

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

Landasan teori digunakan dalam suatu penelitian sebagai dasar untuk mengembangkan suatu permasalahan yang dihadapi. Pada bab ketiga ini akan dijabarkan landasan teori yang mendukung penelitian tentang perbaikan perkerasan di simpang empat pada ruas jalan Yogyakarta – Barongan (Imogiri).

#### **3.1. Jalan**

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006).

Jalan raya adalah jalur - jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran - ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat (Clarkson dan H.Oglesby,1999).

Untuk memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan, maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi persyaratan-persyaratan fungsional dan struktural.

##### **a. Fungsional**

Secara fungsional perkerasan tersebut harus memberikan rasa aman dan kenyamanan dalam berkendara bagi pengguna jalan dengan ketentuan yaitu:

- 1) permukaan rata, tidak bergelombang dan tidak berlubang;
- 2) permukaan perkerasan cukup kesat (*skid resistance*) sehingga tidak mudah

slip;

- 3) permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di permukaan dapat dengan cepat dialirkan ke saluran samping.

#### **b. Struktural**

Secara struktural perkerasan harus mampu memikul dan menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar dengan ketentuan yang harus dipenuhi sebagai berikut.

- 1) Mempunyai ketebalan yang cukup, sehingga dapat menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- 2) Kedap terhadap air (impermeable), sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- 3) Perkerasan mampu menahan regangan dan tegangan akibat beban lalu lintas.
- 4) Permukaan yang cukup kaku sehingga tidak mudah terjadi retak ataupun deformasi akibat beban lalu lintas.

### **3.2. Klasifikasi Jalan**

Klasifikasi jalan dibagi menjadi dua macam yaitu klasifikasi jalan menurut fungsi dan klasifikasi jalan menurut kelas jalan.

#### **a. Klasifikasi Jalan Menurut Fungsi.**

Klasifikasi menurut fungsi jalan terdiri atas 3 (tiga) golongan berikut ini.

- 1) Jalan arteri yaitu jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- 2) Jalan kolektor yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- 3) Jalan lokal yaitu Jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

- 4) Jalan lingkungan adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah.

b. Klasifikasi menurut kelas jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton seperti ditampilkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Klasifikasi jalan raya menurut kelas jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat/ MST (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	IIIA	8
Kolektor	III A	8
	III B	

Sumber : *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Ditjen Bina Marga, 1997*

Sukirman (2010) mengatakan bahwa pengelompokan jalan menurut kelas jalan terbagi dalam 4 (empat) kelas.

- 1) Jalan kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,5 m, ukuran panjang tidak melebihi 18,0 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat 10 ton.
- 2) Jalan kelas II, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,5 m, ukuran panjang tidak melebihi 12,0 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat 8 ton.
- 3) Jalan kelas III, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,1

m, ukuran panjang tidak melebihi 9,0 m, ukuran paling tinggi 3,5 m, dan muatan sumbu terberat 8 ton.

- 4) Jalan kelas khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar melebihi 2,5 m, ukuran panjang melebihi 18,0 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 ton.

### 3.3. Kerusakan Jalan

Sesuai dengan Manual Pemeliharaan Jalan No. 03/MN/B/1983 kerusakan jalan dikelompokkan menjadi 6 (enam), yaitu retak, distorsi, cacat permukaan, pengausan, kegemukan, dan penurunan pada bekas penanaman utilitas. Masing-masing kelompok kerusakan akan dijelaskan pada keterangan berikut ini.

#### 1. Retak

Keretakan yang terjadi pada permukaan jalan dibedakan menjadi 9 jenis.

- a. Retak halus (*hair cracks*), yaitu retak dengan lebar celah lebih kecil atau sama dengan 3 mm. Retak rambut berkembang menjadi retak kulit buaya.



**Gambar 3.1.** Retak Halus

(Sumber: data primer)

Kemungkinan penyebab retak halus adalah kualitas material yang kurang baik, pelapukan permukaan, air tanah pada badan perkerasan jalan, tanah dasar/lapisan di bawah permukaan yang kurang stabil.

- b. Retak kulit buaya (*alligator crack*), yaitu retak dengan lebar celah lebih besar dari 3 mm yang saling berangkai membentuk serangkaian kotak-kotak kecil yang menyerupai kulit buaya.



**Gambar 3.2.** Retak Kulit Buaya

(*Sumber:* data primer)

Retak halus yang tidak segera ditangani akan berkembang menjadi retak kulit buaya.

- c. Retak pinggir (*edge cracks*), yaitu retak memanjang jalan, dengan atau tanpa cabang yang mengarah ke bahu dan terletak dekat bahu.



**Gambar 3.3.** Retak Pinggir

(*Sumber:* data primer)

Retak pinggir terjadi akibat tidak baiknya sokongan dari samping, drainase kurang baik, terjadinya penyusutan pada tanah, dan terjadinya settlement di daerah tersebut.

- d. Retak sambungan bahu dan perkerasan (*edge joint crack*), yaitu retak memanjang yang terjadi pada sambungan bahu dengan perkerasan jalan. Umumnya terjadi pada daerah sambungan perkerasan dengan bahu jalan yang beraspal.



**Gambar 3.4.** Retak Sambungan Bahu dan Perkerasan  
(Sumber: data primer)

Retak dapat disebabkan oleh kondisi drainase dibawah bahu jalan lebih buruk daripada di bawah perkerasan, terjadinya settlement di bahu jalan, penyusutan material bahu atau perkerasan jalan, atau akibat lintasan truk/kendaraan berat di bahu jalan.

- e. Retak sambungan jalan (*lane joint cracks*), yaitu retak memanjang yang terjadi pada sambungan 2 lajur lalu lintas.



**Gambar 3.5.** Retak Sambungan Jalan

(Sumber: data primer)

Hal ini disebabkan tidak baiknya ikatan sambungan kedua lajur. Jika tidak diperbaiki, retak dapat berkembang menjadi lebar karena terlepasnya butir-butir pada tepi retak dan meresapnya air ke dalam lapisan.

- f. Retak sambungan pelebaran jalan (*widening cracks*), yaitu retak memanjang yang terjadi pada sambungan antara perkerasan lama dengan perkerasan pelebaran.



**Gambar 3.6.** Retak Sambungan Pelebaran Jalan

(Sumber: data primer)

Retak pada sambungan pelebaran jalan ini disebabkan oleh perbedaan daya dukung di bawah bagian pelebaran dan bagian jalan lama, dapat juga disebabkan oleh ikatan antara sambungan tidak baik.

- g. Retak refleksi (*reflection cracks*), yaitu retak memanjang, melintang, diagonal, atau membentuk kotak sebagai pola retakan di bawahnya.



**Gambar 3.7.** Retak Refleksi

(Sumber: data primer)

Retak ini biasanya terjadi pada lapis tambahan (*overlay*) yang menggambarkan pola retakan di bawahnya. Retak refleksi dapat terjadi jika retak pada perkerasan lama tidak diperbaiki secara tepat sebelum pekerjaan *overlay* dilakukan. Dapat pula terjadi gerakan vertikal/horisontal di bawah lapis tambahan sebagai akibat perubahan kadar air pada jenis tanah yang ekspansif.

- h. Retak susut (*shrinkage cracks*), yaitu retak yang saling bersambungan membentuk kotak-kotak besar dengan sudut yang tajam, akibat perubahan volume pada lapis permukaan.



**Gambar 3.8.** Retak Susut

(Sumber: data primer)

Retak disebabkan oleh perubahan volume pada lapisan permukaan yang memakai aspal dengan penetrasi rendah, atau perubahan volume pada lapisan pondasi dan tanah dasar.

- i. Retak slip (*slippage cracks*), yaitu retak yang bentuknya melengkung seperti sabit, akibat kurang baiknya ikatan antara lapis permukaan dan lapis di bawahnya.



**Gambar 3.9.** Retak Slip

(Sumber: data primer)

Kurang baiknya ikatan dapat disebabkan oleh adanya debu, minyak, air, atau benda nonadhesif lainnya, atau akibat tidak diberinya tack coat sebagai bahan pengikat diantara kedua lapisan. Retak slip juga dapat terjadi akibat terlalu banyaknya pasir dalam campuran lapisan permukaan, atau kurang baiknya pemadatan lapis permukaan.

## 2. Distorsi

Distorsi atau perubahan bentuk disebabkan oleh lemahnya tanah dasar atau pemadatan yang kurang pada lapis pondasi, sehingga terjadi tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas.

Distorsi dibedakan menjadi 5 jenis.

- a. Alur (*rutting*), terjadi pada lintasan roda kendaraan yang sejajar dengan sumbu jalan, akibat terjadinya tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas. Alur dapat menjadi genangan air yang mengakibatkan timbulnya kerusakan yang lain.

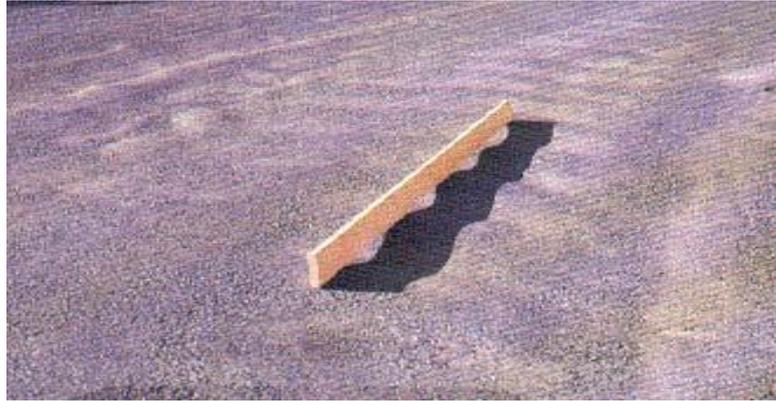


**Gambar 3.10.** Alur

(Sumber: data primer)

- b. Keriting (*corrugation*), alur yang terjadi dalam arah melintang jalan, akibat rendahnya stabilitas struktur perkerasan,

*Contoh Permukaan Keriting*



**Gambar 3.11.** Keriting

(*Sumber:* data primer)

- c. Sungkur (*solving*), deformasi plastis yang terjadi setempat, biasanya di tempat kendaraan sering berhenti, kelandaian curam, atau tikungan tajam.



**Gambar 3.12.** Sungkur

(*Sumber:* data primer)

- d. Amblas (*grade depressions*), terjadi setempat pada ruas jalan. Amblas dapat dideteksi dengan adanya genangan air setempat. Adanya amblas mempercepat terjadinya lubang pada perkerasan jalan.



**Gambar 3.13.** Amblas  
(Sumber: data primer)

- e. Jembul (*upheaval*), terjadi setempat pada ruas jalan, yang disebabkan adanya pengembangan tanah dasar akibat adanya tanah ekspansif.

### 3. Cacat Permukaan

Cacat permukaan biasanya merupakan kerusakan muka jalan akibat kimiawi dan mekanis material lapis permukaan. Cacat permukaan dibedakan menjadi 3 jenis.

- a. Lubang (*potholes*), berupa mangkuk, berukuran bervariasi dari kecil sampai dengan besar. Lubang menjadi tempat berkumpulnya air yang dapat meresap ke lapisan di bawahnya yang menyebabkan kerusakan semakin parah.



**Gambar 3.14.** Lubang  
(Sumber: data primer)

- b. Pelepasan butir (*raveling*) lapis permukaan, akibat buruknya material yang digunakan, adanya air yang terjebak, atau kurang baiknya pelaksanaan konstruksi.



**Gambar 3.15.** Pelepasan Butir

(Sumber: data primer)

- c. Pengelupasan lapis permukaan (*stripping*), akibat kurang baiknya ikatan antara aspal dengan agregat atau terlalu tipisnya lapis permukaan.



**Gambar 3.16.** Pengelupasan Lapis Permukaan

(Sumber: data primer)

#### 4. Pengausan

Pengausan (*polished agregat*) yaitu permukaan jalan licin sehingga mudah terjadi slip yang membahayakan lalu lintas. Pengausan terjadi akibat ukuran,

bentuk, dan jenis agregat yang digunakan untuk lapis aus tidak memenuhi mutu yang disyaratkan.

#### 5. Kegemukan

Kegemukan (*bleeding*) yaitu naik dan melelehnya aspal pada temperatur tinggi. Kegemukan yang mengakibatkan jejak roda kendaraan pada permukaan jalan dan licin disebabkan oleh penggunaan aspal yang terlalu banyak.



**Gambar 3.17.** Kegemukan  
(Sumber: data primer)

#### 6. Penurunan Pada Bekas Penanaman Utilitas

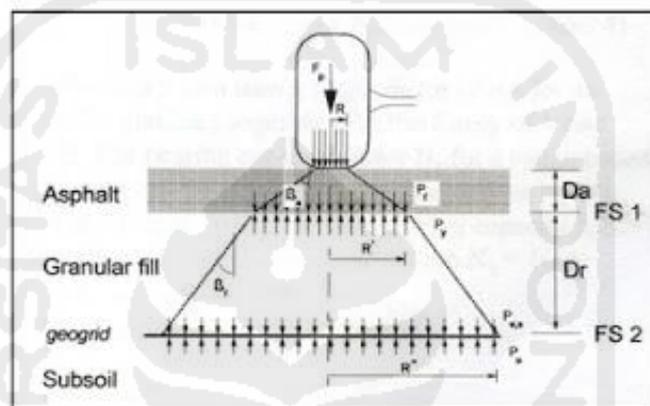
Penurunan pada penanaman utilitas (*utility cut depressions*) yaitu kerusakan yang terjadi akibat ditanamnya utilitas pada bagian perkerasan jalan dan tidak dipadatkan kembali dengan baik. Hal ini dapat mengakibatkan distorsi pada permukaan dan berlanjut dengan kerusakan lainnya.

### 3.4. Lapisan Perkerasan Jalan

Berdasarkan bahan ikat, lapisan perkerasan jalan dibagi atas dua kategori, yaitu lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan lapisan perkerasan kaku (*rigid pavement*).

### 3.4.1. Lapisan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan – lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan – lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui bidang kontak roda berupa beban terbagi rata  $P_0$ . Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar menjadi  $P_1$  yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18.



**Gambar 3.18.** Penyebaran beban roda melalui lapisan perkerasan jalan

(Sumber: Oetomo dan Susanto, 2011)

Konstruksi perkerasan lentur jalan raya terdiri dari 4 (empat) lapisan yang makin ke bawah memiliki daya dukung yang semakin jelek, yaitu:

- lapisan permukaan (*surface course*);
- lapisan pondasi atas (*base course*);
- lapisan pondasi bawah (*subbase course*); dan
- lapisan tanah dasar (*subgrade*).

Jenis struktur perkerasan yang diterapkan dalam desain menurut Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013 terdiri atas 3 jenis seperti ditampilkan pada Gambar 3.19.



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



b Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Timbunan



c Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat) pada Galian

**Gambar 3.19.** Komponen Struktur Perkerasan Lentur

(Sumber: Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013)

Beban lalu lintas yang bekerja di atas konstruksi perkerasan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu:

- muatan kendaraan berupa gaya vertikal,
- gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal, dan
- pukulan roda kendaraan berupa getaran – getaran.

Oleh karena sifat penyebaran gaya, maka muatan yang diterima oleh masing – masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja.

#### **3.4.1.1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)**

Lapisan yang terletak paling atas disebut lapis permukaan (*surface course*) yang mempunyai fungsi seperti berikut ini.

- a. Lapisan perkerasan penahan beban roda, mempunyai persyaratan stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- b. Lapisan kedap air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
- c. Lapis aus (*wearing course*), menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- d. Lapis yang dimaksudkan untuk menyebarkan beban roda ke lapisan bawah, sehingga beban dapat dipikul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih buruk.

Bahan untuk lapis permukaan umumnya sama dengan bahan untuk lapis pondasi dengan persyaratan lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda. Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu mempertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi agar dicapai manfaat sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

Sukirman (2010) mengatakan ketika menentukan tebal setiap lapisan, perencana perlu memperhatikan tebal nominal minimum dari jenis lapis

permukaan yang dipilih. Tebal nominal minimum dari berbagai jenis lapis permukaan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Tabel 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: Sukirman, 2010

#### 3.4.1.2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas (*base course*) adalah lapisan struktur perkerasan jalan yang terletak di bawah lapis permukaan dan di atas lapis pondasi bawah, atau langsung di atas tanah dasar apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Karena terletak tepat di bawah permukaan perkerasan, maka lapisan ini menerima pembebanan yang berat dan paling menderita akibat muatan, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas sangat tinggi dan pelaksanaan konstruksi harus dilakukan dengan cermat. Lapis pondasi atas mempunyai fungsi yaitu:

- a. sebagai bagian konstruksi perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya dan
- b. sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik.

Ber macam-macam bahan alam/setempat ( $CBR > 50\%$ , Plastisitas Index (PI)  $< 4\%$ ) dapat digunakan sebagai lapis pondasi, antara lain, batu pecah, kerikil pecah yang distabilisasi dengan semen, aspal, pozzolan, atau kapur.

#### **3.4.1.3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)**

Lapis pondasi bawah (*subbase course*) adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak antara tanah dasar dan lapis pondasi. Biasanya terdiri atas lapisan dari material berbutir (*granular material*) yang dipadatkan, distabilisasi atau tidak, atau lapisan yang distabilisasi. Lapis pondasi bawah berfungsi sebagai:

- a. bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebar beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat, mempunyai  $CBR \geq 20\%$  dan Plastisitas Index  $\leq 10\%$ ,
- b. mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan di atasnya dapat dikurangi ketebalannya (penghematan biaya konstruksi),
- c. lapisan peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi,
- d. lapisan pertama, agar pekerjaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda-roda alat berat, dan
- e. mencegah partikel-partikel dari tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi atas.

#### 3.4.1.4. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah setebal 50-100 cm dimana di atasnya akan diletakkan lapisan pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang dapat berupa tanah asli yang dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya.

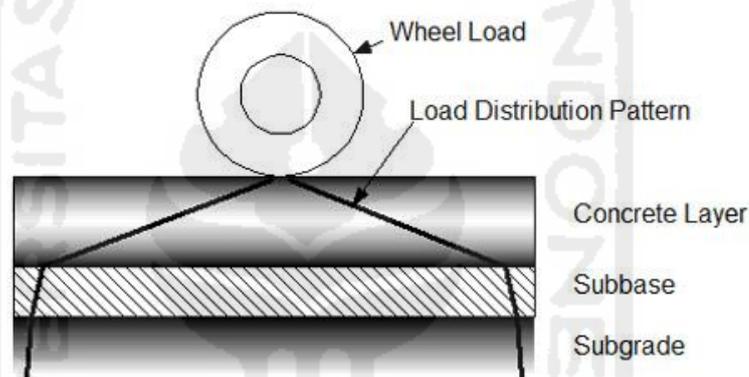
Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Beberapa persoalan tanah dasar yang sering ditemui diuraikan seperti berikut ini.

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu sebagai akibat beban lalu lintas. Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan jalan rusak. Tanah-tanah dengan plastisitas tinggi cenderung mengalami perubahan bentuk. Lapisan-lapisan tanah lunak yang terdapat di bawah tanah dasar harus diperhatikan. Daya dukung tanah dasar yang ditunjukkan oleh nilai CBR dapat menjadi indikasi atas perubahan bentuk pada tanah tersebut.
- b. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah akibat perubahan kadar air. Hal ini dapat dikurangi dengan memadatkan tanah pada kadar air optimum mencapai kepadatan tertentu sehingga perubahan volume yang mungkin terjadi dapat dikurangi. Kondisi drainase yang baik dapat menjaga kemungkinan berubahnya kadar air pada lapisan tanah dasar.
- c. Daya dukung tanah tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan konstruksi. Perencanaan tebal perkerasan dapat dibuat berbeda-beda dengan membagi jalan menjadi segmen-segmen berdasarkan sifat tanah yang berlainan.
- d. Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu lintas untuk jenis tanah tertentu.
- e. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir (*granular soil*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan konstruksi.

### 3.4.2. Lapisan perkerasan kaku/perkerasan beton semen (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku/perkerasan beton semen (*rigid pavement*) adalah struktur perkerasan jalan yang terdiri atas plat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Perkerasan beton semen dibedakan dalam 4 (empat) jenis, yaitu:

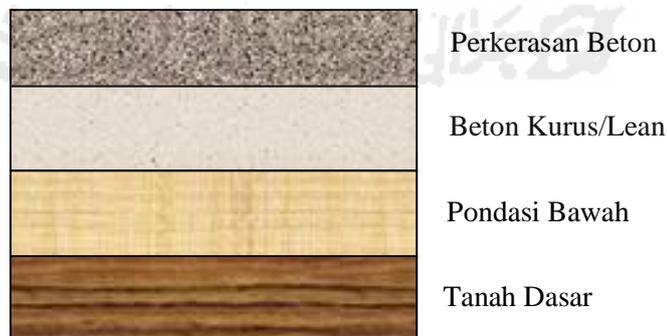
- perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan;
- perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan;
- perkerasan beton semen menerus dengan tulangan; dan
- perkerasan beton semen pra tegang.



**Gambar 3.20.** Penyebaran beban roda pada perkerasan kaku

(Sumber: [theconstructor.org/transportation](http://theconstructor.org/transportation))

Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada Gambar 3.21.



**Gambar 3.21.** Tipikal struktur perkerasan beton semen

(Sumber: Sukismanto, 2010)

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen. Faktor – faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan, perubahan kadar air selama masa pelayanan.

Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang mempunyai fungsi:

- a. mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar;
- b. mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi plat;
- c. memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada plat; dan
- d. sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Perkerasan kaku (sebagaimana digunakan untuk lalu lintas ringan/berat) akan lebih mahal untuk lalu lintas ringan/sedang, daerah desa atau perkotaan dimana pelaksanaannya tidak begitu mengganggu pada daerah tersebut, dibandingkan perkerasan lentur. Perkerasan kaku dapat menjadi pilihan yang lebih murah untuk jalan perkotaan dengan akses terbatas bagi kendaraan yang sangat berat. Pelaksanaan perkerasan kaku akan lebih mudah dan cepat daripada perkerasan lentur jika ruang kerjanya terbatas.

### **3.5. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur**

Dalam proses perencanaan tebal perkerasan lentur terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu umur rencana, beban lalu lintas, daya dukung tanah dasar, dan fungsi jalan.

#### **3.5.1. Umur Rencana**

Umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan baru (Pt T-01-2002-B). Umur rencana perkerasan diuraikan pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3.** Umur Rencana Perkerasan Jalan

<b>Jenis Perkerasan</b>	<b>Elemen Perkerasan</b>	<b>Umur Rencana (tahun)</b>
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir dan CTB	20
	Pondasi jalan	40
	Semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang, misal: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan	
	Cement Treated Based	
Perkerasan kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan	40
Jalan tanpa penutup	Semua elemen	Minimum 10

Sumber: 02M/BM2013

### 3.5.2. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban Sumbu Standar Kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana.

$$ESA = \left( \sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF \right) \quad (3.1)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R \quad (3.2)$$

Keterangan:

*ESA* = Lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standart axle*)

*LHRT* = Lintas harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu

$CESA$  = Kumulatif beban standar ekivalen selama umur rencana (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*)

$R$  = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

### 3.5.3. Traffic Multiplier (TM)

*Traffic Multiplier (TM)* digunakan untuk mengoreksi  $ESA_4$  akibat kelelahan lapisan aspal. Nilai  $TM$  kelelahan lapisan aspal ( $TM_{\text{lapisan aspal}}$ ) untuk kondisi pembebanan yang berlebih di Indonesia adalah berkisar 1,8 – 2.

$$ESA_4 = LHRT \times VDF_4 \quad (3.3)$$

Nilai  $CESA$  tertentu (pangkat 4) untuk desain perkerasan lentur harus dikalikan dengan  $TM$  untuk mendapatkan nilai  $CESA_5$  dengan rumus berikut ini.

$$ESA_5 = TM_{\text{lapisan aspal}} \times ESA_4 \quad (3.4)$$

### 3.5.4. Perkiraan Faktor Kerusakan Akibat Beban Kendaraan (*Vehicle Damage Factor*)

Perhitungan beban lalu lintas yang akurat sangatlah penting. Beban lalu lintas tersebut diperoleh dari data:

- studi jembatan timbang/timbangan statis lainnya khusus untuk ruas jalan yang didesain;
- studi jembatan timbang yang pernah dilakukan sebelumnya dan dianggap cukup representatif untuk ruas jalan yang didesain;
- Tabel 3.5; dan
- data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Teknik.

### 3.5.5. Analisis Volume Lalu Lintas

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survey faktual. Untuk keperluan desain, volume lalu lintas dapat diperoleh melalui:

- survey lalu lintas aktual, dengan durasi minimal 3 x 24 jam, dan
- hasil-hasil survey yang dilakukan sebelumnya.

### 3.5.6. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid, bila tidak ada maka Tabel 3.4 dapat digunakan sebagai nilai minimum.

**Tabel 3.4.** Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum Untuk Desain

Kelas Jalan	2011 - 2020	>2021 – 2030
Arteri dan perkotaan (%)	5	4
Kolektor rural (%)	3,5	2,5
Jalan desa (%)	1	1

Sumber: 02/M/BM/2013

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung sebagai berikut ini.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR} - 1}{0.01i} \quad (3.5)$$

Keterangan:  $R$  = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

$i$  = Tingkat pertumbuhan tahunan (%)

$UR$  = Umur rencana (tahun)

### 3.5.7. Pondasi Jalan

Desain pondasi jalan adalah desain perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*capping*), tiang pancang mikro, drainase vertikal dengan bahan strip (*wick drain*) atau penanganan lainnya yang dibutuhkan untuk memberikan landasan pendukung struktur perkerasan lentur dan perkerasan kaku dan sebagai akses untuk lalu lintas konstruksi pada musim hujan.

Empat kondisi lapangan yang mungkin terjadi dan harus dipertimbangkan dalam prosedur desain pondasi jalan yaitu:

- a. kondisi tanah dasar normal, dengan ciri-ciri nilai CBR lebih dari 3% dan dipadatkan secara mekanis, desain ini meliputi perkerasan di atas timbunan, galian, atau tanah asli;
- b. kondisi tanah dasar langsung di atas timbunan rendah (kurang dari 3 m) di atas tanah lunak aluvial jenuh. Prosedur laboratorium untuk penentuan CBR tidak dapat digunakan untuk kasus ini karena optimasi kadar air dan pemadatan secara mekanis tidak mungkin dilakukan di lapangan. Lebih lanjutnya, tanah asli akan menunjukkan kepadatan rendah dan daya dukung yang rendah sampai kedalaman yang signifikan yang membutuhkan prosedur stabilisasi khusus;
- c. kasus yang sama dengan kondisi poin b namun tanah lunak aluvial kondisi kering. Prosedur laboratorium untuk penentuan CBR memiliki validitas yang terbatas karena tanah dengan kepadatan rendah dapat muncul pada kedalaman pada batas yang tidak dapat dipadatkan dengan peralatan konvensional. Kondisi ini membutuhkan prosedur stabilisasi khusus; dan
- d. tanah dasar di atas timbunan di atas tanah gambut.

Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 untuk menentukan tebal pondasi jalan minimum disajikan pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.5.** Klasifikasi Kendaraan dan Nilai VDF Standarp

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA/kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF <sup>4</sup> Pangkat <sup>4</sup>	VDF <sup>5</sup> Pangkat <sup>5</sup>
1	1	Sepeda motor	1.1.		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/angkot/pick up/station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truck 2 sumbu-cargo ringan	1.1	Muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truck 2 sumbu-ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truck 2 sumbu-cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truck 2 sumbu-sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truck 2 sumbu-berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truck 2 sumbu-berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truck 3 sumbu-ringan	1.22	Muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truck 3 sumbu-sedang	1.22	Tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truck 3 sumbu-berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truck 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truck 4 sumbu-trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truck 5 sumbu-trailer	1.22-22		5	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truck 5 sumbu-trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
7c3	14	Truck 6 sumbu-trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber: 02/M/BM/2013

**Tabel 3.6. Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum**

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur desain pondasi	Deskripsi struktur pondasi jalan	lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA <sub>s</sub> )		
				< 2	2 - 4	> 4
≥ 6	SG6	A	Perbaiki tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
5	SG5			Tidak perlu peningkatan		
4	SG4				100	
3	SG3			100	150	200
2.5	SG2.5			150	200	300
Tanah ekspansif ( <i>potential swell</i> > 5%)		AE		175	250	350
Perkerasan lentur diatas tanah lunak <sup>5</sup>	SG1 aluvial <sup>1</sup>	B	Lapis penopang ( <i>capping layer</i> ) <sup>(2)(4)</sup>	400	500	600
			Atau lapis penopang dan geogrid <sup>(2)(4)</sup>	1000	1100	1200
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk jalan kecil (nilai minimum – peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbutir <sup>(2)(4)</sup>	650	750	850
				1000	1250	1500

- (1) Nilai CBR lapangan CBR rendaman tidak relevan.
- (2) Datas lapis penopang harus diasumsikan memiliki nilai CBR ekuivalen 2,5%.
- (3) Ketentuan tambahan mungkin berlaku, desain harus mempertimbangkan semua isu kritis.
- (4) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asli dipadatkan (tanah lunak kering pada saat konstruksi).
- (5) Ditandai oleh kepadatan yang rendah dan CBR lapangan yang rendah di bawah daerah yang dipadatkan

Sumber: 02/M/BM/2013

Untuk menentukan tebal lapis perkerasan menurut Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 dapat menggunakan Tabel 3.7

**Tabel 3.7. Desain Perkerasan Lentur-Aspal Dengan Lapis Pondasi Berbutir**

Solusi yang dipilih	STRUKTUR PERKERASAN								
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di lajur rencana (pangkat 5) (10 <sup>6</sup> CESA <sub>s</sub> )	1 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 200
	KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC binder	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	1	2	2	3	3	3	3	3

Sumber: 02/M/BM/2013

### 3.6. Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*overlay*) Perkerasan Lentur

Lapis tambah pada perkerasan lentur atau sering disebut dengan *overlay* merupakan penanganan jalan untuk memperbaiki perkerasan eksisting yang mengalami kerusakan struktural. Penanganan semacam ini seringkali

dimaksudkan untuk memperbaiki fungsi jalan misalnya penanganan bentuk permukaan, kenyamanan dan kepentingan lain pada permukaan jalan. Beberapa hal yang harus diperhatikan untuk merencanakan tebal lapis tambah (*overlay*) adalah perhitungan lalu lintas dan lendutan.

### 3.6.1. Perhitungan Lalu Lintas

Perhitungan lalu lintas ditentukan dengan cara menghitung akumulasi beban sumbu lalu lintas (*CESA*) selama umur rencana seperti yang ditampilkan pada persamaan (3.1) dan persamaan (3.2).

### 3.6.2. Lendutan

Pemeriksaan struktur perkerasan lama dilakukan melalui pengujian lendutan dengan menggunakan alat *Benkelman Beam (BB)*. Nilai lendutan jalan merupakan nilai dari lendutan balik maksimum pada tiap-tiap lokasi titik uji hasil dari *Benkelman Beam Test*. Untuk menentukan tebal pelapisan ulang (*overlay*) maka ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$D_{\text{rencana}} (\text{jalan kolektor}) = D_{\text{rata-rata}} + 1,64 \times SD \quad (3.6)$$

Keterangan:

$D_{\text{rencana}}$  = Lendutan balik rencana (mm)

$D_{\text{rata-rata}}$  = Lendutan balik rata-rata (mm)

$SD$  = Standart Deviasi

Menurut Pd T-05-2005-B,  $D_{\text{rencana}}$  untuk lendutan dengan alat *Benkelman Beam (BB)* dapat menggunakan rumus berikut ini.

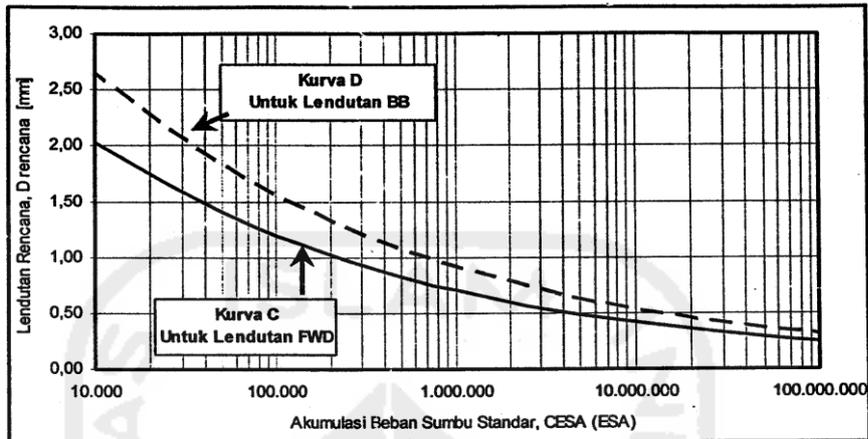
$$D_{\text{rencana}} = 22,208 \times CESA^{(-0,2307)} \quad (3.8)$$

Keterangan:

$D_{\text{rencana}}$  = lendutan rencana, dalam satuan milimeter

$CESA$  = akumulasi ekivalen beban sumbu standar, dalam satuan *ESA*

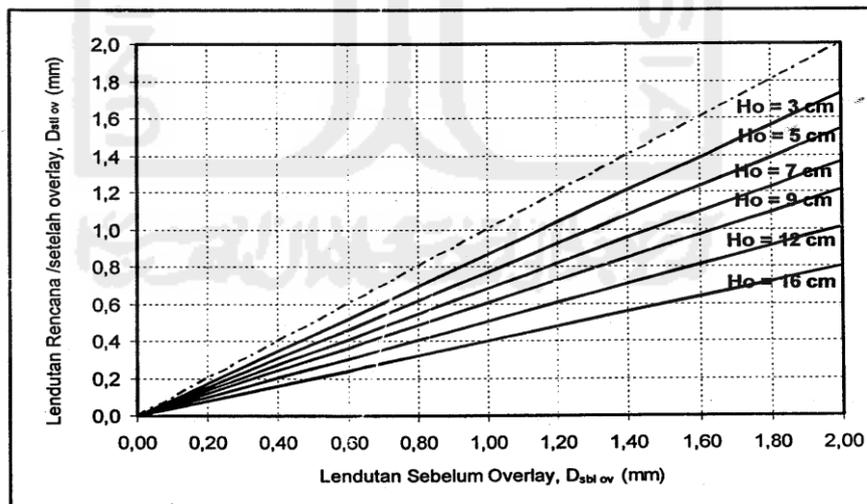
Selain dihitung dengan rumus di atas,  $D_{rencana}$  dapat diperoleh dengan menggunakan grafik seperti pada Gambar 3.22.



Sumber: Pd T-05-2005-B

**Gambar 3.22.** Hubungan antara lendutan rencana dan lalu lintas

Untuk menghitung tebal lapis tambah dapat menggunakan grafik seperti pada Gambar 3.23.



Sumber: Pd T-05-2005-B

**Gambar 3.23.** Tebal lapis tambah /overlay ( $H_o$ )

### 3.7. Penggantian Perkerasan Aspal Lama Dengan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Shirley (2000) menyatakan bahwa ketebalan rencana permukaan aspal pada perkerasan kaku dapat dihitung dengan mengurangi ketebalan perkerasan beton semen setebal 10 mm untuk setiap 25 mm permukaan aspal yang digunakan.

Untuk jalan dengan lalu lintas rendah, jika data lalu lintas tidak tersedia atau diperkirakan terlalu rendah untuk mendapatkan desain yang aman, maka nilai perkiraan dalam Tabel 3.8. dapat digunakan.

**Tabel 3.8.** Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan Dengan Lalu Lintas Rendah

Deskripsi Jalan	LHRT dua arah	Kend berat (% dari lalu lintas)	Umur Rencana (th)	Pertumbuhan Lalu Lintas (%)	Pertumbuhan lalu lintas kumulatif	Kelompok Sumbu/ Kendaraan Berat	Kumulatif HVAG	ESA/HVAG (overloaded)	Lalin desain Indikatif (Pangkat 4) Overloaded
Jalan desa minor dg akses kendaraan berat terbatas	30	3	20	1	22	2	14.454	3,16	$4,5 \times 10^4$
Jalan kecil 2 arah	90	3	20	1	22	2	21.681	3,16	$7 \times 10^4$
Jalan lokal	500	6	20	1	22	2,1	252.945	3,16	$8 \times 10^5$
Akses lokal daerah industri atau quarry	500	8	20	3,5	28,2	2,3	473.478	3,16	$1,5 \times 10^5$
Jalan kolektor	2000	7	20	3,5	28,2	2,2	1.585.122	3,16	$5 \times 10^5$

Sumber: 02/M/BM/2013

Menentukan ketebalan pada perkerasan kaku untuk jalan dengan lalu lintas rendah (jalan desa, jalan lokal, jalan kolektor) menurut Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013 dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9.** Perkerasan Kaku Untuk Jalan Dengan Beban Lalu Lintas Rendah

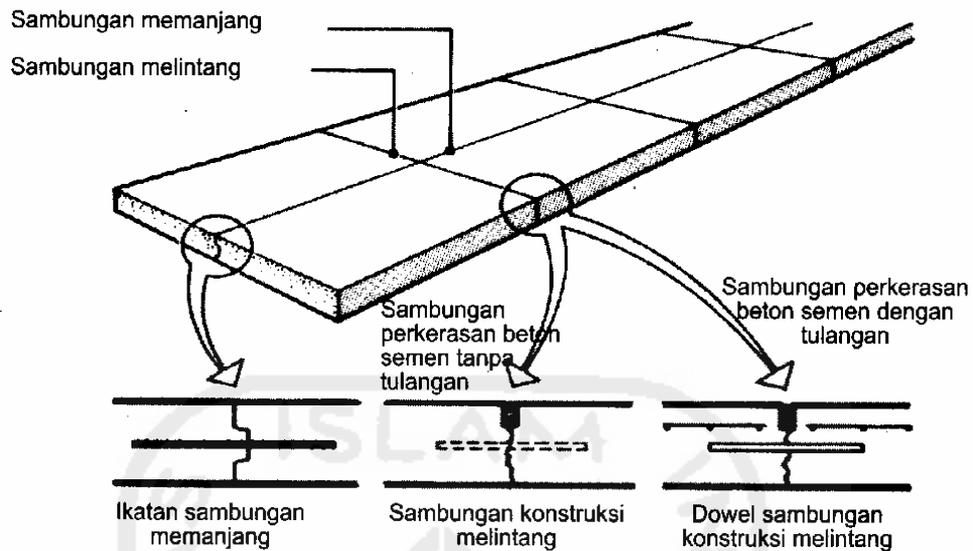
Tanah dasar	Tanah lunak dengan lapis penopang		Dipadatkan normal	
Bahu terikat	Ya	Tidak	Ya	Tidak
	Tebal Pelat Beton (mm)			
Akses terbatas hanya mobil penumpang dan motor	160	175	135	150
Dapat diakses oleh truk	180	200	160	175
Tulangan distribusi retak	Ya		Ya jika daya dukung pondasi tidak seragam	
Dowel	Tidak dibutuhkan			
LMC	Tidak dibutuhkan			
Lapis pondasi kelas A 30 mm	125 mm			
Jarak sambungan transversal	4 m			

*Sumber: 02/M/BM/2013*

### 3.7.1. Sambungan

Suryawan (2013) menyatakan bahwa sambungan dibuat atau ditempatkan pada perkerasan beton dimaksudkan untuk menyiapkan tempat muai dan susut beton akibat terjadinya tegangan yang disebabkan oleh perubahan lingkungan (suhu dan kelembaban), gesekan dan keperluan konstruksi (pelaksanaan).

Sambungan perkerasan beton ada 2 (dua) macam yaitu sambungan arah melintang dan sambungan arah memanjang. Sambungan melintang merupakan sambungan untuk mengakomodir kembang susut ke arah memanjang plat, sedangkan sambungan memanjang merupakan sambungan untuk mengakomodir lenting plat beton. Skema sambungan ditunjukkan pada Gambar 3.24.



**Gambar 3.24.** Sambungan Pada Konstruksi Perkerasan Kaku

(Sumber: Sukismanto, 2016)

Ciri-ciri dan fungsi dari masing-masing sambungan akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Sambungan melintang:

- 1) disebut juga *dowel*,
- 2) berfungsi sebagai *sliding device* dan *load transfer device*,
- 3) berbentuk polos (ruji polos), panjang 45 cm, jarak antar ruji 30 cm,
- 4) melekat satu sisi dari tulangan pada beton, sedangkan sisi yang lain harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton, dan
- 5) berada di tengah tebal plat dan sejajar sumbu jalan.

Dalam Pd T-14-2003 dikatakan bahwa diameter ruji tergantung pada tebal plat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 3.10.

**Tabel 3. 10.** Diameter Ruji

No	Tebal plat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

Sumber: Pd T-14-2003

b. Sambungan memanjang:

- 1) disebut *tie bar*,
- 2) berfungsi sebagai *unsliding device* dan *rotation device*,
- 3) berbentuk deformed/ulir dan berbentuk kecil,
- 4) lekat di kedua sisi plat beton,
- 5) berada di tengah tebal plat beton dan tegak lurus sumbu jalan,
- 6) luas tulangan memanjang dihitung dengan persamaan (3.9) dan persamaan (3.10).

$$A_t = 204 \times b \times h \quad \text{dan} \quad (3.9)$$

$$I = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (3.10)$$

Dengan pengertian:

$A_t$  = luas penampang tulangan per meter panjang sambungan ( $\text{mm}^2$ ),

$B$  = jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m),

$H$  = tebal plat (m),

$I$  = panjang batang pengikat (mm), dan

$\phi$  = diameter batang pengikat yang dipilih (13-16 mm)

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

### 3.8. Analisis Biaya

Waluyo, dkk (2008) menyatakan bahwa Kegiatan estimasi adalah salah satu proses utama dalam proyek konstruksi untuk menjawab pertanyaan, “Berapa besar dana yang harus disediakan untuk sebuah bangunan?”. Pada umumnya, biaya yang dibutuhkan dalam sebuah proyek konstruksi berjumlah besar. Ketidaktepatan yang terjadi dalam penyediaannya akan berakibat kurang baik pada pihak-pihak yang terlibat di dalamnya.

Anggaran biaya suatu bangunan atau proyek merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan analisis, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan. Biaya atau anggaran itu sendiri merupakan jumlah dari masing-masing hasil perkalian volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan, disimpulkan bahwa rencana anggaran biaya dari suatu pekerjaan terlihat dalam rumus berikut ini:

$$RAB = \sum (\text{Volume} \times \text{Harga satuan pekerjaan}) \quad (3.11)$$

Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di setiap daerah berbeda-beda. Sehingga dalam menentukan perhitungan dan penyusunan anggaran biaya suatu pekerjaan harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan lokasi pekerjaan.

Dalam memperkirakan anggaran biaya terlebih dahulu harus memahami proses konstruksi secara menyeluruh termasuk jenis dan kebutuhan alat, karena faktor tersebut dapat mempengaruhi biaya konstruksi. Selain faktor-faktor tersebut, berikut ini adalah faktor lain yang mempengaruhi dalam pembuatan anggaran biaya adalah:

- a. produktivitas tenaga kerja,
- b. ketersediaan material,
- c. ketersediaan peralatan,
- d. cuaca,
- e. jenis kontrak,

- f. masalah kualitas,
- g. etika,
- h. sistem pengendalian, dan
- i. kemampuan manajemen.

Biaya-biaya lain yang juga diperhitungkan sebagai biaya operasional untuk mendukung terwujudnya pekerjaan yang bersangkutan antara lain, administrasi kantor, keperluan komunikasi, kendaraan, pajak, dan lain-lain. Dapat ditentukan keuntungan *overhead* yang wajar untuk pekerjaan konstruksi maksimal 15% (Penjelasan Perpres No. 70 Tahun 2012, pasal 66, ayat 8).

### 3.8.1. Analisa Harga Satuan Dasar (HSD)

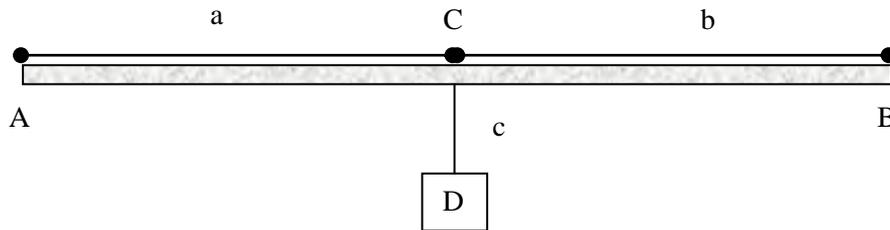
Komponen untuk menyusun Harga Satuan Pekerjaan (HSP) memerlukan Harga Satuan Dasar (HSD) tenaga kerja, bahan, dan alat. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menghitung HSD.

#### 3.8.1.1. Menghitung jarak rata-rata *base camp* ke lokasi pekerjaan

$$L = \frac{(c + a/2)*a + (c + b/2)*b}{(a + b)} \quad (3.12)$$

Keterangan:

- $L$  = jarak rata-rata *base camp* ke lokasi pekerjaan (km),
- $a$  = jarak antara *base camp* ke lokasi terjauh pada sisi kiri *base camp*,
- $b$  = jarak antara *base camp* ke lokasi terjauh pada sisi kanan *base camp*, dan
- $c$  = jarak antara *base camp* ke lokasi terjauh pada sisi tengah *base camp*.



Gambar 3.25. Jarak *base camp* ke sisi terjauh

Sumber: Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bina Marga (2013)

### 3.8.1.2. HSD Tenaga Kerja

Komponen tenaga kerja berupa upah yang digunakan dalam mata pembayaran tergantung pada jenis pekerjaannya. Untuk menghitung HSD tenaga kerja mengikuti langkah-langkah berikut ini.

- a. Menentukan jenis keterampilan tenaga kerja (pekerja, mandor, tukang, dll).
- b. Mengumpulkan data UMR per bulan.
- c. Memperhitungkan tenaga kerja yang dibutuhkan.
- d. Menentukan jumlah hari efektif.
- e. Menghitung biaya upah per jam per orang.

1) Produksi/hari

$$Q_t = T_k \times Q \quad (3.13)$$

2) Pekerja

$$\text{Koefisien Pekerja} = \frac{T_k \times P}{Q_t} \quad (3.14)$$

3) Tukang

$$\text{Koefisien Tukang} = \frac{T_k \times T_b}{Q_t} \quad (3.15)$$

4) Mandor

$$\text{Koefisien Mandor} = \frac{T_k \times M}{Q_t} \quad (3.16)$$

Keterangan:

$Q_t$  = produksi/hari ( $m^3$ ),

$Q_l$  = besar kapasitas produksi alat yang menentukan tenaga kerja ( $m^3$ /jam),

$P$  = jumlah pekerja yang dibutuhkan (orang),

$T_b$  = jumlah tukang yang dibutuhkan (orang),

$T_k$  = jumlah jam kerja per hari (7 jam), dan

$M$  = mandor yang diperlukan (orang).

### 3.8.1.3. HSD Alat

Komponen alat digunakan dalam mata pembayaran tergantung pada jenis pekerjaannya. Faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar alat antara lain jenis peralatan, efisiensi kerja, kondisi cuaca, kondisi medan, dan jenis material/bahan yang dikerjakan. Hal-hal yang diperlukan dalam perhitungan biaya alat per satuan waktu diuraikan di bawah ini.

a. Jenis alat

Menentukan jenis alat yang akan digunakan.

b. Tenaga mesin

Tenaga mesin ( $P_w$ ) merupakan kapasitas tenaga mesin penggerak dalam satuan tenaga kuda atau *horsepower* ( $HP$ ).

c. Kapasitas alat

Kapasitas peralatan ( $C_p$ ) yang digunakan, misalnya AMP 50 ton/jam (kapasitas produksi per jam), *wheel loader* 1,20  $m^3$  (kapasitas bucket untuk tanah gembur, kondisi munjung atau *heaped*).

d. Umur ekonomi alat

Umur ekonomi alat ( $A$ ) dapat dihitung berdasarkan kondisi penggunaan dan pemeliharaan yang normal, menggunakan standar dari pabrik pembuat.

e. Jam kerja alat per tahun

Pada peralatan yang bermesin maka jam kerja peralatan akan dihitung dan dicatat sejak mesin dihidupkan sampai mesin dimatikan. Jumlah jam kerja peralatan ( $W$ ) dalam 1 tahun.

Menurut Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bina Marga (2013) terdapat beberapa catatan untuk jumlah kerja alat per tahun.

- 1) Untuk peralatan yang bertugas berat, dianggap bekerja terus menerus dalam setahun selama 8 jam/hari dan 250 hari/tahun, maka  $W = 8 \times 250 = 2000$  jam/tahun.
- 2) Untuk peralatan yang bertugas tidak terlalu berat atau sedang, dianggap bekerja 200 hari dalam 1 tahun dan 8 jam/hari, maka  $W = 8 \times 200 = 1600$  jam/tahun.
- 3) Untuk peralatan yang bertugas ringan, dianggap bekerja selama 150 hari/tahun dan 8 jam/hari, maka  $W = 8 \times 150 = 1200$  jam/tahun.

f. Harga pokok alat

Harga pokok perolehan alat ( $B$ ) yang dipakai dalam perhitungan biaya sewa alat atau pada analisis harga satuan dasar alat.

g. Nilai sisa alat

Nilai sisa alat ( $C$ ) atau bisa disebut nilai jual kembali (*resale value*) adalah perkiraan harga peralatan yang bersangkutan pada akhir umur ekonomisnya. Untuk perhitungan analisis harga satuan, nilai sisa alat dapat diambil rata-rata 10% dari pada harga pokok alat, tergantung pada karakteristik (dari pabrik pembuat) dan kemudahan pemeliharaan alat.

Nilai sisa alat ( $C$ ) = 10% x harga alat

h. Tingkat suku bunga, faktor angsuran modal dan biaya pengembalian modal

Tingkat suku bunga, faktor angsuran modal dan biaya pengembalian modal merupakan tingkat suku bunga bank ( $i$ ) pinjaman investasi yang berlaku pada waktu pembelian peralatan yang bersangkutan.

$$\text{Faktor angsuran modal } (D) = \frac{i \times (I + i)^A}{(I + i)^A - 1} \quad (3.17)$$

$$\text{Biaya pengembalian modal } (E) = \frac{(B - C) \times D}{W} \quad (3.18)$$

Keterangan:

$A$  = umur ekonomi alat (tahun)

$i$  = tingkat suku bunga pinjaman investasi (% per tahun)

$B$  = harga pokok alat (rupiah)

$C$  = nilai sisa alat (rupiah)

$W$  = jumlah jam kerja alat dalam 1 tahun (jam)

i. Asuransi dan pajak

Besarnya nilai asuransi ( $Ins$ ) dan pajak kepemilikan peralatan umumnya diambil rata-rata per tahun sebesar 0,1% untuk asuransi dan 0,1% untuk pajak, atau dijumlahkan sebesar 0,2% dari harga pokok alat, atau 2% dari nilai sisa alat (apabila nilai sisa alat = 10% dari harga pokok alat).

$$\text{Asuransi } (F) = \frac{Ins \times B}{W} \quad (3.19)$$

Keterangan:

$Ins$  = asuransi (%)

$B$  = harga pokok alat (rupiah)

$W$  = jumlah jam kerja alat dalam 1 tahun (jam)

j. Upah tenaga

Upah tenaga kerja dalam perhitungan biaya operasi peralatan di sini terdiri atas biaya upah tenaga kerja dalam satuan Rp/jam. Untuk mengoperasikan alat diperlukan operator ( $U1$ ) dan pembantu operator ( $U2$ ).

k. Harga bahan bakar dan pelumas

Harga bahan bakar ( $H$ ) dan minyak pelumas maupun minyak hidrolik ( $I$ ), dalam perhitungan biaya operasi peralatan adalah harga umum yang ditetapkan pemerintah setempat.

**3.8.1.3.1. Biaya Pasti dan Biaya Tidak Pasti**

Komponen dasar untuk menghitung harga satuan dasar alat adalah biaya pasti (*owning cost*) dan biaya tidak pasti atau biaya operasi (*operating cost*). Biaya pasti (*owning cost*) adalah biaya pengembalian modal dan bunga setiap tahun yang dihitung dengan rumus berikut ini.

$$G = (E + F) \tag{3.20}$$

Keterangan:

$G$  = biaya pasti per jam (rupiah),

$E$  = biaya pengembalian modal, dan

$F$  = biaya asuransi.

Biaya tidak pasti atau biaya operasi tiap unit peralatan dihitung berdasarkan bahan yang diperlukan. Komponen biaya operasi sebagai berikut.

a. Biaya bahan bakar ( $H$ )

Banyaknya bahan bakar per jam yang digunakan oleh mesin penggerak tergantung pada besarnya kapasitas tenaga mesin, biasanya diukur dengan satuan HP (*horse power*).

$$H = (12\% - 15\%) \times HP \times M_s \tag{3.21}$$

Keterangan:

$H$  = biaya kebutuhan bahan bakar per jam (rupiah),

$HP$  = *horse power*, tenaga alat,

$M_s$  = harga bahan bakar/liter,

12% = untuk alat yang bertugas ringan, dan

15% = untuk alat yang bertugas berat.

b. Biaya minyak pelumas (*I*)

Banyaknya minyak pelumas yang dipergunakan oleh peralatan yang bersangkutan dihitung dengan rumus dan berdasarkan kapasitas mesin.

$$I = (2,5\% - 3\%) \times HP \times M_P \quad (3.22)$$

Keterangan:

*I* = biaya kebutuhan minyak pelumas per jam (rupiah),

*HP* = *horse power*, tenaga alat,

2,5% = untuk alat yang bertugas ringan, dan

3% = untuk alat yang bertugas berat.

c. Biaya bengkel (*J*)

Besarnya biaya bengkel per jam dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$J = (6,25\% - 8,75\%) \times B/W \quad (3.23)$$

Keterangan:

*J* = biaya bengkel,

*B* = harga pokok alat (rupiah),

*W* = jumlah jam kerja alat dalam 1 tahun (jam),

6,25% = untuk alat yang bertugas ringan, dan

8,75% = untuk alat yang bertugas berat.

d. Biaya perbaikan (*K*)

Untuk menghitung biaya perbaikan termasuk penggantian suku cadang yang aus menggunakan rumus berikut ini.

$$K = (12,5\% - 17,5\%) \times B/W \quad (3.24)$$

Keterangan:

- $K$  = biaya perbaikan (rupiah),  
 $B$  = harga pokok alat (rupiah),  
 $W$  = jumlah jam kerja alat dalam 1 tahun (jam),  
12,5% = untuk alat yang bertugas ringan, dan  
17,5% = untuk alat yang bertugas berat.

e. Upah operator ( $L$ ) dan pembantu operator ( $M$ )

Upah operator dan pembantu operator dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$L = 1 \text{ orang/jam} \times U_1 \quad (3.25)$$

$$M = 1 \text{ orang/jam} \times U_2 \quad (3.26)$$

Keterangan:

- $L$  = upah operator (rupiah),  
 $M$  = upah pembantu operator (rupiah),  
 $U_1$  = upah operator/jam, dan  
 $U_2$  = upah pembantu operator/jam.

f. Biaya operasi ( $P$ )

$$P = H + I + J + K + L + M \quad (3.27)$$

Keterangan:

- $P$  = biaya operasi (rupiah),  
 $H$  = kebutuhan bahan bakar per jam (rupiah),  
 $I$  = biaya kebutuhan minyak pelumas per jam (rupiah),  
 $J$  = biaya bengkel (rupiah),  
 $K$  = biaya perbaikan (rupiah),  
 $L$  = upah operator (rupiah), dan  
 $M$  = upah pembantu operator (rupiah).

g. HSD alat

Keluaran harga satuan dasar alat ( $S$ ) atau harga sewa alat per jam adalah harga satuan dasar alat yang meliputi biaya pasti ( $G$ ), biaya tidak pasti atau operasi ( $P$ ).

$$S = G + P \quad (3.28)$$

Keterangan:

$S$  = harga satuan dasar alat (rupiah),

$G$  = biaya pasti per jam (rupiah), dan

$P$  = biaya operasi (rupiah),

**3.8.1.4. HSD Bahan**

Bahan baku biasanya diperhitungkan dari sumber bahan (*quarry*), tetapi dapat pula diterima di *base camp* atau di gudang setelah memperhitungkan ongkos bongkar-muat dan pengangkutannya. Bahan olahan merupakan hasil produksi di *plant* (pabrik) atau membeli dari produsen di luar kegiatan pekerjaan. Perlu mengetahui informasi harga satuan dasar yang dipublikasikan secara resmi oleh pemerintah setempat atau sumber data lain yang bisa dipertanggung jawabkan.

**Tabel 3.11. Faktor Efisiensi Alat**

Kondisi operasi	Pemeliharaan mesin				
	Baik sekali	Baik	Sedang	Buruk	Buruk sekali
Baik sekali	0,83	0,81	0,76	0,70	0,63
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65	0,60
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45

Buruk sekali	0,53	0,50	0,47	0,42	0,32
.Angka dalam warna kelabu tidak disarankan.					

Sumber: Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bina Marga (2013)

### 3.8.1.4.1. Perhitungan Biaya Alat per M<sup>3</sup>

a. Excavator dan wheel loader

$$Q_1 = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{T_s} \quad (3.29)$$

Keterangan:

$Q_1$  = kapasitas produksi per jam (m<sup>3</sup>/jam),

$V$  = kapasitas *bucket* (m<sup>3</sup>),

$F_b$  = faktor *bucket* (m<sup>3</sup>),

$F_a$  = faktor efisiensi alat (lihat tabel), dan

$T_s$  = waktu siklus (menit).

Jadi biaya excavator per kubik dihitung berdasarkan rumus berikut ini.

$$\text{Biaya excavator/m}^3 = \frac{S}{Q_1} \quad (3.30)$$

Keterangan:

$S$  = harga satuan dasar alat (rupiah), dan

$Q_1$  = kapasitas produksi per jam (m<sup>3</sup>/jam).

b. Dump truck

$$Q_2 = \frac{V \times F_a \times 60}{T_{s2} \times BiL} \quad (3.31)$$

Keterangan:

$Q_2$  = kapasitas angkut *dump truck* ( $m^3/jam$ ),

$V$  = kapasitas bak (ton),

$F_a$  = faktor efisiensi alat (lihat tabel),

$T_s$  = waktu siklus (menit), dan

$BiL$  = berat volume bahan ( $ton/m^3$ ).

Jadi biaya dump truck per kubik dihitung berdasarkan rumus berikut ini.

$$\text{Biaya dump truck}/m^3 = \frac{S}{Q_2} \quad (3.32)$$

Keterangan:

$S$  = harga satuan dasar alat (rupiah), dan

$Q_2$  = kapasitas angkut *dump truck* ( $m^3/jam$ ).

Harga bahan baku di *quarry*, jarak dari *quarry* ke lokasi pekerjaan atau *base camp*, harga sewa alat berat atau HSD alat per jam, dan kapasitas produksi alat ( $m^3$ ) akan menentukan harga bahan di lokasi pekerjaan.

c. Motor grader

$$Q_3 = \frac{L_h \times \{N(b - b_0) + b_0\} \times t \times F_a \times 60}{n \times T_s} \quad (3.33)$$

Keterangan:

$Q_3$  = kapasitas produksi/jam ( $m^3/jam$ ),

$L_h$  = panjang hamparan (m),

$N$  = jumlah lajur lintasan,

$b$  = lebar pisau efektif (m),

$b_0$  = lebar overlap (m),

$t$  = tebal lapis (m),

$F_a$  = faktor efisiensi alat (lihat tabel),

$n$  = jumlah lintasan (lintasan), dan

$T_s$  = waktu siklus (menit).

Koefisien alat/ $m^3$  =  $1/Q_3$

d. Vibrator roller

$$Q_4 = \frac{(v \times 1000) \times \{N(b - b_0) + b_0\} \times t \times F_a \times 60}{n} \quad (3.34)$$

Keterangan:

$Q_4$  = kapasitas produksi/jam ( $m^3$ /jam),

$V$  = kecepatan rata-rata (km/jam),

$N$  = jumlah lajur lintasan ,

$b$  = lebar pemadatan efektif (m),

$b_0$  = lebar overlap (m),

$t$  = tebal lapis (m),

$F_a$  = faktor efisiensi alat (lihat tabel), dan

$n$  = jumlah lintasan (lintasan),

Koefisien alat =  $1/Q_4$

e. Water tank truck

$$Q_5 = \frac{P_a \times F_a \times 60}{W_c \times 1000} \quad (3.35)$$

Keterangan

$Q_5$  = kapasitas produksi/jam ( $m^3$ /jam),

$F_a$  = faktor efisiensi alat (lihat tabel),

$P_a$  = kapasitas pompa air (liter/menit), dan

$W_c$  = kebutuhan air/ $m^3$  material padat.

Koefisien alat =  $1/Q_5$

Semua angka dan harga yang telah diperoleh ditabelkan dan beri simbol untuk setiap bahan yang sudah dicatat.

#### **3.8.1.5. Analisa Harga Satuan Pekerjaan (HSP)**

Komponen untuk menyusun harga satuan pekerjaan (HSP) diperlukan data HSD alat, HSD upah, dan HSD bahan. Langkah-langkah analisis HSP adalah sebagai berikut.

- a. Tentukan satuan waktu untuk setiap jenis tenaga kerja masing-masing.
- b. Tentukan koefisien tenaga kerja untuk menghasilkan satu jenis pekerjaan.
- c. Tentukan harga satuan tiap kualifikasi tenaga dalam rupiah.
- d. Untuk mendapatkan harga komponen tenaga, jumlahkan harga-harga dari setiap kualifikasi tersebut.

#### **3.8.1.6. Estimasi Biaya Kegiatan**

Estimasi biaya kegiatan meliputi biaya mobilisasi dan biaya pekerjaan. Biaya pekerjaan adalah total seluruh volume pekerjaan yang dikalikan masing-masing dengan harga satuan pekerjaan.

#### **3.8.1.7. Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi**

Sistem perbaikan yang diterapkan pada simpang empat Giwangan menggunakan 2 alternatif.

- a. Alternatif pertama menggunakan 3 metode sebagai berikut.
  - 1) Pelapisan ulang aspal (*overlay*).
  - 2) Penggantian aspal beton lama dengan perkerasan beton semen (*rigid pavement*).
  - 3) Pelebaran dengan menggunakan aspal beton (*flexible pavement*).
- b. Alternatif kedua menggunakan metode perkerasan beton semen (*rigid pavement*).

Masing-masing alternatif konstruksi di atas dibuat estimasi biayanya dan dibandingkan biaya konstruksinya dan dicari mana yang lebih menguntungkan dilihat dari aspek ekonomi.

### 3.8.1.8. Perhitungan Biaya Pemeliharaan

Perhitungan biaya pemeliharaan selama umur rencana menurut Muhammad Yodi Aryangga dan Anak Agung Gde Kartika (2013) menggunakan rumus seperti berikut ini.

$$F = P (1 + i)^n \quad (3.36)$$

$$P = F \left[ \frac{1}{(1 + i)^n} \right] \quad (3.37)$$

Keterangan:

$i$  = tingkat suku bunga per periode bunga,

$n$  = jumlah periode,

$P$  = jumlah uang sekarang (*present worth*), dan

$F$  = jumlah uang pada akhir periode dari saat sekarang dengan bunga  $i$  (*future worth*).