



# PENGARUH PENYIMPANGAN KETEBALAN DAN MUTU PELAT BETON PADA PERKERASAN BETON SEMEN (PERKERASAN KAKU)

*Furqon Affandi*

## **RINGKASAN**

Penggunaan perkerasan beton semen ( perkerasan kaku ) di Indonesia baru dimulai sekitar tahun 1985, dan perkembangannya tidak begitu tinggi walaupun adanya peningkatan. Di Indonesia jenis perkerasan kaku yang banyak dipergunakan ialah perkerasan bersambung tanpa tulangan, dikarenakan sederhana dalam pelaksanaan serta murah, dengan ketebalan pelat sekitar 25 cm. Pengaruh dari perubahan modulus reaksi komposit antara tanah dasar dan fundasi tidak banyak berpengaruh terhadap masa pelayanan, perubahan pada modulus reaksi komposit sebesar sekitar  $\pm 25\%$  hanya akan merubah masa pelayanan sekitar  $\pm 6\%$ . Dari analisa yang dilakukan terhadap penyimpangan ketebalan pelat maupun penurunan mutu beton, akan memberikan pengaruh yang besar terhadap masa pelayanan dari perkerasan tersebut. Pengurangan ketebalan pelat sebesar 25 mm dari tebal rencana atau penurunan mutu beton sebesar 20% dari mutu rencana akan menurunkan masa pelayanan perkerasan sampai setengahnya. Besar pengurangan tadi, walaupun diberi kompensasi dengan pengurangan pembayaran terhadap harga satuan kontrak, namun perlu analisa ekonomi terhadap kerugian yang ditimbulkan dari pengurangan tadiya.

## **SUMMARY**

The application of concrete pavement in Indonesia started 1995, there was increase in its development but no significant. Rigid pavement type with commonly use in Indonesia is plain concrete pavement due to the simplicity in application and cheap, with typical slab thickness of 25 cm. The influence of the change composite reaction modulus between subgrade and foundation do not influence much of service life, the change of composite modulus reaction by approximately  $\pm 25\%$  will change the service life by  $\pm 6\%$ . From the analysis of slab thickness and concrete quality deficiencies, gave significant influence on pavement service life. The decrease of slab thickness by 25 mm of design thickness or the decrease of concrete quality by 20% of design quality will decrease half of pavement service life. Even though there is compensation by decreasing the payment on the contract unit price but economic analysis on disadvantages is required.

## **I. PENDAHULUAN**

Penggunaan perkerasan beton semen atau perkerasan kaku di Indonesai mulai diperkenalkan sejak tahun 1985 an, dan sampai saat ini perkembangannya belum begitu banyak, namun menunjukkan adanya penggunaan yang meningkat terutama di jalan jalan tol dan jalan jalan utama di kota kota besar.

Di Indonesia jenis perkerasan kaku yang digunakan ialah perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, walaupun ada tiga jenis perkerasan kaku lainnya seperti :

- Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan
- Perkerasan kaku menerus dengan tulangan
- Perkerasan kaku pratekan

Hal ini didasarkan atas pertimbangan harga yang lebih ekonomis serta kemudahan dalam pelaksanaan.

Perkerasan kaku ini mempunyai sifat yang berbeda dengan perkerasan lentur pada umumnya, dimana perbedaan yang paling nyata ialah pada pendistribusian beban lalu lintas ke lapisan dibawahnya. Pendistribusian beban lalu lintas pada perkerasan kaku ke lapisan tanah dasar relatif kecil, dikarenakan pelat betonya sendiri mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kekakuan pada perkerasan lentur. Hal ini antara lain disebabkan oleh sifat modulus elastisitas beton yang 10 kali lebih besar dari modulus campuran beraspal, sehingga perkerasan beton semen ini disebut pula sebagai perkerasan kaku. Dengan sifat yang demikian,

fungsi pelat beton pada perkerasan kaku ini lebih dominan dibandingkan dengan lapisan pondasi maupun tanah dasar dari perkerasan tersebut. Perkerasan kaku terdiri dari dua lapis, yaitu lapisan pondasi dan pelat betonnya sendiri, yang langsung diletakkan diatas tanah dasar yang telah disiapkan sebelumnya. Daya dukung lapisan tanah dasar biasanya dinyatakan dengan *modulus of subgrade reaction* atau CBR tidak perlu tinggi sebagaimana yang diperlukan pada perkerasan lentur, yang lebih penting adanya keseragaman daya dukung tersebut. Kekuatan lapis pondasi pada perkerasan kaku ini bukan ditujukan untuk menaikkan kekuatan tanah dasar tersebut, tetapi lebih ditujukan untuk hal hal seperti memberikan daya dukung yang lebih merata, sebagai lapisan yang mereduksi muai susut pada tanah ekspansif, untuk mencegah *pumping* serta sebagai lantai kerja. Ketebalan pelat yang dituangkan dalam gambar rencana guna melayani beban lalu lintas tertentu, selain tergantung pada besar beban lalu lintas yang harus dilayaninya juga tergantung pada mutu betonnya sendiri, yang dinyatakan oleh kuat tarik lenturnya. Hasil perhitungan tebal pelat yang diperlukan untuk melayani beban lalu lintas tersebut, dalam perhitungan akhirnya dibulatkan ke angka kelipatan  $\frac{1}{2}$  " atau 1 cm terdekat diatasnya. Dalam pelaksanaannya, ketebalan rencana serta kualitas beton yang terpasang ada kemungkinan lebih rendah dari ketentuan yang disyaratkan. Hal hal ini biasanya diakomodir dengan adanya toleransi baik pada ketebalan maupun pada kualitas beton sampai tingkat tertentu. Toleransi ini harus disadari akan memberikan risiko yang akan menurunkan pelayanan perkerasan kaku tersebut, sehingga penurunan tersebut perlu mendapat perhatian yang cukup mendalam.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dipergunakan disini, didasarkan atas:

### 1. Metoda Analisis

Analisis dilakukan dengan mempelajari parameter parameter dari metoda perencanaan tebal perkerasan kaku untuk satu jenis perkerasan kaku. Parameter parameter ini, selanjutnya dipisahkan menjadi dua bagian utama, yaitu yang dianggap tetap selama analisa ini dan ada yang di ubah ubah guna melihat pengaruhnya terhadap kinerja perkerasan tersebut.

Pemilihan parameter yang tetap dan ber ubah ubah, didasarkan atas lokasi dan kondisi dimana perkerasan itu akan dilaksanakan serta atas hal hal pelaksanaan yang akan mempengaruhi persyaratan konstruksi yang mungkin tidak bisa dipenuhi sepenuhnya.

Analisis ini dibagi menjadi :

- a. Analisa perkerasan kaku dengan besaran parameter parameter yang telah ditetapkan
- b. Analisa perkerasan kaku dengan merubah satu per satu besaran parameter tersebut, seperti :
  - tebal pelat beton
  - mutu beton dan
  - modulus reaksi komposit ( k ) antara tanah dasar dan lapis pondasi
2. Pengumpulan data besaran toleransi pada pelaksanaan perkerasan kaku dan sanksinya
3. Perhitungan antara besaran toleransi yang dipergunakan dan kerugian yang akan diakibatkannya

## III. PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DAN PARAMETERNYA

### 3.1 Perencanaan perkerasan kaku

Perencanaan perkerasan kaku secara umum meliputi antara lain :

- a. Penentuan tebal lapisan pondasi
- b. Penentuan panjang slab antar sambungan melintang
- c. Penentuan tebal pelat beton
- d. Penentuan besar dan jumlah ruji ( *dowel* ) dan batang pengikat ( *tie bars* )
- e. Penentuan besar dan jarak tulangan memanjang serta melintang (bila menggunakan tulangan )

Pada perencanaan tersebut diperlukan data daya dukung tanah dasar yang dinyatakan dengan modulus reaksi tanah dasar ( $M_R$ ), modulus reaksi komposit ( k ), mutu beton yang dinyatakan oleh kuat tarik lentur, mutu baja dan kualitasnya, besar dan tipe beban lalu lintas yang harus dipikul serta kondisi lingkungan dimana jalan tersebut akan dibangun. Ada beberapa metoda perhitungan dalam penentuan tebal pelat tersebut diantaranya cara NAASRA, AASHTO.

Pada bahasan ini, tinjauan efektifitas perkerasan beton akibat penyimpangan tebal serta mutunya didasarkan atas perhitungan tebal pelat berdasarkan metoda AASHTO, dimana perhitungan dengan cara AASHTO ini bisa dilakukan dengan menggunakan nomogram atau rumus yang telah disediakan, sehingga perubahan besaran parameter yang diinginkan akan memudahkan perhitungan. Untuk keperluan ini dipergunakan rumus yang telah tersedia, sehingga ketelitiannya bisa lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan nomogram.

Rumus dasar dari penentuan tebal perkerasan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\log_{10} W_{18} = z_R \cdot S_o + 7,35 \cdot \log_{10} (D+1) - 0,06 + (\log_{10} (\Delta \text{PSI} / 4,5 - 1,5) / (1+1,624 \cdot 10^7 / (D+1)^{8,46}) + (4,22 - 0,32 \text{ pt}) \cdot \log_{10} \{S'_c + C_d (D^{0,75} - 1,132) / 215,63 \cdot J (D^{0,75} - 18,42 (E_c/k)^{0,25})\} \dots (1)$$

Dimana :

- $Z_R$ ; Standar normal deviasi
- $R$ ; Reliability
- $S_o$ ; Standar deviasi,
- $\Delta \text{PSI} = p_t - p_o$ ; Kehilangan tingkat pelayanan,
- $E_c$ ; Modulus Elastisitas beton,
- $S'_c$ ; Modulus of rupture,
- $J$ ; Koefisien penyaluran beban,
- $C_d$ ; Koefisien drainase,
- $k$ ; Modulus reaksi komposit.
- $D$ ; Tebal pelat beton
- $W_{18}$ ; Jumlah kumulatif beban lalu lintas dalam 18 kip SAL

Jumlah kumulatif beban lalu lintas dalam 18 kip SAL, juga menggambarkan umur pelayanan perkerasan tersebut dalam satuan waktu ( tahun).

### 3.2 Perubahan besaran parameter perencanaan

Dalam penentuan hubungan tebal pelat serta beban lalu lintas yang dapat dipikulnya dalam satuan ESAL, faktor faktor lain seperti modulus reaksi komposit, ketebalan serta jenis lapis pondasi, mutu beton, jenis perkerasan beton semen yang dievaluasi, keadaan lingkungan, yang semuanya diambil sama, sehingga hanya faktor tebal lapisan pelat beton saja yang merupakan besaran yang berubah ubah. Dengan demikian akan didapat hubungan antara tebal pelat beton dan jumlah beban lalu lintas yang dapat dipikul.

Begitu juga dalam menentukan pengaruh mutu beton atau pengaruh modulus reaksi komposit terhadap kemampuan perkerasan, maka semua parameter lainnya dipegang tetap sehingga hanya parameter parameter yang akan dicari pengaruhnya saja yang ber ubah ubah. Dengan demikian akan didapat korelasi antara perubahan tebal pelat terhadap kemampuan daya dukung perkerasan serta korelasi antara modulus reaksi komposit maupun mutu beton terhadap kemampuan atau kinerja perkerasan tersebut.

Jumlah beban kendaraan yang dapat dipikul tersebut diatas, dinyatakan dalam satuan 18 kip ESAL ( 8,16 ton) yang lewat pada lajur rencana, sehingga untuk jalan dengan jumlah lajur pada masing masing arah yang lebih dari satu maka besaran yang didapat tersebut harus dibagi koefisien persen 18 kip ESAL pada lajur rencana, sebagai mana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.  
PROSEN 18 KIP ESAL PADA LAJUR RENCANA

| Jumlah lajur pada masing masing arah | Persen 18 kip ESAL pada lajur rencana |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1                                    | 100                                   |
| 2                                    | 80 – 100                              |
| 3                                    | 60 – 80                               |
| 4                                    | 50 – 75                               |

Parameter parameter lainnya yang termasuk dalam perencanaan perkerasan kaku ini ialah Reliability, dimana besarnya tergantung pada fungsi jalan serta klasifikasi jalanya sendiri, sebagai mana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2.  
BESARAN RELIABILITY YANG DISARANKAN

| Fungsi jalan                          | Faktor Reliability yang disarankan |           |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------|
|                                       | Klasifikasi jalan                  |           |
|                                       | Urban                              | Rural     |
| Jalan negara dan jalan bebas hambatan | 85 – 99,9                          | 80 – 99,9 |
| Arteri utama                          | 80 – 99                            | 80 – 99   |
| Kolektor                              | 80 – 95                            | 75 – 95   |
| Lokal                                 | 50 – 80                            | 50 – 80   |

Hal lain yang perlu dimasukkan dalam analisa ini ialah standar deviasi ( $S_o$ ) yang menggambarkan kondisi lokal dimana jalan akan dibangun. Pada jalan percobaan AASHTO nilai ini ialah 0,25 untuk perkerasan kaku, yang setara dengan penyimpangan atau deviasi lalu lintas sebesar 0,35.

Perkerasan yang dibangun harus dapat melayani lalu lintas selama masa pelayanannya sesuai dengan jumlah beban lalu lintas yang harus dipikulnya. Hal ini dinyatakan dengan nilai serviceability index yang nilainya antara 0 dan 5. Untuk perkerasan jalan kaku serviceability awal  $p_o$  ialah 4,5 dan serviceability pada akhir umur rencananya tergantung pada keadaan akhir yang diinginkan, apakah rehabilitasi, pelapisan ulang atau rekonstruksi. Untuk jalan jalan utama disarankan 2,5 sedang untuk jalan biasa dengan volume lalu lintas yang tidak terlalu tinggi disarankan sebesar 2.

Cara penentuan lain dari serviceability index ( pt) didasarkan atas pendapat masyarakat umum. Di Amerika hubungan antara pendapat umum dan nilai tingkat serviceability adalah sebagai mana diperlihatkan pada Table 3 dibawah ini :

Tabel 3.  
PERKIRAAN NILAI TERMINAL SERVICEABILITY; PT

| Terminal serviceability; pt | Prosen dari orang yang menyatakan tidak menerima |
|-----------------------------|--|
| 3,0                         | 12   |
| 2,5                         | 55   |
| 2                           | 85   |

Pada perkerasan kaku, sifat sifat yang penting dari material tersebut ialah modulus elastisitas beton serta kuat tarik lentur (Modulus of Rupture) nya. Modulus elastisitas bisa dikorelasikan dari kuat tekan beton dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_c = 57.000 (f'c)^{0,5} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$E_c$  = modulus elastisitas beton ( psi )

$f'c$  = kuat tekan beton ( psi )

Faktor penting lainnya dalam menjamin kinerja dari perkerasan kaku ialah drainase, dan faktor ini tergantung pada kualitas drainase nya sendiri dan prosentase waktu selama satu tahun dimana konstruksi perkerasan mendekati tingkat kejenuhan. Nilai yang direkomendasikan ini disajikan pada Tabel 4

**Tabel 4.**  
**REKOMENDASI NILAI KOEFISEN DRAINASE CD, PADA PERKERASAN KAKU**

| Prosentase waktu dimana konstruksi perkerasan terexposi mendekati keadaan jenuh |             |             |             |        |
|---|-------------|-------------|-------------|--------|
| Kualitas drainase   | < 1%        | 1-5 %       | 5 – 25 %    | > 25 % |
| Sangat baik   | 1,25 – 1,20 | 1,20 – 1,15 | 1,15 – 1,10 | 1,10   |
| Baik  | 1,20 – 1,15 | 1,15 – 1,10 | 1,10 – 1,00 | 1,00   |
| Cukup   | 1,15 – 1,10 | 1,10 – 1,00 | 1,00 – 0,90 | 0,90   |
| Jelek   | 1,10 – 1,00 | 1,00 – 0,90 | 0,90 – 0,80 | 0,80   |
| Sangat Jelek  | 1,00 – 0,90 | 0,90 – 0,80 | 0,80 – 0,70 | 0,70   |

### 3.3 Pengaruh perubahan beberapa variable terhadap kinerja perkerasan kaku

Dalam penentuan pengaruh perubahan besaran parameter yang akan diamati, terlebih dahulu ditetapkan satu perencanaan standar yang meliputi besaran dari parameter parameter nya. Perencanaan standar ini dijadikan dasar untuk melihat perubahan yang terjadi jika beberapa parameter tertentu diantaranya mengalami perubahan.

Untuk mengetahui pengaruh pengaruh tersebut lebih jelas, pada tulisan ini diberikan analisa perhitungan perkerasan kaku standar dengan besaran besaran sebagai berikut :

- Reliability,  $R = 95\%$
- Standar deviasi,  $S_o = 0,29$
- Kehilangan tingkat pelayanan,  $\Delta PSI = p_t - p_o ; = 4,2 - 2,5 = 1,7$
- Modulus Elastisitas beton,  $E_c = 5 \times 10^6$  psi
- Modulus of rupture,  $S'c = 650$  psi
- Koefisien penyaluran beban,  $J = 3,2$
- Koefisien drainase,  $C_d = 1,0$
- Modulus reaksi tanah dasar komposit,  $k = 72$  pci

Dengan beban lalu lintas yang harus dipikul selama umur rencananya sebesar  $5,1 \times 10^6$  ESAL, serta menggunakan rumus (1) diatas, maka

didapat tebal pelat yang diperlukan ialah 9,73 inci (24,7 cm).

Hal yang mungkin terjadi ialah bila dalam pelaksanaan terjadi penyimpangan dari apa yang telah ditetapkan, misalnya ketebalan pelat yang kurang dari tebal rencana, atau mutu beton yang lebih rendah dari yang ditetapkan serta kemungkinan tidak tercapainya modulus reaksi komposit lapisan pondasi dan tanah dasar dari perkerasan tersebut.

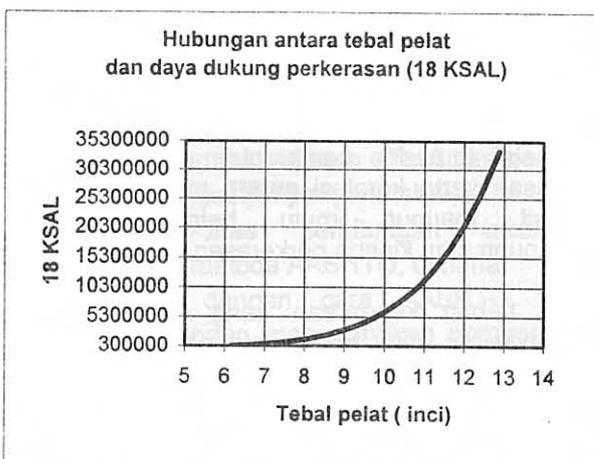
### 3.3.1 Perubahan besaran ketebalan pelat beton

Guna mendapatkan pengaruh perubahan besaran tebal pelat beton terhadap kinerja perkerasan tersebut, dilakukan perhitungan dengan melakukan perubahan ketebalan pelat dari tebal perencanaan standar. Selanjutnya untuk setiap nilai tebal pelat yang baru tersebut dihitung kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas dengan menggunakan rumus dasar seperti yang sajikan pada rumus ( 1 ) didepan.

Untuk memudahkan melihat pengaruh perubahan ketebalan pelat terhadap daya dukung perkerasan dalam memikul beban lalu lintas, telah dilakukan perhitungan dan hasilnya disajikan pada Tabel 5 serta Gambar 1 dan Gambar 2.

**Tabel 5.**  
**HUBUNGAN ANTARA PENGURANGAN TEBAL PELAT DAN DAYA DUKUNG LALU LINTASNYA**

| D(incl) | W18, 18 kip ESAL | % Pengurangan ketebalan pelat | % Pengurangan daya dukung pelat |
|---------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 6.19    | 3.5E+05          | 36.42                         | 93.16                           |
| 6.58    | 4.9E+05          | 32.37                         | 90.49                           |
| 6.97    | 6.7E+05          | 28.32                         | 86.91                           |
| 7.37    | 9.1E+05          | 24.28                         | 82.12                           |
| 7.76    | 1.2E+06          | 20.23                         | 75.72                           |
| 8.16    | 1.7E+06          | 16.19                         | 67.23                           |
| 8.55    | 2.2E+06          | 12.14                         | 56.08                           |
| 8.94    | 3.0E+06          | 8.09                          | 41.61                           |
| 9.34    | 3.9E+06          | 4.05                          | 22.98                           |
| 9.73    | 5.1E+06          | 0.00                          | 0.00                            |



**Gambar 1. Grafik kekuatan daya dukung perkerasan dengan tebal pelat beton**



**Gambar 2. Grafik pengaruh % pengurangan tebal pelat terhadap daya dukung perkerasan**

Kemampuan perkerasan untuk memikul beban lalu lintas dengan tebal pelat 9,73 inci mencapai  $5,1 \times 10^6$  ESAL dan ini menurun mencapai  $3,5 \times 10^6$  untuk ketebalan pelat sampai 6,19 inci.

Dari tabel tersebut terlihat pengurangan tebal pelat mempunyai pengaruh yang besar terhadap kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas, hal ini ditunjukkan dengan pengurangan ketebalan pelat sebesar 1,18 inci ( 2.90 cm ) dari ketebalan pelat 9,73 inci menjadi 8,55 inci telah menurunkan kemampuan memikul lalu lintas sebesar  $2,9 \times 10^6$  ESAL, yaitu dari  $5,1 \times 10^6$  menjadi  $2,2 \times 10^6$  ESAL. Penurunan ketebalan pelat yang lebih besar lagi, sampai mencapai ketebalan 6,19 inci mengakibatkan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas hanya menjadi  $3,5 \times 10^5$  ESAL saja.

Pengurangan ketebalan pelat sekitar 10 % dari tebal rencana, akan menimbulkan pengurangan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas sekitar 50% nya, yang berarti pula umur rencananya akan berkurang sebesar 50% pula. Pengurangan ketebalan pelat sebesar 30 % dari tebal rencana, akan menurunkan kemampuan memikul lalu lintas nya sebesar 90%. Dari Gambar 2 terlihat, pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas akan lebih menurun dengan tajam sampai pengurangan tebal pelat sekitar 17,5% yang mengakibatkan penurunan kemampuan melayani lalu lintas sebesar sekitar 70%. Pengurangan tebal pelat yang lebih besar lagi mengakibatkan prosentase penurunan kemampuan memikul beban lalu lintas tidak setajam sebelumnya sebagai mana ditunjukkan dengan lengkungan pada grafik yang ada di Gambar 2.

### 3.3.2 Pengaruh penurunan mutu beton terhadap kemampuan perkerasan terhadap beban lalu lintas

Parameter mutu beton untuk perkerasan kaku ialah kuat tarik lentur yang dinyatakan dengan S'c. Bila kuat tarik lenturnya menurun, walaupun tebal pelat dan parameter lainnya tetap, maka hal ini akan berpengaruh terhadap kemampuan perkerasan tersebut dalam memikul beban lalu lintas nya atau umur pelayanannya. Hasil perhitungan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas dengan berbagai besar penurunan mutu beton yang dinyatakan oleh kemampuan tarik lentur nya diperlihatkan pada Tabel 6 serta Gambar 3 dan Gambar 4.

**Tabel 6. PENGARUH PERUBAHAN KEKUATAN BETON TERHADAP KEMAMPUAN PERKERASAN DALAM MEMIKUL BEBAN LALU LINTAS**

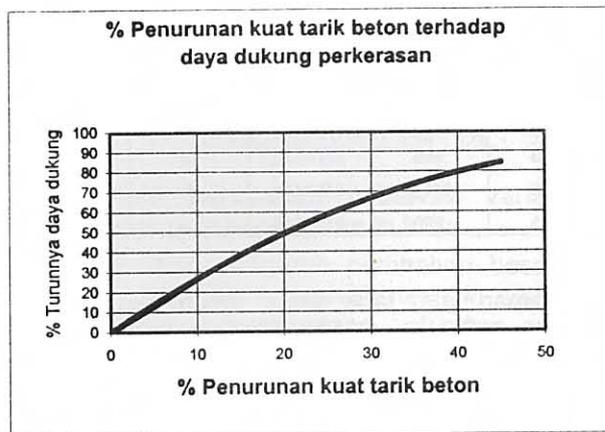
| Tebal pelat (D); inci | Kuat tarik lentur (S'c); psi | Kumulatif axle load 18 kip SAL | % perbedaan kuat tarik S'c | % perbedaan kumulatif 18 kip W18 |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 9.73                  | 357.5                        | 796090.6                       | 45                         | 84.51                            |
| 9.73                  | 390                          | 1046578                        | 40                         | 79.63                            |
| 9.73                  | 422.5                        | 1346872                        | 35                         | 73.79                            |
| 9.73                  | 455                          | 1702054                        | 30                         | 66.87                            |
| 9.73                  | 487.5                        | 2117313                        | 25                         | 58.79                            |
| 9.73                  | 520                          | 2597939                        | 20                         | 49.44                            |
| 9.73                  | 552.5                        | 3149318                        | 15                         | 38.70                            |
| 9.73                  | 585                          | 3776932                        | 10                         | 26.49                            |
| 9.73                  | 617.5                        | 4486349                        | 5                          | 12.68                            |
| 9.73                  | 650                          | 5137945                        | 0                          | 0.00                             |

Penurunan kuat tarik lentur beton dari 650 psi sampai 357 psi menyebabkan jumlah kumulatif beban lalu lintas yang dapat dipikul menurun dari sekitar  $5,1 \times 10^6$  menjadi  $0,8 \times 10^6$  SAL. Sedangkan penurunan mutu beton sebesar 130 psi, yaitu dari 650 psi menjadi 520 psi menyebabkan penurunan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas dari  $5,1 \times 10^6$  ESAL menjadi  $2,6 \times 10^6$  ESAL. Penurunan kuat tarik lentur antara 650 psi sampai 500 psi memberikan pengurangan daya dukung lalu lintas yang cukup tajam dibandingkan dengan penurunan yang terjadi bilamana mutu beton turun dari sekitar 500 psi sampai 350 psi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 dimana garis lengkungan antara kuat tarik lentur 650 sampai 500 psi lebih curam dibandingkan dengan tangen antara 500 dan 350 psi. Bila dilihat dari prosentase penurunan kuat tarik lentur dari kuat tarik lentur rencana terhadap penurunan kemampuan perkerasan terhadap lalu lintas, terlihat penurunan itu sangat mempunyai pengaruh yang cukup besar. Penurunan kuat tarik lentur sampai 10% menyebabkan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas turun sampai 27%,

bahkan penurunan kuat tarik lentur sebesar 20% menyebabkan penurunan daya dukung perkerasan sebesar 50%. Penurunan kuat tarik lentur sampai 45 %, menjadikan penurunan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas turun sampai 84%.



Gambar 3. Grafik kekuatan daya dukung perkerasan dengan mutu beton ( kuat tarik lentur)



Gambar 4. Grafik pengaruh % pengurangan mutu beton ( kuat tarik lentur ) terhadap daya dukung perkerasan

### 3.3.3 Pengaruh besar modulus reaksi tanah dasar terhadap daya dukung perkerasan dalam memikul beban lalu lintas

Modulus reaksi komposit "k" dipengaruhi oleh modulus of rupture tanah dasarnya sendiri serta lapisan pondasi yang digunakan pada perkerasan tersebut, walaupun lapisan pondasi itu bukan dimaksudkan untuk menaikkan kemampuan perkerasan secara keseluruhan namun lebih ditujukan untuk mendapatkan keseragaman daya dukung lapisan pondasi serta kemudahan pekerjaan.

Pengaruh "k" tersebut dapat dilihat pada Tabel 7, dimana penurunan nilai "k" dari 72 pci sampai 50 pci menurunkan kemampuan memikul lalu lintas dari 5.137.945 SAL menjadi 4.627.043 SAL, sedangkan kenaikan "k" dari 72 pci ke 90 pci, menaikkan daya dukung dari 5.137.945 SAL menjadi 5.408.279 SAL. Bila dilihat dari % penurunan atau kenaikan kumulatif beban lalu lintas yang dapat dipikul oleh perkerasan sebagai akibat dari penurunan atau kenaikan nilai "k" tersebut ialah, penurunan "k" sebesar 30% dan kenaikan " k" sebesar 25 % dari nilai "k" rencana hanya menurunkan dan menaikkan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas sebesar -7,00 % sampai + 5,3 % terhadap kemampuan rencana semula.

Hal ini menunjukkan perubahan yang cukup besar pada modulus reaksi komposit "k" tidak menyebabkan perubahan kemampuan yang begitu besar dari perkerasan dalam memikul beban lalu lintas, sebagaimana halnya pada perubahan tebal pelat maupun perubahan mutu betonya sendiri.

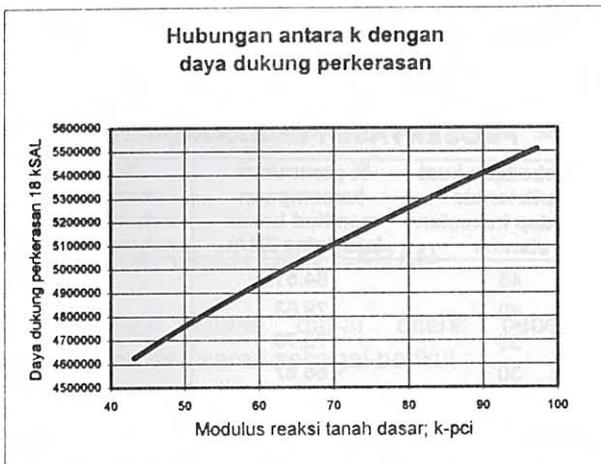
Tabel 7  
PENGARUH MODULUS REAKSI KOMPOSIT "K" TERHADAP KEMAMPUAN MEMIKUL BEBAN LALU LINTAS

| k,pci | 18 KSAL | k,pci | % perbedaan KSAL |
|-------|---------|-------|------------------|
| 43.2  | 4627043 | 43.2  | -9.94            |
| 46.8  | 4698567 | 46.8  | -8.55            |
| 50.4  | 4767391 | 50.4  | -7.21            |
| 54.0  | 4833829 | 54    | -5.92            |
| 57.6  | 4898138 | 57.6  | -4.67            |
| 61.2  | 4960533 | 61.2  | -3.45            |
| 64.8  | 5021199 | 64.8  | -2.27            |
| 68.4  | 5080291 | 68.4  | -1.12            |
| 72.0  | 5137945 | 72.0  | 0.00             |
| 75.6  | 5194277 | 75.6  | 1.10             |
| 79.2  | 5249391 | 79.2  | 2.17             |
| 82.8  | 5303377 | 82.8  | 3.22             |
| 86.4  | 5356316 | 86.4  | 4.25             |
| 90.0  | 5408279 | 90    | 5.26             |
| 93.6  | 5459330 | 93.6  | 6.26             |
| 97.2  | 5509527 | 97.2  | 7.23             |

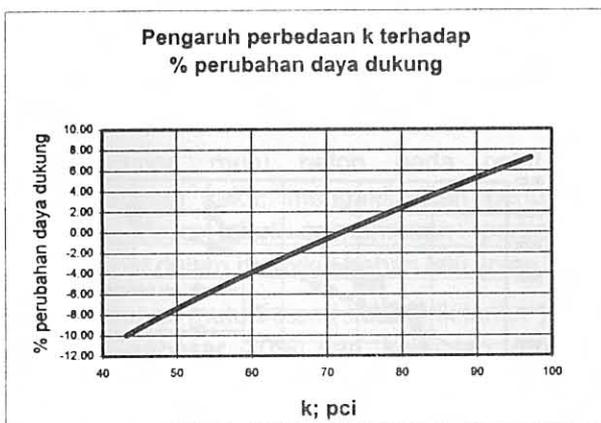
## IV. PENGARUH BESAR TOLERANSI PADA KINERJA PERKERASAN KAKU

### 4.1 Toleransi ketebalan pelat beton

Batas batas toleransi yang diterapkan pada suatu pekerjaan, dimaksudkan untuk memberikan sedikit kelonggaran dalam ketepatan pelaksanaan tanpa menimbulkan pengaruh yang berarti. Dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan termasuk didalamnya perkerasan beton semen ada beberapa toleransi yang umum diterapkan pada suatu proyek. Di Indonesia toleransi tersebut antara lain ialah kerataan permukaan pelat beton, ketebalan pelat beton dan mutu betonya sendiri.



Gambar 5. Hubungan antara “k” dengan daya dukung perkerasan



Gambar 6. Hubungan antara “k” dengan % penurunan atau kenaikan daya dukung perkerasan terhadap lalu lintas

Toleransi dari ketebalan pelat beton ini secara garis besar dapat dibedakan atas 3 (tiga) katagori.

1. Katagori yang pertama ialah bila kekurangan ketebalan pelat tidak lebih dari 5 mm,
2. Katagori kedua bila kekurangan ketebalan pelat antara 5 sampai 25 mm dan
3. Katagori ketiga bila kekurangan tebal pelat lebih dari 25 mm.

Katagori katagori tersebut diatas dikaitkan dengan pembayaran dan juga dengan pertimbangan teknis lainnya, khususnya untuk pelat dengan kekurangan tebalnya lebih dari 25 mm ( 1 inci ).

Pada katagori pertama pembayaran dilakukan secara penuh, sesuai dengan perjanjian yang tertera dalam harga satuan, namun untuk katagori dua pembayaran disesuaikan dengan kekurangan ketebalan yang terjadi sebagaimana terlihat pada Tabel 8 dibawah ini:

Tabel 8. Pembayaran harga satuan yang diakibatkan pengurangan ketebalan pelat beton

| Kekurangan ketebalan; mm - (inci) | Prosentase harga satuan kontrak yang dibayarkan |
|-----------------------------------|---|
| 0-5 mm ( 0 – 0,20 inci )          | 100 %   |
| 6-8 mm ( 0,24 – 0,31 inci )       | 80 %  |
| 9-10 mm ( 0,35 – 0,39 inci )      | 72 %  |
| 11-12 mm ( 0,43 – 0,47 inci )     | 68 %  |
| 13 – 19 mm ( 0,51 – 0,75 inci )   | 57 %  |
| 20 – 25 mm ( 0,79 – 1 inci )      | 50 %  |

Pada katagori ketiga yaitu bila kekurangan tebal pelat lebih dari 25 mm ( 1 inci ), maka perlu dilakukan penelitian khusus. Daerah tersebut mungkin dibongkar atau tidak, tergantung hasil pemeriksaan, tetapi untuk daerah itu tidak akan dilakukan pembayaran.

#### 4.2 Toleransi kekurangan kekuatan beton

Toleransi penurunan mutu beton juga diberikan pada pelaksanaan perkerasan kaku, dalam beberapa spesifikasi yang dipakai di Indonesia. Toleransi kekuatan beton masih akan disetujui bila nilai rata rata kekuatan dari empat hasil test yang berurutan, tidak lebih kecil dari 80% terhadap kekuatan rencananya. Bila mutu beton tidak kurang dari 80% kekuatan rencananya, maka akibat setiap pengurangan kekuatan akan dilakukan penyesuaian harga pembayaran sebagai berikut :

“untuk setiap 1% atau kurang dari kekurangan – kekuatan beton ( *concrete strength – deficiency* ), yang dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$100\% - \frac{\text{kekuatan sebenarnya}}{\text{kekuatan rencana}} \times 100$$

maka perkerasan beton yang demikian itu akan dibayar dengan pengurangan sebesar 2% dari harga satuan kontrak”.

Dengan kata lain untuk setiap 1% atau kurang dari kekurangan kekuatan terhadap kuat tarik lentur rencananya, pengurangan pembayaran akan dikenakan sebesar 2% dari harga satuan kontrak.

#### 4.2 Kaitan antara toleransi dengan prosentase pembayaran

Kaitan antara toleransi yang umumnya diberlakukan di Indonesia seperti disebutkan diatas dengan pengurangan kekuatan yang ditimbulkannya, akan memberikan hubungan seperti yang tertera pada Tabel 9.

Pengurangan ketebalan pelat beton sampai 2,5 cm atau 1 inci dari tebal rencana 9,73 inci, atau sekitar 10% nya, akan mengurangi kemampuan daya dukung pelat terhadap lalu lintas sampai sekitar 50

% nya. Selanjutnya pengurangan ketebalan pelat yang mencapai 2,5 cm akan mengalami pengurangan pembayaran sekitar 50% nya, sebagai mana yang diuraikan diatas.

Untuk pengurangan ketebalan pelat dibawah 2,5 cm, pengurangan kemampuan daya dukung perkerasan dalam memikul lalu lintas terhadap pengurangan pembayaran yang sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 9, akan memberikan prosentase pengurangan biaya yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan pengurangan kemampuan perkerasan tersebut sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 7.

Pengurangan kekuatan tarik lentur dari betonnya sendiri terhadap daya dukung perkerasan untuk lalu lintas, telah diuraikan didepan yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 10. Secara sederhana hubungan tersebut ialah untuk setiap prosen pengurangan kekuatan mutu beton, akan menyebabkan berkurangnya kemampuan memikul beban sebesar kurang lebih 2,9 % nya.

**Tabel 9.**  
**HUBUNGAN ANTARA PENGURANGAN TEBAL PELAT, % PENGURANGAN KEMAMPUAN PELAT MEMIKUL BEBAN SERTA % PENGURANGAN BIAYA PEMBAYARAN.**

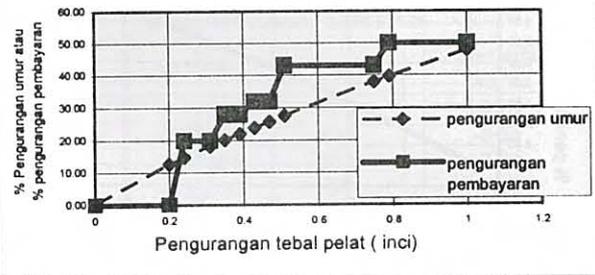
| Pengurangan ketebalan pelat; mm (incli) | Prosentase pengurangan ketebalan pelat | % Pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas | % Pengurangan pembayaran terhadap harga satuan kontrak |
|---|--|---|--|
| 0 (0)                                   | 0                                      | 0.00  | 0  |
| 5 (0.2)                                 | 2.055                                  | 12.76   | 0  |
| 6 (0.24)                                | 2.467                                  | 14.76   | 20   |
| 8 (0.31)                                | 3.186                                  | 18.20   | 20   |
| 9 (0.35)                                | 3.597                                  | 20.12   | 28   |
| 10 (0.39)                               | 4.008                                  | 22.03   | 28   |
| 11 (0.43)                               | 4.419                                  | 23.90   | 32   |
| 12 (0.47)                               | 4.830                                  | 25.75   | 32   |
| 13 (0.51)                               | 5.242                                  | 27.58   | 43   |
| 19 (0.75)                               | 7.708                                  | 37.98   | 43   |
| 20 (0.79)                               | 8.119                                  | 39.63   | 50   |
| 25 (1.0)                                | 10.277                                 | 47.84   | 50   |

Gambaran antara besar pengurangan kekuatan mutu beton terhadap pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas serta pengurangan pembayaran dapat dilihat pada Gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk setiap pengurangan mutu beton, menyebabkan prosentase pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas yang sedikit lebih besar dari pengurangan biaya yang dikenakan.

**Tabel 10.**  
**PROSENTASE PENURUNAN KUAT TARIK LENTUR BETON TERHADAP KEMAMPUAN MEMIKUL BEBAN LALU LINTAS DAN PROSENTASE PEMBAYARANYA**

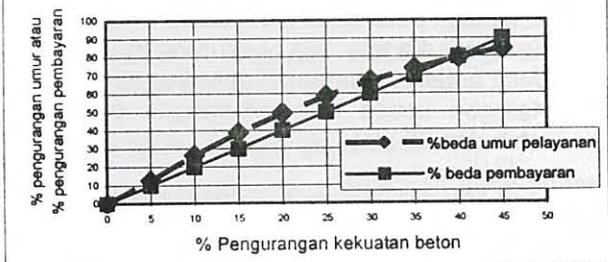
| % perbedaan kuat tarik lentur terhadap kekuatan standar | % penurunan kemampuan memikul beban lalu lintas ESAL | % beda pembayaran terhadap harga satuan kontrak |
|---|--|---|
| 45  | 84.51  | 90  |
| 40  | 79.63  | 80  |
| 35  | 73.79  | 70  |
| 30  | 66.87  | 60  |
| 25  | 58.79  | 50  |
| 20  | 49.44  | 40  |
| 15  | 38.70  | 30  |
| 10  | 26.49  | 20  |
| 5   | 12.68  | 10  |
| 0   | 0.00   | 0   |

**Pengaruh kekurangan tebal pelat terhadap % pengurangan umur pelayanan serta pengurangan pembayaran**



**Gambar 7.** Hubungan antara % pengurangan ketebalan pelat beton terhadap % kemampuan daya dukung perkerasan dan % pembayaran

**Hubungan antara % pengurangan kekuatan beton terhadap pengurangan umur pelayanan dan pengurangan pembayaran**



**Gambar 8.** Hubungan antara % pengurangan kekuatan mutu beton terhadap % pengurangan kemampuan daya dukung perkerasan dan % pembayaran.

Pengurangan kemampuan memikul beban akibat penurunan mutu maksimum yang ditolelir sebesar 20% ialah sekitar 50 %, dan pengurangan pembayarannya sebesar 40% dari harga satuan kontrak.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Pengurangan ketebalan pelat dari ketebalan rencana, mempunyai pengaruh yang besar terhadap penurunan kemampuan memikul beban lalu lintas pada perkerasan kaku.
2. Pengurangan ketebalan pelat sampai 25 mm dari ketebalan yang seharusnya 25 cm, menyebabkan penurunan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas atau umur pelayanan sampai sekitar setengahnya.
3. Penurunan mutu beton pada pelat dari perkerasan kaku, mengakibatkan penurunan yang besar dari kemampuan perkerasan tersebut dalam memikul beban lalu lintas.
4. Penurunan mutu beton ( kuat tarik lentur ) pada pelat sebesar 20% dari kekuatan rencana, menyebabkan penurunan masa pelayanan perkerasan sampai sekitar setengahnya.
5. Perubahan besar reaksi modulus komposit (k) dari tanah dasar dan lapis pondasi pada perkerasan kaku, mengakibatkan perubahan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas yang tidak besar.

## Saran

1. Perlu dilakukan pengkajian ekonomi terhadap besaran toleransi kekurangan maksimum ketebalan pelat sampai 25 mm dengan pengurangan pembayaran sebesar 50% dari harga satuan kontrak, dikarenakan pengurangan umur perkerasannya mencapai sekitar setengahnya.
2. Perlu pengkajian ekonomi terhadap besaran pengurangan mutu pelat beton sampai 20% dari mutu rencana dengan pengurangan pembayaran sebesar 40% dari harga satuan kontrak, karena pengurangan umur perkerasan mencapai sekitar setengahnya.

## Daftar Pustaka

1. AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures; 1993.
2. Annas Ally, Mohamad Ir; Visualisasi konstruksi perkerasan jalan berbasis semen.2001.
3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Kimpraswil; Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen; 2003.
4. Spesifikasi khusus; Seksi 7.16; Perkerasan Beton Semen Portland; Lintas Timur Sumatera. Dit Jen Praswil; Departemen Kimpraswil.
5. Spesifikasi Pembangunan jalan Toll, Jasa Marga.

## Penulis :

*DR. Ir. Furqon Affandi, MSc. Ahli Peneliti Madya, serta kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.*