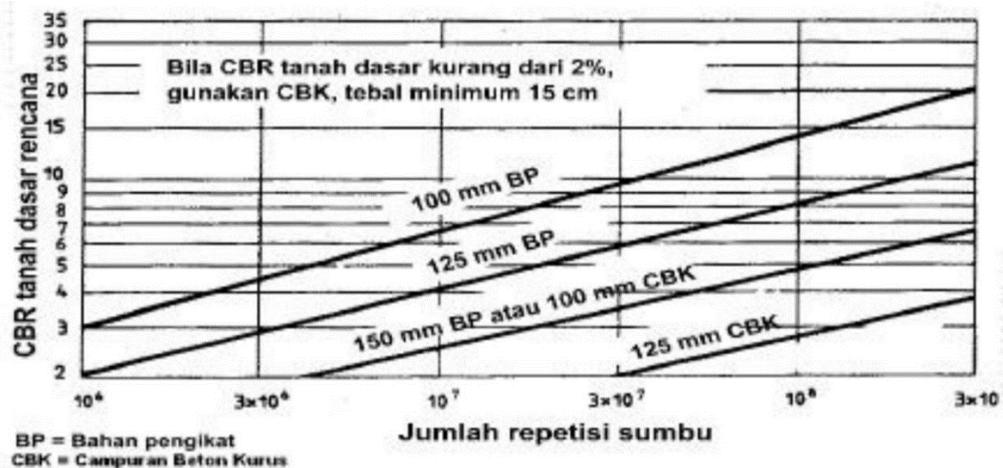
1. menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen,
2. melindungi gejala pumping butir-butiran halus tanah pada daerah sambungan, retakan dan ujung samping perkerasan,

3. mengurangi terjadinya keretakan pada plat beton, dan
4. menyediakan lantai kerja.

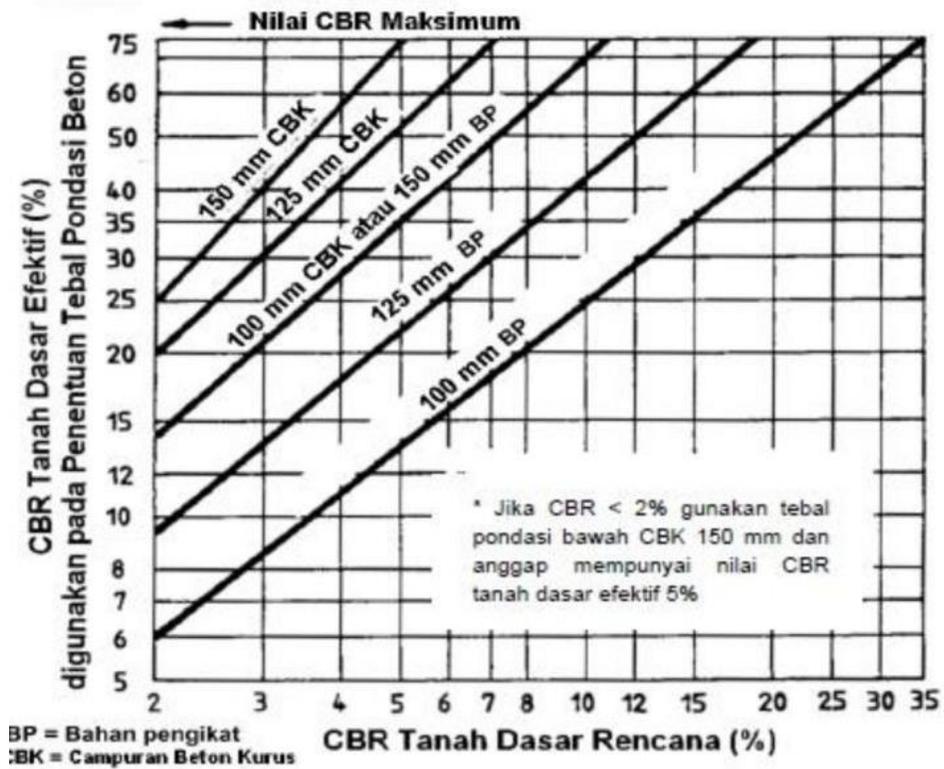
Bahan pondasi bawah dapat berupa:

1. bahan berbutir,
2. stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (Lean Rolled Concrete), dan
3. campuran beton kurus (Lean-Mix Concrete).

Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif. Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10 dengan menarik grafik dari nilai CBR tanah dasar rencana dan tebal serta jenis lapis pondasi bawah



Gambar 2.11 tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen
(Sumber : Departemen pemukiman dan perencanaan wilayah, 2003)



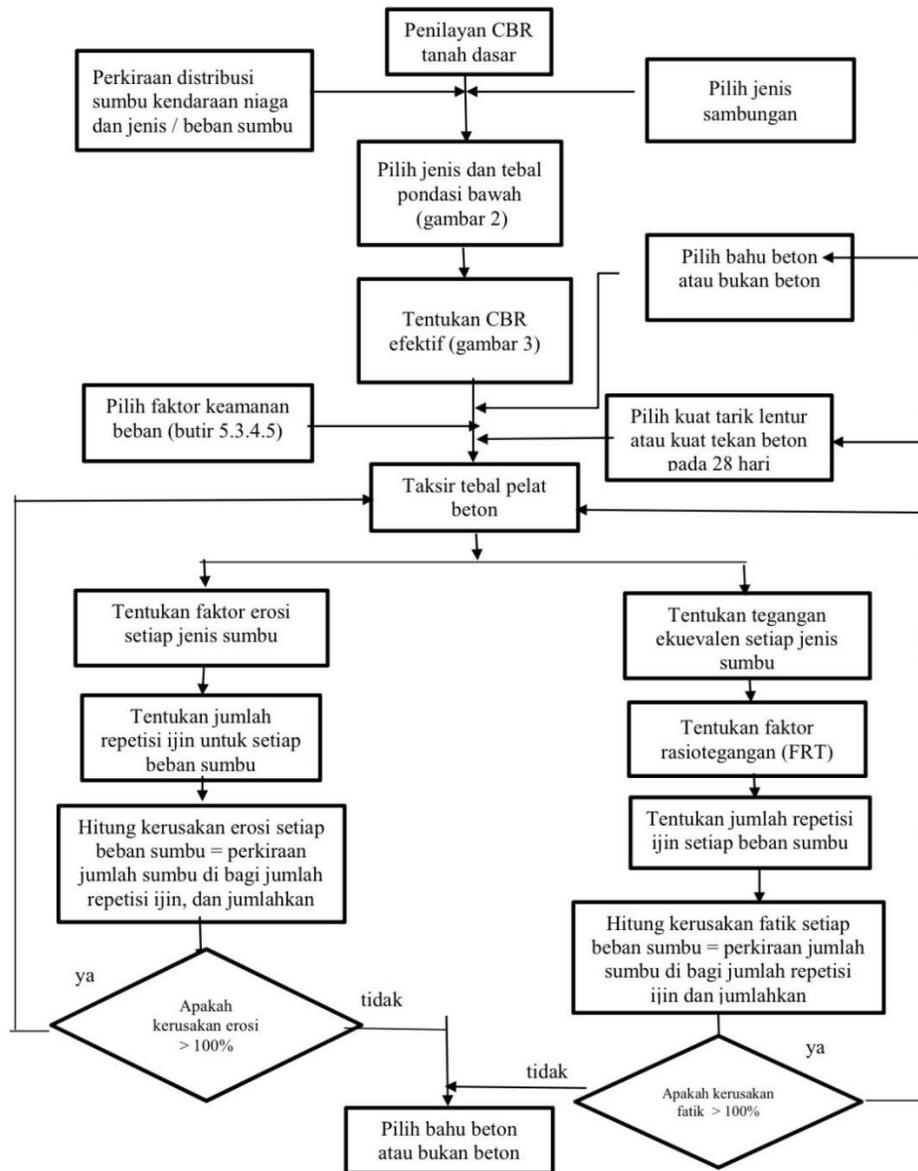
Gambar 2.12 CBR Tanah dasar efektif

(Sumber : Departemen pemukiman dan perencanaan wilayah, 2003)

2.3.12 Tebal Plat Beton

Tebal plat dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100% tebal taksiran dinaikkan dan proses perencanaan di ulangi.

Tebal rencana adalah tebal taksir yang paling kecil yang mempunyai total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%



Gambar 2.13 Alur perencanaan perkerasan beton semen

(Sumber : Pd T-14, 2003)

Langkah	Uraian Kegiatan
1	Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji, atau menerus dengan tulangan.
2	Tentukan apakah menggunakan bahu beton atau bukan.
3	Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana sesuai dengan Gambar 2
4	Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih sesuai dengan Gambar 3,
5	Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari (f_c)
6	Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (F_{KB})
7	Taksir tebal pelat beton (taksiran awal dengan tebal tertentu berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia atau dapat menggunakan Gambar 24 sampai dengan Gambar 31
8	Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari Tabel 8 atau Tabel 9
9	Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik-lentur (f_c).
10	Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda ≥ 65 kN (6,5 ton), anggap dan gunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi pada Gambar 19 sampai Gambar 21
11	Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari Gambar 19, yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
12	Hitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
13	Dengan menggunakan faktor erosi (FE), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi, dari Gemoar 20 atau 21.
14	Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
15	Ulangi langkah 11 sampai dengan 14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 19 dan Gambar 20 atau Gambar 21 yang masing-masing menapai 10 juta dan 100 juta repetisi.
16	Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
17	Ulangi langkah 8 sampai dengan langkah 16 untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
18	Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
19	Ulangi langkah 7 sampai dengan langkah 18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

Tabel 2.25 Langkah-Langkah Perencanaan tebal perkerasan beton semen

(Sumber : Pd T-14, 2003)

2.3.13 Umur Rencana

Umur rencana pekerjaan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode Benefit Cost Ratio, Internal Rate Of Return, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

2.4 Kelebihan Dan Kekurangan Perkerasan Lentur Dan Kaku

Tabel 2.26 Perbandingan Antara Perkerasan Lentur Dan Perkerasan Kaku

No	Item	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1.	Umur Rencana (Masa Layanan)	Efektif 5 sampai 10 tahun. Perlu beberapa tahap pembangunan pada masa layanan	Efektif dapat mencapai 20 sampai 40 tahun dalam satu kali konstruksi
2.	Lendutan	Cenderung melendut	Lendutan jarang terjadi
3.	Perilaku Terhadap Overloading	Perkerasan lentur lebih sensitif pada overloading dibanding perkerasan kaku, ini diakitkan dengan perilaku terhadap lendutan	
4.	Kebisingan dan vibrasi	Perkerasan lentur mempunyai tingkat kebisingan dan vibrasi yang lebih rendah	
5.	Pantulan cahaya	Perkerasan lentur mempunyai daya pantul yang lebih lemah dibandingkan perkerasan kaku	
6.	Bentuk permukaan	Permukaan perkerasan lentur lebih halus dibandingkan perkerasan kaku	
7.	Proses Konstruksi	Relative lebih mudah cepat. Dengan teknologi campuran, waktu yang dibutuhkan dari mulai penghamparan sampai dibuka untuk lalu lintas hanya membutuhkan waktu sekitar 2 jam	Dengan teknologi bahan aditif untuk beton, maka proses pematangan bisa berlangsung cepat sekitar 2 hari, tetapi beton yang terlalu cepat matang cenderung mudah retak
8.	perawatan	Memerlukan perawatan rutin, tetapi relative lebih mudah	Tidak perlu perawatan rutin, tetapi perbaikan kerusakan relative lebih sulit
9.	Biaya Konstruksi Dan Perawatan	Dikaitkan dengan proses maka biaya awal lebih murah, tetapi perlu ada perawatan rutin tahunan dan lima tahun	Biaya awal lebih mahal tetapi tidak memerlukan perawatan yang rutin sampai umur efektif

10.	Karakteristik tdk pembebanan	Beban didistribusikan secara berjenjang pada tiap lapisan	Dengan nilai kekakuan yang tinggi maka seluruh beban diterima oleh struktur
11.	Karakteristik Material	Material yang diperlukan adalah aspal, dan filler (jika diperlukan). Sangat sensitive terhadap air	Material utama adalah agregat, semen, dan filler (jika diperlukan). Air dapat membantu pada saat pematangan beton

2.5 Rancangan Anggaran Biaya

2.5.1 Pengertian RAB (Rencana Anggaran Biaya)

Rencana Anggaran Biaya memperhitungkan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan, alat dan upah, serta biaya- biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek. Dalam membuat Analisa harga satuan setiap satuan pengukuran harga aktual di lapangan dan mempertimbangkan kondisi lapangan setempat agar sesuai dengan spesifikasi yang di gunakan.

Harga satuan setiap mata pembayaran memiliki overhead dan profit maka perhitungan untuk menentukan koefisien upah tenaga kerja dan peralatan yang setelah terlebih dahulu menentukan asumsi-asumsi dan faktor-faktor bahan serta prosedur kerjanya. Faktor alat dipengaruhi oleh tipe serta kondisi peralatan, cuaca dan keterampilan operator alat, sehingga angka koefisien bahan dan peralatan berbeda.

2.5.2 Tujuan Dan Fungsi Rancangan Anggaran Biaya

Tujuan RAB ini untuk mengetahui bagaimana harapan/sasaran secara jelas dan formal, untuk menghindari kerancuan dan memberikan petunjuk terhadap apa yang hendak dicapai dalam anggaran biaya pada struktur perencanaan. Menyediakan anggaran biaya terinci dengan maksud untuk mengurangi keraguan dan memberi pengarahan harga satuan yang jelas tentang harga bahan dan material dalam upaya mencapai tujuan perencanaan anggaran biaya. Fungsi RAB ini adalah Sebagai pedoman pada struktur rencana anggaran biaya pada pelaksanaan

pekerjaan dan alat pengontrol pelaksanaan pekerjaan agar terkoordinir dengan baik dari awal pelaksanaan sampai akhir pelaksanaan.

2.5.3 Analisis Harga Satuan Dasar (HSD)

Harga Satuan Dasar (HSD) adalah harga komponen dari pembayaran dalam satuan tertentu yang terbagi menjadi Harga Satuan Dasar Tenaga Kerja (jam, hari, bulan, dsb), Harga Satuan Dasar Bahan (m, m², m³, kg, ton, zak, dsb) dan Harga Satuan Dasar Alat (unit, jam, hari, dsb). HSD merupakan pokok biaya langsung yang akan menentukan penyusunan Harga Satuan Pekerjaan (HSP). (Peraturan Menteri PUPR, 2016,18).

2.5.4 Langkah - Langkah Menentukan HSD Tenaga Kerja

Tahapan dalam penyusunan HSP adalah sebagai berikut (Peraturan Menteri PUPR, 2016):

- a. Kualifikasi tenaga kerja yang memadai sesuai dengan jenis pekerjaan, produktivitas pekerja dinyatakan dalam satuan orang per jam (OJ) atau orang per hari (OH) .
- b. Standar upah yang bersumber dari standar yang ditetapkan oleh Bupati/Walikota/Gubernur setempat.
- c. Standar upah orang per hari (OH), yaitu upah pekerjaan dalam satu hari kerja (8 jam kerja atau disesuaikan dengan kondisi setempat).
- d. Standar upah orang per jam (OJ), dari 8 jam OH (7 jam kerja efektif dan 1 jam istirahat), diambil 7 jam kerja efektif kemudian dibagi upah sebulan dengan jumlah hari efektif selama satu bulan yaitu 25 hari. Maka didapatkan rumus:

$$\text{Upah orang per jam} = \frac{\text{Upah Orang Per Bulan}}{25 \text{ Hari} \times 7 \text{ jam Kerja}} \dots\dots\dots 2.11$$

- e. Koefisien dan jumlah tenaga kerja merupakan faktor yang menunjukkan durasi dan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan.

2.5.5 Langkah Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan (HSD) Alat

Komponen penyediaan alat kebanyakan proyek dilakukan berdasarkan sistem sewa, dalam mata pembayaran pada system penyewaaan alat tergantung pada jenis pekerjaannya jangan sampai tidak efektif dalam penyewaan. Kebutuhan alat-alat berat maupun alat bantu sangat dibutuhkan dalam tenaga kerja pada umumnya. harga satuan dasar alat memiliki factor pengaruh antara lain (Peraturan Menteri PUPR, 2016):

- a. Pemakaian jenis peralatan
- b. Efisiensi dalam pekerjaan
- c. Tak menentunya kondisi cuaca
- d. kondisi di lapangan/medan
- e. jenis material yang dikerjakan dan jenis bahan yang di gunakan.

2.5.6 Langkah Perhitungan Satuan Pekerjaan (HSD) Bahan

Faktor yang dapat mempengaruhi perhitungan HSPK (Harga Satuan Pekerjaan Pada Suatu Proyek), berkaitan tentang bagaimana menentukan harga bahan pada daerah setempat, dan yang harus di perhitungkan berapa jumlah ongkos memuat bahan material meliputi transportasi untuk mengangkut dan membongkar. Perhitungan kapasitas produksi alat dengan (Peraturan Menteri PUPR, 2016):

1. Satuan pengukuran per jam.
2. Data berapa kapasitas alat yang di gunakan.

Ada 3 bagian dalam perhitungan harga satuan dasar bahan, yaitu:

1. Satuan bahan baku seperti pasir, batu, semen,dll.
2. Satuan bahan olahan seperti macam-macam agregat,aspal,dll
3. Satuan dasar bahan jadi seperti beton pracetak, tiang pancang, dll.

2.6 Landasan Ekonomi Teknik

Ekonomi Teknik adalah kumpulan Teknik yang membandingkan beberapa pilihan dalam membuat keputusan dengan melibatkan unsur – unsur dasar seperti aliran uang tunai, waktu dan tingkat suku bunga dimulai dari perumusan, prediksi, dan menilai hasil ekonomi yang diharapkan dari alternatif yang dirancang untuk mencapai tujuan tertentu. (*Ekonomi Teknik, 2017, Hal 1*)

Studi ekonomi teknik dapat didefinisikan sebagai sebuah perbandingan antara alternatif-alternatif dimana perbedaan diantara alternatif itu dinyatakan dalam bentuk uang. Persoalan pokok yang dibicarakan dalam ekonomi teknik adalah bagaimana kita bisa menilai apakah tindakan yang diusulkan itu akan terbukti ekonomis untuk jangka panjang jika dibandingkan dengan alternatif- alternatif yang mungkin. Penilaian tersebut tidak bisa didasarkan pada perasaan hal ini harus dipecahkan dengan sebuah studi ekonomi teknik (Giatman, 2006). . Menyadari kebutuhan manusia yang terbatas, sedangkan dilain pihak kemampuan alam dalam menyediakan kebutuhan manusia terbatas, melahirkan suatu kondisi kelangkaan (Scarcity). Suatu barang/jasa dikatakan langka jika jumlah yang diinginkan lebih besar dari yang dapat disediakan, maka terjadi perebutan. Dengan demikian, untuk mendapatkan barang/jasa yang langka tersebut, individu/perusahaan bersedia membayar dengan harga tertentu, maka barang/jasa yang demikian disebut dengan barang (objek) ekonomi. Sementara itu, proses terjadinya transaksi pemindahan barang dari satu pihakke pihak lain disebut dengan transaksi ekonomi. Dengan demikian, transaksi ekonomi akan terjadi sekurang-kurangnya bila ada dua pihak yaitu pihak penyedia (penjual) dan pihak pemakai (pembeli). Penjual mungkin hanya sebagai supplier (pedagang) dan mungkin juga sebagai produsen (membuat langsung) barang tersebut.

Orang/kelompok/perusahaan yang secara simultan melakukan kegiatan transaksi ekonomi disebut dengan pelaku ekonomi (economic entity). Sementara itu, kegiatannya disebut dengan kegiatan ekonomi. Dengan demikian, kegiatan ekonomi adalah suatu konsep aktivitas yang berorientasi pada poses untuk mendapatkan keuntungan ekonomis (profit) dengan adanya perbedaan nilai manfaat (value) dari

suatu objek akibat dari adanya perbedaan waktu, tempat, sifat atau kepemilikan terhadap objek tertentu (Giatman, 2006). Nilai ekonomi dari suatu objek akan sangat tergantung dari hukum kebutuhan dan ketersediaan (supply and demand). Dimana jika suplay banyak demand kecil maka harganya jadi turun dan sebaliknya jika suplay sedikit permintaan banyak harga naik. Oleh karena itu setiap pelaku ekonomi perlu memahami dan mengetahui kondisi suplay demand tersebut secara baik dan memanfaatkan situasi itu sebagai peluang dalam mendapatkan keuntungan ekonomisnya secara optimal (Giatman, 2006)

2.6.1 Klasifikasi Biaya

Klasifikasi biaya menurut jumlah atau tingkat kegiatan adalah biaya tetap dan biaya variabel. Kedua biaya ini memiliki karakteristik yang berbeda dalam penentuan jumlahnya dan yang menjadi parameternya adalah volume atau jumlah satuan tingkat kegiatan yang dihasilkan

- Biaya Tetap Biaya tetap adalah biaya yang secara total tidak berubah saat aktivitas bisnis meningkat atau menurun. Masuk dalam kelompok biaya ini adalah biaya penyusutan (bangunan, mesin, kendaraan, dan aktiva tetap lainnya), gaji dan upah yang dibayar secara tetap, biaya sewa, biaya asuransi, pajak, dan biaya lainnya yang besarnya tidak terpengaruh oleh volume penjualan.
- Biaya Variabel Biaya variabel yaitu biaya yang secara total meningkat secara proporsional terhadap peningkatan dalam aktivitas dan menurun secara proporsional terhadap penurunan dalam aktivitas. Biaya variabel termasuk biaya bahan baku langsung, tenaga kerja langsung, beberapa perlengkapan, beberapa tenaga kerja tidak langsung, alat-alat kecil, pengerjaan ulang, dan unit-unit yang rusak. Biaya variabel biasanya dapat diidentifikasi langsung dengan aktivitas yang menimbulkan biaya

2.6.2 Aspek Keuangan

Analisis keuangan proyek dilakukan untuk mengetahui apakah selama pelaksanaannya atau selama umur yang direncanakan layak dari segi keuangan. Hal ini perlu dilakukan agar sumber daya yang terserap dalam proyek, dapat memberi manfaat optimal

2.6.2.1 Suku Bunga Dan Laju Pengembalian Pokok (ROR)

Bunga merupakan nilai selisih dari jumlah uang di akhir periode dengan jumlah uang pada awal periode

$$\text{Bunga} = \text{Jumlah Uang Pada periode terakhir} - \text{Jumlah Pokok} \dots\dots\dots 2.12$$

Suku bunga adalah nilai bunga tiap satuan waktu dibagi jumlah uang pokok dalam satuan persen.

$$\text{Suku bunga} = \frac{\text{Jumlah Bunga}}{\text{Jumlah Uang Pokok}} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.13$$

2.6.2.2 Istilah Dan Simbol Ekonomi Teknik

Beberapa istilah dan symbol dalam ekonomi Teknik adalah sebagai berikut :

i = suku bunga setiap periode

n = jumlah periode hitungan bunga

P = jumlah uang pada waktu sekarang

F = jumlah uang pada akhir periode ke n

Rumus factor bunga di cantumkan dalam tabel

Diketahui	Dicari	Faktor Bunga		Rumus Bunga
P	F	$(1 + i)^n$	= (F/P. i. n)	$F = P (F/P. i. n)$
F	P	$\frac{1}{(1 + i)^n}$	= (P/F. i. n)	$P = F (P/F. i. n)$

(Sumber : *Ekonomi Teknik 2017. Hal 17*)

2.6.2.3 Bunga Sederhana Dan Majemuk

Perhitungan bunga sederhana sangat penying untuk mengetahui jumlah bunga yang lebih dari satu periode.

$$\text{Bunga Sederhana} = \text{Uang Pokok} \times \text{Jumlah Periode} \times \text{Suku Bunga} \dots\dots\dots 2.14$$

Perhitungan bunga majemuk :

$$\text{Bunga Majemuk} = (\text{Uang Pokok} + \text{Semua Bunga}) \times \text{Suku Bunga} \dots\dots\dots 2.15$$

2.6.3 Peranan Ekonomi Teknik Dalam Membuat Keputusan

Ekonomi terknik sangat diperlukan, terutama untuk suatu proyek karena banyak keputusan yang melibatkan uang atau modal dalam jumlah yang sangat besar dan biasanya dibatasi. Hasil dari seleksi alternatif adalah keputusan bagaimana dan di mana untuk berinvestasi dengan modal yang terbatas ini dengan tujuan agar meraih keuntungan di masa depan. Ekonomi Teknik bukan metode atau proses untuk menentukan pilihan. Ekonomi Teknik hanya dimulai setelah pilihan sudah diidentifikasi. (*Anonim,2022,15*)

Kreteria yang dipakai untuk memilih sebuah alternatif didalam ekonomi Teknik terhadap sekumpulan pilihan tertentu di sebut ukuran nilai.

- 1 Nilai sekarang
- 2 Nilai masa depan
- 3 Nilai tiap periode
- 4 Tingkat pengembalian total
- 5 Keuntungan perbiaya
- 6 Biaya modal
- 7 Jangka waktu pengembalian modal pokok
- 8 Nilai tambah ekonomis
- 9 Ewektivitas biaya

2.6.4 Kinerja Studi Ekonomis Teknik

Menurut Newnan (1988), proses pengambilan keputusan yang rasional biasanya terdiri 8 langkah, yaitu :

1. Pengambilan / Identifikasi masalah;
2. Mengidentifikasi tujuan;
3. Pengumpulan data yang diperlukan;
4. Identifikasi alternatif yang mungkin / layak;
5. Pemilihan kriteria untuk menentukan alternatif terbaik;
6. Menentukan hubungan antara tujuan, alternatif, data dan kriteria dalam membuat desain.
7. Memprediksi hasil setiap alternatif
8. Memilih alternatif terbaik untuk mencapai tujuan.

2.6.5 Keputusan Ekonomis

Banyak keputusan – keputusan dapat mempengaruhi apa yang akan dilakukan sehingga kerangka waktu dari ekonomi Teknik yang terutama adalah masa depan. Perkiraan dan keputusan biasanya melibatkan empat unsur yang diperlukan yaitu :

1. Aliran tunai;
2. Waktu kejadian dari aliran tunai;
3. Suku bunga untuk nilai waktu dari uang;
4. Ukuran nilai ekonomis dari memilih sebuah alternatif