

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebabkan beban lalu lintas tanah dasar . Suatu struktur perkerasan lentur biasanya terdiri atas beberapa lapisan bahan, dimana setiap lapisan akan menerima beban dari lapisan di atasnya, meneruskan dan menyebarkan beban tersebut ke lapisan dibawahnya. Jadi semakin ke lapisan struktur bawah, beban yang ditahan semakin kecil. Untuk mendapatkan keuntungan yang maksimum dari karakteristik diatas, lapisan bahan biasanya disusun secara menurun berdasarkan daya dukung terhadap beban diatasnya. Lapisan paling atas adalah material dengan daya dukung terhadap beban paling besar (dan paling mahal harganya), dan semakin kebawah adalah lapisan dengan daya dukung terhadap beban semakin kecil dan semakin murah harganya (Sukirman, 1992).

2.2 Kriteria Konstruksi Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (1992) supaya perkerasan jalan dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada si pemakai jalan, maka haruslah memenuhi syarat-syarat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu :

1. Syarat-syarat berlalu lintas

Konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

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

2. Syarat-syarat kekuatan/struktural

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

- a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban/muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan dibawahnya.

- c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

2.3 Parameter Perencanaan Tebal Lapis Konstruksi Perkerasan

Di dalam petunjuk teknis pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur metode Pt T-01-2002-B yang diterbitkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, menjelaskan tentang parameter dalam penentuan tebal perkerasan lentur antara lain :

1. Tanah dasar

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Dalam pedoman ini diperkenalkan modulus resilien (MR) sebagai parameter tanah dasar yang digunakan dalam perencanaan. Modulus resilien (MR) tanah dasar juga dapat diperkirakan dari CBR standar dan hasil atau nilai tes soil index. Korelasi Modulus Resilien dengan nilai CBR (Heukelom & Klomp) berikut ini dapat digunakan untuk tanah berbutir halus (fine-grained soil) dengan nilai CBR terendam 10 atau lebih kecil. MR dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$M_R \text{ (psi)} = 1.500 \times \text{CBR} \dots \dots \dots (2.1)$$

Persoalan tanah dasar yang sering ditemui antara lain :

- a) Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu sebagai akibat beban lalu-lintas.
- b) Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- 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. Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu-lintas untuk jenis tanah tertentu.
- d) 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.

2. Lapis pondas bawah

Lapis pondasi bawah 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 ataupun tidak, atau lapisan tanah yang distabilisasi.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

- a) Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebar beban roda.

- b) Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan di atasnya dapat dikurangi ketebalannya (penghematan biaya konstruksi).
- c) Mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- d) Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan konstruksi berjalan lancar.

Lapis pondasi bawah diperlukan sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat berat (terutama pada saat pelaksanaan konstruksi) atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

3. Lapis Pondasi

Lapis pondasi adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak langsung di bawah lapis permukaan. Lapis pondasi dibangun di atas lapis pondasi bawah atau, jika tidak menggunakan lapis pondasi bawah, langsung di atas tanah dasar.

Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a) Sebagai bagian konstruksi perkerasan yang menahan beban roda.
- b) Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi 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.

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

4. Lapis permukaan

Lapis permukaan struktur pekerasan lentur terdiri atas campuran mineral agregat dan bahan pengikat yang ditempatkan sebagai lapisan paling atas dan biasanya terletak di atas lapis pondasi.

Fungsi lapis permukaan antara lain :

- a) Sebagai bagian pekerasan untuk menahan beban roda.
- b) Sebagai lapisan tidak tembus air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
- c) Sebagai lapisan aus (wearing course)

Bahan untuk lapis permukaan umumnya sama dengan bahan untuk lapis pondasi dengan persyaratan yang 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. Menurut Bina Marga (2012) manual desain pekerasan lentur disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur perkerasan lentur pada tanah asli

5. Lalu Lintas

a) Angka Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan (E)

Menurut Koestalam dan Sutoyo (2010) formulasi perhitungan angka ekuivalen (E) yang diberikan oleh Bina Marga dapat dilihat pada rumus dibawah ini :

$$E = k * \left(\frac{P}{8,16} \right)^4 \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

E = Angka ekuivalen beban sumbu kendaraan

P = Beban sumbu kendaraan (Ton)

K = 1 untuk sumbu tunggal,

0,086 untuk sumbu ganda

0,031 untuk sumbu *triple*

b) Reabilitas

Konsep reliabilitas merupakan upaya untuk menyertakan derajat kepastian (degree of certainty) ke dalam proses perencanaan untuk menjamin bermacam-macam alternatif perencanaan akan bertahan selama selang waktu yang direncanakan (umur rencana). Faktor perencanaan reliabilitas memperhitungkan kemungkinan variasi perkiraan lalu-lintas (w_{18}) dan karenanya memberikan tingkat reliabilitas (R) dimana seksi perkerasan akan bertahan selama selang waktu yang direncanakan. Pada umumnya, dengan meningkatnya volume lalu-lintas dan kesukaran untuk mengalihkan lalu-lintas, resiko tidak memperlihatkan kinerja yang diharapkan harus ditekan. Hal ini dapat diatasi dengan memilih tingkat reliabilitas yang lebih tinggi. Tabel 1 memperlihatkan rekomendasi tingkat reliabilitas untuk bermacam-macam klasifikasi jalan.

Perlu dicatat bahwa tingkat reliabilitas yang lebih tinggi menunjukkan jalan yang melayani lalu-lintas paling banyak, sedangkan tingkat yang paling rendah, 50 % menunjukkan jalan lokal.

Tabel 1. Rekomendasi tingkat reliabilitas untuk bermacam-macam klasifikasi jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi tingkat reabilitas	
	Perkotaan	Antar Kota
Bebas hambatan	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Reliabilitas kinerja-perencanaan dikontrol dengan faktor reliabilitas (FR) yang dikalikan dengan perkiraan lalu-lintas (w_{18}) selama umur rencana untuk memperoleh prediksi kinerja (W_{18}). Untuk tingkat reliabilitas (R) yang diberikan, *reliability factor* merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation*, S_0) yang memperhitungkan kemungkinan variasi perkiraan lalu-lintas dan perkiraan kinerja untuk W_{18} yang diberikan. Dalam persamaan desain perkerasan lentur, *level of reliability* (R) diakomodasi dengan parameter penyimpangan normal standar (*standard normal deviate*, ZR). Tabel 2 memperlihatkan nilai ZR untuk *level of serviceability* tertentu.

Penerapan konsep *reliability* harus memperhatikan langkah-langkah berikut ini :

- 1) Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan apakah merupakan jalan perkotaan atau jalan antar kota
- 2) Pilih tingkat reliabilitas dari rentang yang diberikan pada Tabel 2
- 3) Deviasi standar (S_0) harus dipilih yang mewakili kondisi setempat. Rentang nilai S_0 adalah 0,40 – 0,50

Tabel 2. Nilai penyimpangan normal standar (*standard normal deviate*) untuk tingkat reliabilitas tertentu.

Reabilitas, R (%)	<i>Standar normal deviate, ZR</i>
50	0,000
60	- 0,253
70	- 0,524
75	- 0,674
80	- 0,841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,555
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,054
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

c) Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Lalu lintas pada lajur rencana (w_{18}) diberikan dalam kumulatif beban gandar standar. Untuk mendapatkan parameter lalu lintas pada lajur rencana ini digunakan perumusan berikut ini :

$$ESAL = \sum LHR_i * E_i \dots \dots \dots (2.3)$$

$$W_{18} \text{ pertahun} = ESAL * DD * DL * 365 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

ESAL = Perhitungan Repetisi Beban Lalu Lintas

E = Angka ekivalen beban kendaraan

LHR_i = Lalu Lintas Harian Rata-rata

DD = faktor distribusi arah.

DL = faktor distribusi lajur.

W₁₈ = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah.

Pada umumnya DD diambil 0,5. Pada beberapa kasus khusus terdapat pengecualian dimanakendaraan berat cenderung menuju satu arah tertentu. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa DD bervariasi dari 0,3 – 0,7 tergantung arah mana yang ‘berat’ dan ‘kosong’. Faktor Distribusi Lajur bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor distribusi lajur

Jumlah lajur per arah	% beban gandar standar dalam lajur rencana
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Manual Desain Perkerasan lentur (2012)

Lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan lentur dalam pedoman ini adalah lalu-lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada lajur rencana selama setahun (W₁₈) dengan besaran kenaikan lalu lintas (*traffic growth*). Secara numerik rumusan lalu-lintas kumulatif ini adalah sebagai berikut :

$$i = \left| \frac{LHR_n - LHR_{n-1}}{LHR_n} \right| * 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

$$G = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$W_{18} \text{ rencana} = W_{18} \text{ pertahun} * G \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

G = faktor kenaikan lalu lintas

i = pertumbuhan lalu lintas

n = umur pelayanan (tahun).

W_{18} rencana = jumlah beban gandar standar kumulatif atau di metode analisa komponen disebut Lintas Ekuivalen Rencana (W_{18})

d) Indeks Permukaan

Indeks permukaan ini menyatakan nilai ketidakrataan dan kekuatan perkerasan yang berhubungan dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat. Adapun beberapa ini IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini :

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

$IP = 2,0$: menyatakan tingkat pelayanan terendah bagi jalan yang masih mantap.

$IP = 1,5$: menyatakan tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).

$IP = 1,0$: Menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu-lintas kendaraan.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IPt)

Lokal	Klasifikasi Jalan		
	Kolektor	Arteri	Bebas Hambatan
1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	–
1,5	1,5 – 2,0	2,0	–
1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	–
–	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IP_0) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan perkerasan pada awal umur rencana sesuai dengan Tabel 5.

Tabel 5. Indeks permukaan pada awal umur rencana (IP_0)

Jenis Lapis Perkerasan	IP_0	Ketidakrataan *) (IRI, m/km)
LASTON	≥ 4	$\leq 1,0$
	3,9 – 3,5	$> 1,0$
LASBUTAG	3,9 – 3,5	$\leq 2,0$
	3,4 – 3,0	$> 2,0$
LAPEN	3,4 – 3,0	$\leq 3,0$
	2,9 – 2,5	$> 3,0$

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

e) Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Pedoman ini memperkenalkan korelasi antara Koefisien Kekuatan Relatif dengan nilai mekanistik, yaitu modulus resilien. Nilai Koefisien Kekuatan Relatif dibagi menjadi 3 yaitu :

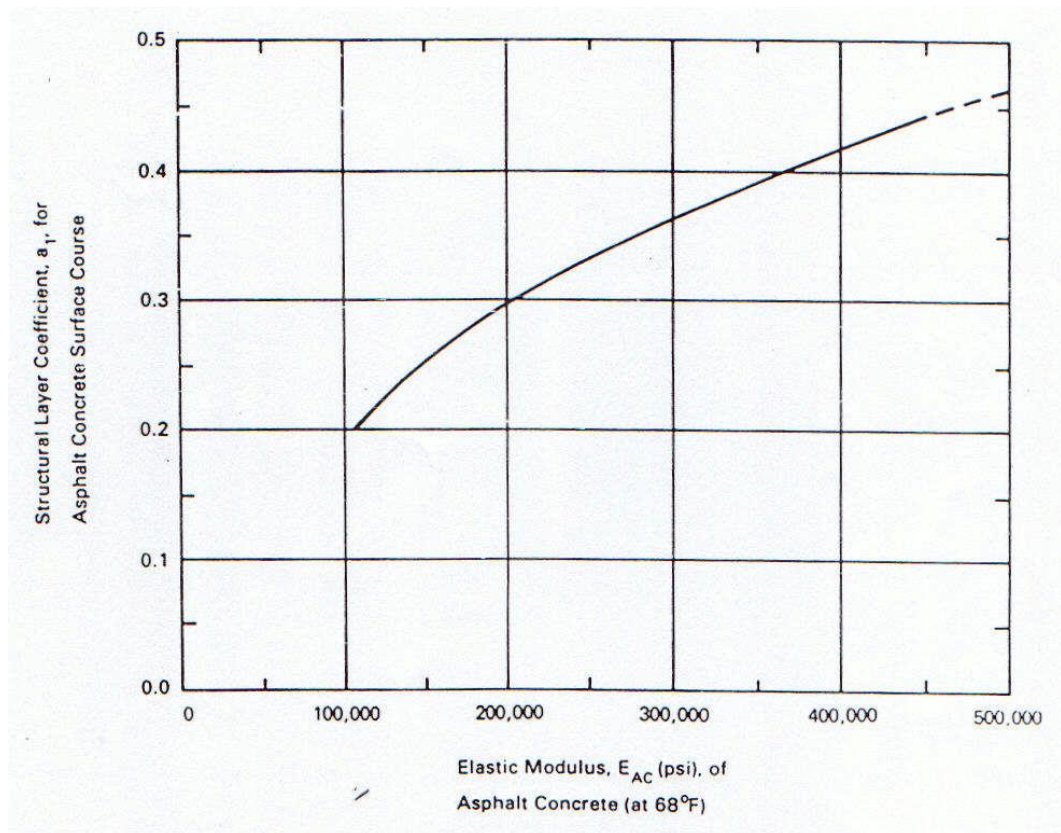
1) Lapis Permukaan Beton Aspal (a_1)

Disarankan, agar berhati-hati untuk nilai modulus di atas 450.000 psi. Meskipun modulus beton aspal yang lebih tinggi, lebih kaku,

dan lebih tahan terhadap lenturan, akan tetapi lebih rentan terhadap retak *fatigue*. Koefisien Kekuatan Relatif, a_1 dapat diperkirakan dengan menggunakan hubungan berikut :

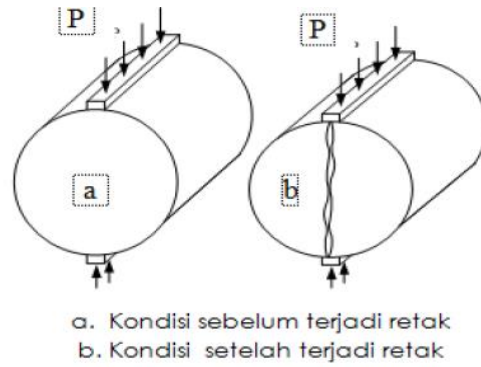
$$a_1 = 0,249 (\log_{10} E_{AC}) - 0,977 \dots\dots\dots(2.8)$$

atau disajikan pada Gambar 2 berdasarkan Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah (2002)



Gambar 2. Grafik untuk memperkirakan koefisien kekuatan relatif lapis permukaanbeton aspal bergradasi rapat (a_1)

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas aspal adalah dengan melakukan Pengujian Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength*) di laboratorium. Kemudian dihitung menggunakan rumus di bawah ini :



Gambar 3. Ilustrasi pengujian IDT *Strengt*

$$E = \frac{4P}{\Delta Rv.\pi.t} (1 + 3\mu) \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

E = Modulus Elastisitas campuran beton aspal (N/mm²)

P = Beban Maksimum (N)

ΔRv = Deformasi horizontal benda uji (mm)

Π = Jari-jari awal (mm)

t = Tebal diameter benda uji (mm)

μ = Angka Poisson

2) Lapis Pondasi Granular (a₂)

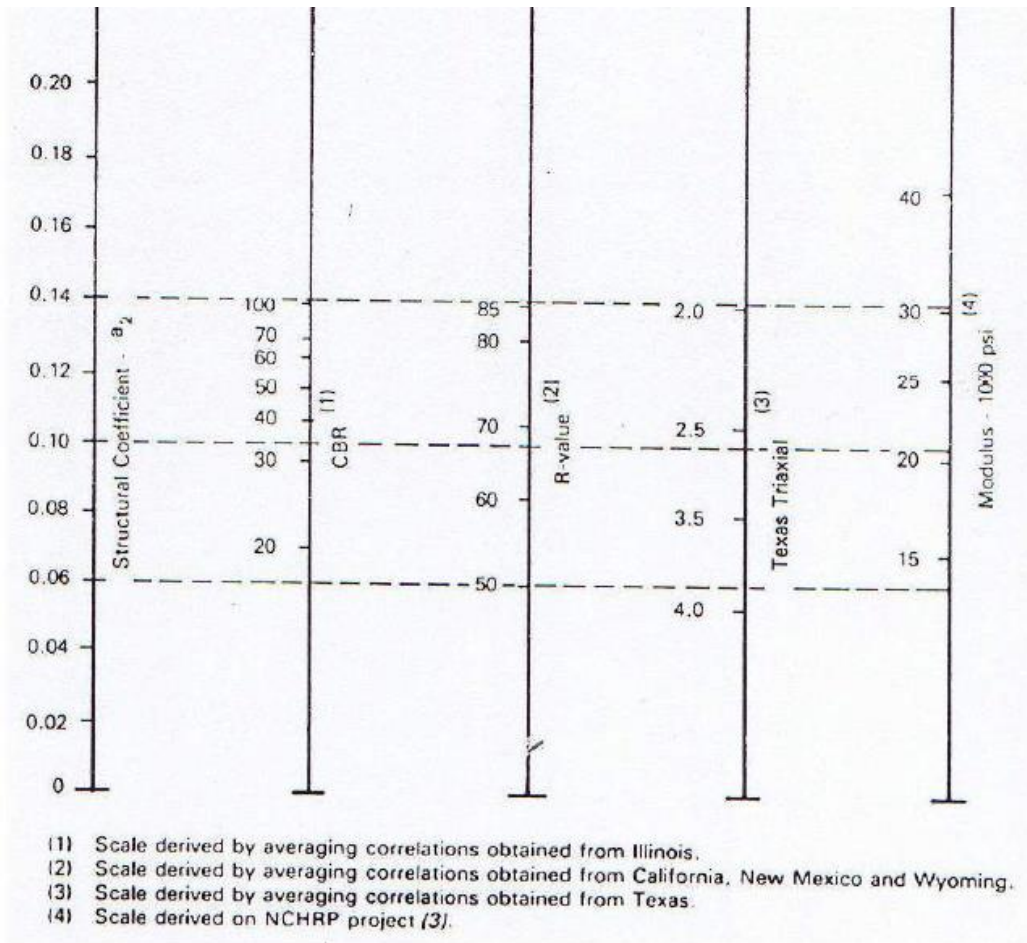
Koefisien Kekuatan Relatif, a₂ dapat diperkirakan dengan

menggunakan hubungan berikut :

$$a_2 = 0,249 (\log_{10} E_{BS}) - 0,977 \dots\dots\dots(2.10)$$

atau bisa juga menggunakan grafik Gambar 4 (Berdasarkan

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).



Gambar 4. Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi granular (a_2)

3) Lapis Pondasi Bawah Granular (a_3)

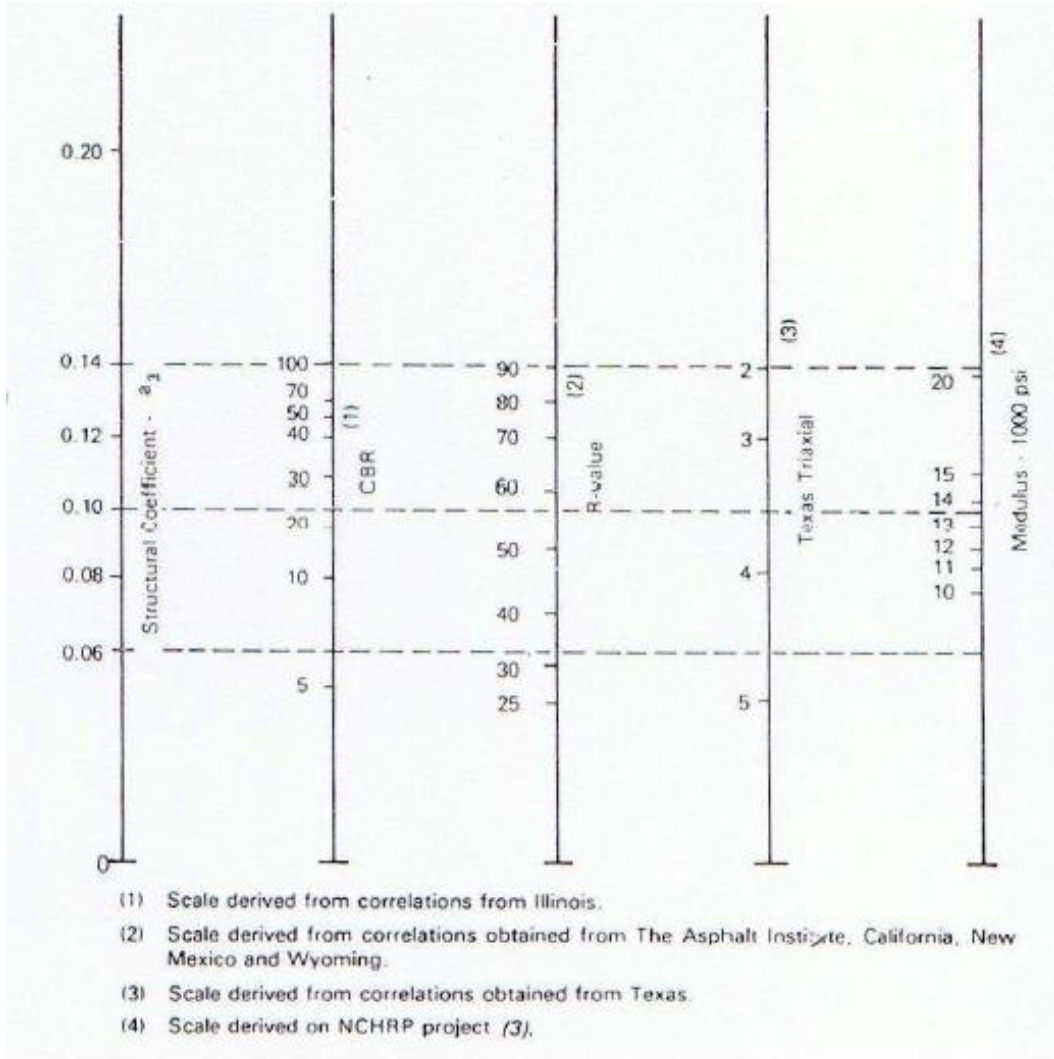
Koefisien Kekuatan Relatif, a_3 dapat diperkirakan dengan

menggunakan hubungan berikut :

$$a_3 = 0,227 (\log_{10} E_{SB}) - 0,839 \dots\dots\dots(2.11)$$

atau bisa juga menggunakan grafik Gambar 5 dibawah ini (Departemen

Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 5. Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi granular (a_3)

f) Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

ITP merupakan fungsi dari ketebalan lapisan dan koefisien relatif perkerasan. Untuk mendapatkan nilai ITP, bisa menggunakan rumus sesuai standar pedoman teknis jalan lentur (2002) dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(Wt) = & Z_R * S_0 + 9,36 * \text{Log}(ITP + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left[\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right]}{0,40 + \frac{1094}{(ITP+1)^{5,19}}} + \\
 & 2,32 * \text{Log}(M_R) - 8,07 \dots \dots \dots (2.12)
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai tebal perkerasan bisa didapat dari rumus :

$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \dots\dots\dots(2.13)$$

g) Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

Pada saat menentukan tebal lapis perkerasan, perlu dipertimbangkan keefektifannya dari segi biaya, pelaksanaan konstruksi, dan batasan pemeliharaan untuk menghindari kemungkinan dihasilkannya perencanaan yang tidak praktis. Tabel 6 menunjukkan batas-batas tebal minimum.

Tabel 6. Tebal minimum lapis permukaan berbeton aspal dan lapis pondasi agregat (inci)

Lalu-lintas (ESAL)	Beton aspal		LAPEN		LASBUTAG		Lapis pondasi agregat	
	inci	cm	inci	cm	inci	cm	inci	cm
< 50.000 *)	1,0 *)	2,5	2	5	2	5	4	10
50.001 – 150.000	2,0	5,0	–	–	–	–	4	10
150.001 – 500.000	2,5	6,25	–	–	–	–	4	10
500.001 – 2.000.000	3,0	7,5	–	–	–	–	6	15
2.000.001 – 7.000.000	3,5	8,75	–	–	–	–	6	15
> 7.000.000	4,0	10,0	–	–	–	–	6	15

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)
Untuk tebal lapisan pondasi bawah, ketebalan minimumnya adalah 20 cm.

h) Umur Rencana (UR)

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 yang baru (Bina Marga, 2002). Umur Rencana untuk perkerasan baru bisa dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Umur rencana perkerasan baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	UR (Tahun)
Perkerasan Lentur	lapisan aspal dan lapisan berbutir pondasi jalan	20
	semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang, misal : jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan	40
Perkerasan Kaku	lapis pondasi , lapis pondasi bawah, lapis beton semen	

Sumber : Manual Desain Perkerasan Bina Marga, 2012

2.4 Konstruksi Bertahap

Konstruksi bertahap adalah konstruksi perkerasan lentur yang memiliki satu lapis pondasi bawah, satu lapis pondasi dan dua lapis permukaan, dimana kedua lapis permukaan tersebut terbuat dari bahan aspal beton atau sejenis yang dikerjakan secara berurutan dengan selang waktu tertentu menurut ketentuan yang ditentukan dalam proses desain. Perlu dijelaskan disini, bahwa pada saat pekerjaan lapisan permukaan kedua (sebagai lapis tambahan), kondisi perkerasan tahap pertama masih stabil. Hal inilah yang

membedakan pekerjaan peningkatan jalan, diakhir masa layan, struktur perkerasan lama telah mencapai kondisi kritis/runtuh.

Manfaat dari konstruksi bertahap antara lain mencakup hal-hal sebagai berikut :

1. Memungkinkan peningkatan kondisi perkerasan dengan memperbaiki kelemahan-kelemahan setempat pada struktur perkerasan yang dijumpai diantara konstruksi tahap pertama dan tahap kedua. Karena perbaikan dilakukan sebelum pekerjaan konstruksi tahap kedua, maka permukaan yang lebih rata khususnya pada konstruksi tahap kedua dapat dihasilkan.
2. Jika terdapat kesalahan desain/konstruksi/material lapis pondasi atau lapis pondasi bawah, maka koreksi masih dapat dilakukan dengan biaya yang lebih murah. Meskipun demikian, hal ini harus dihindari khususnya pada konstruksi bertahap karena konstruksi tahap pertama yang masih lemah, sehingga kelemahan pada lapis pondasi atau lapis pondasi bawah akan lebih berpengaruh terhadap integritas struktur perkerasan.
3. Jika beban lalu lintas tidak dapat diperkirakan dengan baik, misalnya pada jalan dengan volume lalu lintas rendah atau pada jalan perkotaan dimana perubahan dapat terjadi dengan cepat, maka penyesuaian desain dapat dilakukan pada konstruksi tahap kedua apakah dengan mempercepat/menunda pelaksanaan pekerjaan tahap kedua atau dengan menyesuaikan tebal lapis permukaan yang diberikan pada tahap kedua.
4. Struktur perkerasan dapat didesain dengan lebih efektif sebagai konsekuensi dari kedua manfaat tersebut diatas.

5. Konstruksi bertahap dapat dipertimbangkan seandainya pendanaan pembangunan jalan juga harus disediakan secara bertahap atau jika jalan yang baru akan dibangun tersebut merupakan jalan akses yang harus melayani lalu lintas proyek selama periode pembangunan dari kawasan yang akan dilayaninya.

Namun, disamping manfaat tersebut terdapat juga kerugian yang dapat terjadi akibat pentahapan konstruksi perkerasan, seperti misalnya :

- a) Meskipun konstruksi perkerasan tahap kedua dapat memperbaiki kerusakan-kerusakan ringan pada permukaan perkerasan tahap pertama, namun kualitas lapis pondasi dan lapis pondasi bawah harus tetap baik sesuai dengan persyaratan yang diminta. Kegagalan pada lapis pondasi atau lapis pondasi bawah tidak dapat diperbaiki dengan menambah lapis permukaan tahap kedua saja melainkan harus membongkarnya sampai pada lapisan pondasi atau lapis pondasi bawah yang rusak. Hal ini tentunya akan memerlukan biaya yang sangat besar.
- b) Karena konstruksi perkerasan tahap kedua diberikan pada saat struktur perkerasan tahap pertama masih dalam kondisi yang baik, maka hal ini dapat memberikan kesan yang keliru bagi publik, seperti kesan bahwa jalan yang masih baik sudah ditangani kembali atau kesan bahwa pekerjaan jalan tidak pernah selesai.
- c) Pembangunan konstruksi tahap kedua akan mengganggu kelancaran lalu lintas. Dalam pengertian biaya transportasi total, gangguan terhadap kelancaran lalu lintas tersebut dapat meningkatkan biaya

operasi kendaraan, biaya kelambatan perjalanan maupun biaya kecelakaan. Hal ini pada gilirannya akan mengurangi bahkan menghilangkan potensi keuntungan yang telah diperkirakan sebelumnya dari pentahapan konstruksi.

- d) Pada saat konstruksi tahap kedua selesai, marka jalan harus dibuat ulang, dan ini berarti tambahan biaya.
- e) Posisi utilitas, seperti lubang drainase atau *man hole* yang ada di perkerasan, pada saat pengoperasian perkerasan tahap pertama mungkin tidak sesuai dengan posisi yang diinginkan pada akhirnya (tahap kedua).

Analisa kepekaan konstruksi bertahap terhadap perubahan nilai-nilai parameter desain dilakukan baik untuk konstruksi tahap pertama maupun tahap kedua. Parameter desain yang ditinjau untuk konstruksi tahap pertama adalah sama dengan yang untuk konstruksi langsung, yaitu :

1. Tebal lapisan perkerasan (D_1, D_2, D_3)
2. Kualitas bahan perkerasan (a_1, a_2, a_3)
3. Stabilitas tanah dasar (CBR)
4. Lalu lintas (i dan Wt)
5. Asumsi desain (FR, IPO, IPT)

Sedangkan untuk konstruksi tahap kedua, parameter desain yang ditinjau adalah :

1. Sisa umur tahap pertama
2. Tebal lapis tambahan (D_0)

3. Kualitas bahan lapis tambahan (a_0)

Seperti pada metoda perencanaan konstruksi bertahap (1989) didasarkan atas konsep "sisa umur". Perkerasan berikutnya direncanakan sebelum perkerasan pertama mencapai keseluruhan "*masa fatigue*". Untuk itu tahap kedua diterapkan bila jumlah kerusakan (*cumulative damage*) pada tahap pertama sudah mencapai 60%. Dengan demikian "sisa umur" tahap pertama tinggal 40%. Untuk menetapkan ketentuan di atas maka perlu dipilih waktu tahap pertama antara 25%-50% dari waktu keseluruhan. Misalnya : UR = 20 tahun, maka tahap I antara 5-10 tahun dan tahap II antara 10-15 tahun.

$$ITP_{ii} = a_0 * D_0 \dots\dots\dots(2.14)$$

2.5 Analisa Harga Satuan

Analisa Harga Satuan 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 didalamnya (Ervianto, 2005).

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. Ibrahim (2003) menyatakan bahwa 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 :

$$AHS = \sum \text{Volume} * \text{Harga Satuan} \dots\dots\dots(2.15)$$

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

Menurut Nurahmi (2012) Fluktuasi kenaikan harga satuan didapat dari rumus dibawah ini :

$$e = \left| \frac{a-b}{a} \right| * 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

e = Persentase perbedaan harga (%)

a = harga satuan pada tahun ke n

b = harga satuan pada tahun ke n-1

Harga di masa mendatang bisa dihitung menggunakan rumus :

$$FW = PW (1 + i)^n \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

FW = *Future Worth*, harga di masa yang akan datang

PW = *Present Worth*, harga sekarang

i = Persentase kenaikan harga

n = Tahun

1. Analisa Harga Satuan Dasar (HSD)

Komponen untuk menyusun Harga Satuan Pekerjaan (HSP) memerlukan HSD tenaga kerja, alat, dan bahan . Berikut ini langkah-langkah perhitungan HSD :

a. Menghitung jarak rata-rata *base camp* ke lokasi pekerjaan :

$$L = \frac{(a/2) * a + (b/2) * b}{(a + b)} \dots\dots\dots (2.18)$$

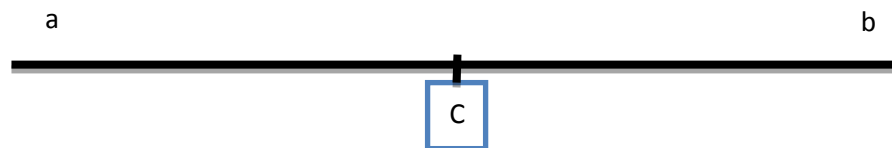
Keterangan :

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*

C = *Base Camp*



Gambar 6. Jarak *base camp* ke sisi terjauh

Sumber : Analisa Harga Satuan Bina Marga (2012)

b. HSD tenaga kerja :

- 1) Tentukan jenis ketrampilan tenaga kerja (pekerja, tukang, dll)
- 2) Kumpulkan data UMR
- 3) Perhitungkan tenaga kerja yang dibutuhkan

- 4) Tentukan jumlah hari efektif
- 5) Hitung biaya upah per jam per orang
 - a) Pekerja

$$\text{Koefisien tenaga} = \frac{Tk * P}{Qt} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

Tk = Jam kerja efektif (jam)

P = Jumlah pekerja

Qt = Produksi agregat (m³/jam)

- b) Pekerja

$$\text{Koefisien tenaga} = \frac{Tk * M}{Qt} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

Tk = Jam kerja efektif (jam)

M = Jumlah mandor

Qt = Produksi agregat (m³/jam)

- c. HSD alat :

- 1) Hitung biaya pasti
- 2) Hitung biaya bahan bakar

$$C = 15\% * Pw * Ms \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

C = Biaya kebutuhan bahan bakar (Rp)

Pw = Tenaga alat (HP)

Ms = Harga bahan bakar/liter (Rp)

- 3) Hitung biaya pelumas
- 4) Hitung biaya operator
- 5) Hitung biaya operasi per jam

$$\begin{aligned} \text{Biaya operasi perjam} &= \text{Biaya Pasti} + \text{Bahan Bakar} + \text{Pelumas} + \\ &\text{Operator} \dots\dots\dots(2.22) \end{aligned}$$

- 6) Jumlahkan HSD alat

d. HSD bahan jadi :

- 1) Tentukan tempat dan harga setempat bahan tersebut di pabrik atau di pelabuhan
- 2) Hitung memuat bahan jadi, transportasi, membongkar bahan jadi
 - a) Biaya sewa alat *Excavator* dan *Wheel Loader*

$$Q1 = \frac{V \cdot Fb \cdot Fa \cdot 60}{Ts} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

Q1 = Kapasitas produksi perjam (m^3 /jam)

V = Kapasitas *bucket* (m^3)

Fb = Faktor *bucket*

Fa = Faktor alat

Ts = Waktu siklus (menit)

Jadi biaya excavator per kubik adalah

$$= \frac{\text{Biaya sewa alat per jam}}{Q1} \dots\dots\dots(2.24)$$

- b) Biaya sewa alat *Dump Truck*

$$Q2 = \frac{V \cdot Fa \cdot 60}{Ts \cdot BiL} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

Q_2 = Kapasitas angkut *dump truck* (m^3/jam)

V = Kapasitas bak (m^3)

F_a = Faktor alat

T_s = Waktu siklus (menit)

BiL = Berat volume (Ton/m^3)

Jadi biaya sewa *dump truck* per kubik adalah

$$= \frac{\text{Biaya sewa alat per jam}}{Q_2} \dots\dots\dots(2.26)$$

c) Biaya sewa *Motor Grader* :

$$Q_3 = \frac{Lh \cdot (N(b-bo) + bo) \cdot t \cdot F_a \cdot 60}{n \cdot T_s} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

Q_3 = Kapasitas produksi/jam (m^3/jam)

Lh = Panjang hamparan (m)

N = Lajur lintasan (m)

b = Lebar efektif kerja blade (m)

bo = Lebar overlap (m)

t = Tebal lapis (m)

F_a = Faktor alat

n = Lajur lintasan

T_s = Waktu siklus

$$\text{Koefisien alat} = \frac{1}{Q_3} \dots\dots\dots(2.28)$$

d) Biaya sewa *Tandem Roller*

$$Q_4 = \frac{(v \cdot 1000) \cdot (N(b-bo) + bo) \cdot t \cdot F_a}{n} \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

Q4 = Kapasitas produksi/jam(m^3 /jam)

v = Kecepatan rata-rata (km/jam)

N = Jumlah lajur lintasan

b = Lebar efektif pemadatan (m)

bo = Lebar overlap (m)

t = Tebal lapis (m)

Fa = Faktor alat

n = Lajur lintasan

$$\text{Koefisien alat} = \frac{1}{Q4} \dots \dots \dots (2.30)$$

e) Biaya sewa *Water Tank Truck*

$$Q5 = 1000 * Wc$$

Keterangan :

Q5 = Kapasitas produksi/jam(m^3 /jam)

Wc = Kebutuhan air/ m^3 dalam agregat (m^3)

$$\text{Koefisien alat} = \frac{1}{Q5} \dots \dots \dots (2.31)$$

f) Biaya sewa *Asphalt Finisher*

$$Q6 = v * b * 60 * Fa * t * BiP$$

Keterangan :

Q6 = Kapasitas produksi/jam(m^3 /jam)

v = Kecepatan hamparan (km/jam)

b = Lebar hamparan (m)

Fa = Faktor alat

t = Tebal lapisan (m)

BiP = Berat isi padat

$$\text{Koefisien alat} = \frac{1}{Q_6} \dots \dots \dots (2.32)$$

g) Biaya sewa *Pneumatic Tire Roller*

$$Q_7 = \frac{\{(v \cdot 1000) \cdot (N(b - b_o) + b_o) \cdot t \cdot F_a \cdot \text{BiP}\}}{n} \dots \dots \dots (2.33)$$

Keterangan :

Q7 = Kapasitas produksi/jam (m³/jam)

v = Kecepatan hamparan (km/jam)

b = Lebar hamparan (m)

Fa = Faktor alat

t = Tebal lapisan (m)

BiP = Berat isi padat

N = Jumlah lajur

b_o = Lebar overlap (m)

n = Jumlah lintasan

$$\text{Koefisien alat} = \frac{1}{Q_7} \dots \dots \dots (2.34)$$

3) Tabelkan dan beri simbol setiap bahan yang sudah dicatat

2. 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. 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.