

PEMODELAN PENURUNAN KONDISI PERKERASAN KAKU DI INDONESIA

K A Zamhari

RINGKASAN

Suatu model perkerasan diturunkan dari pengamatan terhadap kinerja sejumlah perkerasan jenis tertentu pada kondisi tertentu pula. Dengan demikian pemanfaatannya dibatasi oleh domain pangkalan data yang menjadi dasar pengembangannya. Oleh sebab itu model-model yang dikembangkan di luar negeri tidak dapat begitu saja diadopsi untuk kondisi Indonesia. Makalah ini menyajikan pemodelan perkerasan kaku di Indonesia. Model diturunkan dari pengamatan selama tiga tahun berturut-turut terhadap perkerasan beton semen dari enam ruas jalan. Pemodelan mencakup kerataan permukaan dan retak yang merupakan dua bentuk kerusakan perkerasan kaku yang paling dominan di Indonesia.

SUMMARY

Various models were developed for predicting rigid pavement performance. Those models presented the effect of various factors on rigid pavement performance. In practice, however, their usefulness may be limited by the scope of database that was used in their development. Therefore, models developed outside Indonesia cannot be adopted straight away. This paper presents development of deterioration models of rigid pavement in Indonesia. The database was developed after a three-year observation of rigid pavement performance at six difference locations. The models cover pavement roughness and cracks; both are distress types commonly found on rigid pavement in Indonesia.

I. PENDAHULUAN

Perkerasan kaku memerlukan investasi awal yang lebih besar daripada perkerasan lentur. Analisis pada ruas jalan Warung Buncit – Lingkar DKI menunjukkan bahwa untuk disain masa pelayanan yang sama biaya awal permeter persegi perkerasan kaku kira-kira 60% lebih tinggi daripada biaya awal perkerasan lentur. Akan tetapi bila biaya pemeliharaan diperhitungkan maka biaya total permeter persegi perkerasan kaku lebih murah 27% daripada perkerasan lentur (Aly dan Marbun, 1992). Dengan demikian perkerasan kaku dapat menjadi alternatif yang kompetitif sehingga panjang jalan dengan perkerasan kaku bertambah dari tahun ke tahun. Namun demikian, perkembangannya tidak sepesat perkembangan perkerasan lentur karena kendala berupa biaya investasi awal yang tinggi.

Pada analisis tersebut di atas diasumsikan bahwa semua aspek rekayasa perkerasan kaku seperti perencanaan, pelaksanaan konstruksi, dan pemeliharaan dilakukan secara efektif. Atau dengan lain perkataan diperlukan sistem pengelolaan yang efisien agar perkerasan kaku dapat bersaing dengan perkerasan lentur.

Penelitian kinerja perkerasan kaku diperlukan untuk mengembangkan model penurunan kondisi perkerasan kaku berdasarkan kinerja jalan beton di

Indonesia. Model yang dihasilkan dapat menjadi masukan (*input*) dalam pengembangan sistem pengelolaan perkerasan kaku (*Rigid Pavement Management System*), dan menjadi dasar bagi studi lainnya mengenai perkerasan kaku di Indonesia. Dengan model tersebut diharapkan kondisi perkerasan kaku dari waktu ke waktu dapat diramalkan dengan ketepatan yang memadai. Dengan demikian pengelola atau pembina jalan yang bersangkutan dapat memutuskan langkah penanganan yang sesuai pada waktu yang tepat sehingga setiap bentuk investasi, baik berupa biaya awal maupun biaya pemeliharaan, menjadi optimal.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Jenis perkerasan kaku di Indonesia

Dengan berbagai pertimbangan, Indonesia hanya menerapkan perkerasan beton tanpa tulangan dengan sambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement* atau *JPCP*). Tebal perkerasan kaku di Indonesia berkisar antara 200 mm hingga 270 mm. Generasi pertama perkerasan kaku di Indonesia yang dibangun pada akhir tahun delapanpuluhan, umumnya direncanakan dengan ketebalan 270 mm.

Mutu beton pelat umumnya K-350. Perkerasan kaku dibangun di atas lapis agregat (*subbase*) akan tetapi

di atas lapis ini dihampar pula lantai kerja dari beton dengan tebal rata-rata 100 mm. Penyaluran beban melalui sambungan melintang pada perkerasan kaku di Indonesia umumnya dilakukan dengan *dowel*.

Masalah utama yang dihadapi pembina jaringan jalan pada generasi pertama perkerasan kaku di Indonesia adalah permukaan yang licin akibat penurunan kedalaman tekstur permukaan yang terjadi dalam waktu yang relatif singkat.

2.2 Pengaruh lingkungan terhadap kinerja perkerasan kaku

Lingkungan sangat berpengaruh pada kinerja perkerasan kaku. Akumulasi rembesan air hujan (melalui *joint*) di bawah pelat dapat mengakibatkan *pumping*. Bila air yang terpompa membawa pula partikel halus tanah dasar atau lapis fondasi maka daya dukung di bawah sambungan akan hilang karena hilangnya sebagian tumpuan. Hilangnya daya dukung di bawah pelat dapat menyebabkan terjadinya retak sudut.

Suhu berpengaruh langsung pada perkerasan kaku karena kembang susut pelat beton yang diakibatkannya. Pengaruh suhu, terutama perbedaan suhu di atas dan di bawah pelat akan menimbulkan lenting (*curling and warping*). Tegangan berlebihan yang ditimbulkan oleh efek lenting pada usia beton muda dapat mengakibatkan terjadinya retak yang tidak berkaitan dengan lalu lintas. Pengaruh lenting yang mengakibatkan retak dini pada perkerasan kaku dapat dilihat pada pengamatan pada ruas jalan Tangerang – Merak (Zamhari et al 1997).

2.3. Model-model penurunan kondisi perkerasan kaku

Perkerasan jalan adalah suatu sistem yang kompleks. Banyak usaha telah dilakukan untuk mendapatkan model penurunan perkerasan secara deterministik namun sejauh ini umumnya usaha-usaha tersebut belum dapat dikatakan berhasil. Oleh sebab itu model-model perkerasan umumnya diturunkan secara empirikal berdasarkan pengamatan jangka panjang yang terus menerus. Dari hasil pengamatan tersebut diturunkan formulasi matematis dengan menggunakan analisa regresi.

Model kondisi perkerasan kaku yang pertama dikenal adalah model yang dikembangkan dari AASHO Road test (1962). Model tersebut menunjukkan kondisi perkerasan kaku yang dinyatakan dalam suatu angka yang mencerminkan kondisi fisik perkerasan kaku yang bersangkutan pada saat observasi dilakukan.

$$PSI = 5.41 - 1.78 \log (1 + SV) - 0.09 \sqrt{c} + p \quad (1)$$

Dengan memasukkan besaran Roughness Index persamaan tersebut menjadi :

$$PSI = 5.41 - 1.81 \log (0.4R - 333) - 0.99 \sqrt{c} + p \quad (2)$$

Dengan,

PSI	: Present Serviceability Index
c	: linear feet of major cracking per 1000 ft ² area
p	: bituminous patching in ft ² patching per 1000 ft ² area

Manfaat dari model AASHO dalam manajemen perkerasan kaku sangat terbatas terutama karena tidak mengandung unsur prediktif.

Usaha untuk mendapatkan model yang lebih baik dilakukan oleh NCHRP pada tahun delapan puluhan. Skala nasional dari proyek NCHRP ini menghasilkan suatu model nasional Amerika Serikat (AS) untuk perkerasan kaku. Produk dari proyek ini adalah suatu sistem evaluasi perkerasan kaku yang dikenal sebagai COPEs (*Concrete Road Pavement Evaluation System*) (Darter et al, 1985).

COPEs diturunkan berdasarkan data yang dikumpulkan dari 418 seksi yang seragam dari jaringan jalan beton sepanjang 1305 miles yang meliputi jalan antar negara bagian AS yang memikul beban lalu lintas berat.

Bentuk umum dari model yang dikembangkan melalui proyek NCHRP ini adalah sbb.:

$$Distress = (traffic\ or\ age)^a (b\ Design^c + d\ Subgrade^e + f\ Climate^g + h\ Materials^i) \quad (3)$$

Dengan a, b, c, d, e, f, g, h, dan i sebagai konstanta yang diturunkan dari analisa regresi, sedangkan traffic atau age, design, subgrade, climate dan materials merupakan variabel-variabel utama.

Versi COPEs untuk model nasional AS bagi perkerasan kaku jenis JPCP meliputi model untuk joint faulting, pumping, joint deterioration, slab cracking, dan present serviceability rating. Sebagai ilustrasi, model untuk dua jenis kerusakan terakhir ditunjukkan dalam persamaan (4) dan (5) berikut ini :

$$CRACKS = ESAL\ 2.755\ [3092.4\ (1 - SOILCRS)\ RATIO\ 10.0 + ESAL^{0.5}\ (1.233\ TRANGE^{2.0}\ RATIO^{2.868})] \quad (4)$$

CRACKS : total length of cracking of all severities, ft/linear mile;

RATIO : Westergaard's edge stress/modulus of rupture;

TRANGE : difference between average maximum temperature in July and average minimum temperature in January;

$$PSR = 4.356 - 0.0182\ TFAULT - 0.00313\ SPALL - 0.00162\ TCRKS - 0.00317\ FDR \quad (5)$$

TFAULT : cumulative transverse joint faulting in inches per mile;

SPALL : number of deteriorated joints (medium and high severity)
 TRCKS : number of transverse cracks (all severity) per mile;
 FDR : number of full-depth repair per mile;

Review terhadap model COPES dilakukan oleh ERES Inc. (Huang 1993) karena penerapan model-model tersebut pada 95 seksi perkerasan kaku yang mereka observasi ternyata kurang berhasil. Dengan mengintegrasikan data dari kesembilanpuluhlima seksi pengamatan mereka ke dalam data COPES maka ERES Inc. memperoleh model-model yang akan ditunjukkan pada paragraf berikut ini. Sesuai kebutuhan studi maka hanya model-model untuk JPCP yang ditampilkan.

$$PSR = 4.356 - 0.0182 TFAULT - 0.00313 SPALL - 0.00162 TCRKS - 0.00317 FDR \quad (6)$$

$R^2 : 0.58$
 $SEE : 0.31$

$$FAULT = ESAL^{0.528} [0.1204 + 0.04048 (BSTRESS/1000)^{0.3388} - 0.007353 x (AVJSPACE/10)^{0.6725} - 0.1492 (KSTAT/100)^{0.05911} - 0.01868 DRAIN - 0.00879 EDGESUP - 0.00959 STYPE] \quad (7)$$

$R^2 : 0.67$
 $SEE : 0.31$

FAULT : mean transverse joint faulting in inches;
 BSTRESS : maximum concrete bearing stress in psi where wheel load of 40 kN is distributed over a length of l (radius of relative stiffness) and 45% of the load is transferred through the joint;
 AVGSPACE : average transverse joint spacing in ft.;
 KSTAT : effective modulus of subgrade reaction on top of base in pci;
 DRAIN : index for drainage condition, 0 without and 1 with edge drain;
 STYPE : index for AASHTO subgrade soil classification, 0 for A-4 to A-7 and 1 for A-1 to A-3.

$$JTSPALL = AGE^{2.178} [0.0221 + 0.5494 dcrack - 0.0135 LIQSEAL - 0.0419 PREFSEAL + 0.0000362 FI] \quad (8)$$

$R^2 : 0.59$
 $SEE : 15$

JTSPALL : number of medium and highseverity spall per mile;
 DCRACK : 0 with no "D" cracking and 1 with "D" cracking;
 LIQSEAL : 0 if no liquid sealant exist in joint and 1 if liquid sealant exist in joint;

PREFSEAL : 0 if no preformed compression seal exist and 1 if preformed compression seal exists.

Selain ketiga model tersebut di atas terdapat pula model lain seperti yang dikembangkan di Purdue yang dikenal sebagai PEARDARP (Purdue Economic Analysis of Rehabilitation and Design Alternative for Rigid Pavements) (van Wiji, 1985).

III. METODOLOGI

3.1 Pangkalan data

Jaringan ruas jalan dengan perkerasan kaku yang menjadi objek penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Ruas jalan tol Tangerang – Merak
2. Ruas jalan tol Cawang –Semanggi
3. Ruas jalan tol Padalarang - Cileunyi
4. Ruas jalan tol Kampung Rambutan – Fatmawati, Jakarta
5. Jalan Cakung – Periok, Jakarta
6. Jalan Ronggowarsito Utara, Semarang.

Panjang total ruas pengamatan lebih kurang 260 kilometer.

Data sekunder berupa data curah hujan dan suhu udara diperoleh Badan Meteorologi dan Geofisika. Data sekunder berupa data *inventory* sulit didapat. *As-built-drawing* lebih menyerupai gambar rencana sehingga informasi yang diperoleh tidak selengkap yang diharapkan; sedangkan catatan mengenai pengendalian mutu pelaksanaan tidak dapat diperoleh.

Penilaian kondisi meliputi kondisi fungsional dan kondisi struktural. Kondisi fungsional meliputi kerataan (IRI, *bounce*, dan *rolling*), kekesatan, dan kedalaman tekstur. Penilaian kondisi kerataan dilakukan dengan alat ViewRecon. Kondisi struktural dinyatakan dalam intensitas retak dan lendutan pada permukaan yang diukur dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD). Pengukuran dengan alat ini memungkinkan perhitungan besaran-besaran seperti modulus kekakuan pelat beton dan modulus reaksi tanah dasar. Perhitungan tersebut dilakukan dengan cara *back calculation* menggunakan program *Elcon*.

Sistem dasar dari evaluasi kondisi perkerasan yang diterapkan dalam penelitian ini terdiri dari tiga unsur utama yaitu pengumpulan data, pangkalan data dan evaluasi.

Data yang akan dikumpulkan dapat dikelompokkan sebagai :

- Data *inventory* seperti lokasi, perencanaan (struktur perkerasan dan geometrik jalan), bahan, pelaksanaan, lalu lintas, cuaca dan suhu.
- Data kondisi seperti tingkat pelayanan (kerataan dan kekesatan permukaan) dan kerusakan (*distress*).

Untuk mengefisienkan pengamatan, ruas-ruas jalan dikelompokkan dalam seksi-seksi yang seragam. Kriteria keseragaman seksi-seksi pengamatan didasarkan pada keseragaman karakteristik sebagai berikut:

- Disain struktur
- Disain sambungan
- Lalulintas truk
- Jumlah lajur
- Kondisi tanah dasar
- Kontraktor pelaksana
- Tahun pembukaan untuk lalulintas
- Bahan perkerasan
- Jenis umum kerusakan
- Tingkat penanganan pemeliharaan

Data pengamatan diambil sebanyak 20% dari total populasi (panjang seksi yang seragam) atau 200 meter untuk tiap satu kilometer panjang ruas yang diamati. Untuk memudahkan, penetapan unit yang seragam dilakukan dari persimpangan ke persimpangan. Hal ini dimungkinkan karena kondisi perkerasan kaku dari tiap-tiap ruas relatif seragam.

3.2 Pemodelan

Model penurunan kondisi perkerasan kaku diturunkan berdasarkan analisa regresi dalam dua tahap. Tahap pertama dilakukan *multiple linear regression analysis* untuk melihat peubah bebas (*independent variables*) yang mempengaruhi peubah tak bebas yang diamati. Peubah bebas yang kecil pengaruhnya terhadap peubah tak bebas dikeluarkan dari persamaan.

Tahap kedua dilakukan dengan analisa regresi nonlinear untuk mendapatkan koefisien-koefisien dan eksponen dari model akhir. Analisa regresi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak NONLIN yaitu program khusus analisa regresi non linear (Sherrod, 1994).

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi umum perkerasan kaku

Dari hasil pengamatan sebelumnya dan gambaran yang ditunjukkan dari keluaran ViewRecon jenis *distress* yang paling umum dialami perkerasan kaku di Indonesia adalah retak-retak, dan aus (pendangkalan kedalaman tekstur). Adanya bagian yang mengalami penurunan telah dilaporkan. Penurunan umumnya disebabkan penurunan timbunan (badan jalan). Untuk memperbaiki kenyamanan dan keselamatan, bagian perkerasan yang mengalami penurunan tersebut dilapis aspal (Padaleunyi dan Tangerang-Merak). Pendangkalan kedalaman tekstur terutama pada awal masa pelayanan dialami jalur Cawang - Semanggi. Jenis retak yang ditemui adalah retak rambut, retak memanjang dan melintang. Retak relatif lebih intens pada ruas Tangerang - Merak.

Retak rambut yang nampak pada tengah-tengah

pelat diperkirakan bermula dari retak susut plastis yang terjadi pada saat pelaksanaan. Retak memanjang yang terjadi pada Tangerang-Merak diperkirakan erat kaitannya dengan metoda pelaksanaan dan kondisi lingkungan setempat (khususnya temperatur) yang secara bersama-sama menyebabkan *curling* pada pelat.

4.2 Pengaruh musim terhadap pengukuran lendutan

Pengaruh musim terhadap lendutan permukaan pelat beton perkerasan kaku dipelajari pada ruas jalan tol Padalarang Cileunyi. Pengukuran dilakukan pada titik-titik yang sama dengan ketelitian lokasi yang diusahakan seakurat mungkin. Secara visual terlihat bahwa terdapat perbedaan hasil pengukuran lendutan pada kedua kondisi tersebut.

Dihipotesakan bahwa pengukuran pada musim hujan akan memberikan lendutan yang lebih besar. Hasil yang diperoleh dari pengukuran pada lajur Padalarang - Cileunyi mendukung hipotesa tersebut. Perolehan ini memberikan petunjuk perlunya pendalaman lebih lanjut untuk mencari faktor koreksi musim terhadap hasil pengukuran lendutan perkerasan kaku.

4.3 Pemodelan penurunan kondisi perkerasan kaku

Pada bagaian lain dari makalah ini telah dikaji berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja perkerasan kaku. Faktor-faktor tersebut antara lain meliputi jenis dan daya dukung tanah dasar, tebal pelat, mutu beton, dan elemen-elemen disain lainnya.

Baik NCHRP (COPES) maupun ERES Inc memperhitungkan PSR, yang merupakan kuantifikasi rating kondisi perkerasan kaku, sebagai hal yang perlu dimodelkan. Walaupun ERES pada mulanya meninjau semua model yang dikembangkan melalui COPES namun hanya empat jenis *distress* JPCP yang mereka anggap penting. Tiga diantaranya dikutip pada butir 3 di atas. Model yang keempat menyangkut faulting pada joint tanpa *dowel* tidak relevan dengan kondisi Indonesia. Kedua studi tersebut juga melihat kerusakan pada joint sebagai hal yang penting sehingga perlu dimodelkan.

Penting untuk dicatat bahwa perkerasan yang menjadi obyek penelitian NCHRP dan ERES adalah perkerasan yang rentang umurnya antara lima hingga 40 tahun lebih. Domain variabel rencana dan faktor-faktor seperti tebal pelat, jenis fondasi, iklim, dan kondisi yang dihadapi jauh lebih beragam daripada kondisi jaringan jalan beton di Indonesia.

Jaringan jalan beton di Indonesia relatif lebih muda (kurang dari 15 tahun) sehingga kondisi strukturnya relatif masih baik. Kerusakan pada *joint* yang ada masih berada pada tahap sangat awal yang menurut kedua sumber tadi masih belum cukup signifikan untuk perlu diperhitungkan sebagai *distress*.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, dicoba untuk menurunkan model-model penurunan kondisi perkerasan kaku di Indonesia berdasarkan data yang

telah terkumpul selama tiga tahun terakhir ini. Walaupun model-model yang ada dijadikan rujukan namun penyesuaian-penyesuaian seperlunya juga dilakukan berdasarkan kondisi lokal.

Berdasarkan rujukan yang ada, tingkat kerataan permukaan (*roughness*) dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti beban lalu lintas (ESA), beda temperatur, daya dukung tanah dasar, tebal pelat, efisiensi penyaluran beban pada sambungan, mutu beton, dan crack atau retak. Faktor penting lain seperti *faulting* tidak ditemui pada perkerasan kaku yang diamati. Dengan demikian *roughness* yang dinyatakan dalam IRI seyogyanya dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

$$IRI = n + a ESA^b + c LT^d + e DIF^f + g k^h + i TB^j + o TEM^m + p CRACK^q \quad (9)$$

Sedangkan retak atau *crack* dipengaruhi oleh beda temperatur pada permukaan dan dasar pelat, metoda pelaksanaan, efisiensi penyaluran beban dan perbedaan lendutan pada sambungan, dan daya dukung tanah dasar sehingga bentuk umum hubungan antara *crack* dan variabel kondisi perkerasan kaku secara umum dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$CRACK = a ESA^b + c LT^d + e DIF^f + g k^h + i TEM^h \quad (10)$$

Dengan,

- IRI = International Roughness Index
- CRACK = jumlah retak (%) luas
- TB = tebal pelat perkerasan
- k = modulus reaksi tanah dasar pada sudut pelat beton
- ESA = akumulasi beban gandar standar
- DIF = perbedaan lendutan antara pelat yang dibebani dan yang tidak dibebani
- LT = faktor transfer beban pada sudut/sambungan
- TEM = suhu udara maksimum

Setelah melakukan beberapa analisis dengan berbagai bentuk model persamaan, berikut ini disajikan dan dievaluasi beberapa kandidat model. Analisis yang disajikan merupakan luaran dari program NONLIN.

Model IRI

1 : MODEL IRI (TRIAL 3)

2 : Variables k, DIF, LT, CRACK, IRI, ESA, TEM, TB;

3 : Parameters a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, o, m, n;

$$4 : \text{Function } IRI = a ESA^b + e DIF^f + g k^h + i TB^j + o TEM^m \quad (11)$$

Final Results

Number of observations	=	22
Standard error of estimate	=	0.425
Average deviation	=	0.233

Maximum deviation for any observation	=	0.879
Proportion of variance explained (R^2)	=	0.94
Adjusted coefficient of multiple-determination (R_a^2)	=	0.91

Tabel 1
DESCRIPTIVE STATISTICS FOR VARIABLES

Variable	Minimum value	Maximum value	Mean value	Standard dev.
k	14.03	118.30	50.44	28.19
DIF	4.49	484.00	85.59	126.28
LT	40.00	98.00	87.59	15.22
CRACK	1.00	15.00	3.03	3.27
IRI	0.90	5.60	2.12	1.42
ESA	0.00	14.00	4.076	4.60
TEM	29.00	32.50	30.45	1.66
TB	20.00	27.00	26.04	2.46

Tabel 2
CALCULATED PARAMETER VALUES

Parameter	Final estimate
a	-4.026
b	0.0155
c	-0.158
d	0.756
i	-0.161
j	1.131
o	1.130
m	0.437
n	11.998

Table 3
ANALYSIS OF VARIANCE

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Prob (F)
Regression	8	40.242	5.030	27.80	0.00001
Error	13	2.352	0.181		
Total	21	42.594			

Seperti terlihat pada percobaan di atas, dengan memasukkan variabel-variabel beban lalu lintas, efektifitas transfer beban pada sambungan, tebal pelat dan temperatur maksimum rata-rata tahunan, maka IRI dapat dimodelkan dengan *coefficient of multiple determination* atau R^2 , yang cukup tinggi (94.48%).

Namun demikian terdapat anomali dalam hal konstanta untuk variabel beban lalu lintas (ESA) dengan apa yang secara logika seharusnya terjadi. Seperti terlihat parameter a berharga negatif (-). Hal ini akan berarti bahwa ESA yang semakin tinggi akan memberikan IRI yang lebih rendah.

Hal yang sama juga terjadi dengan variabel-variabel lain seperti perbedaan lendutan pada sambungan. Oleh sebab itu dicoba beberapa model alternatif dengan menghilangkan faktor-faktor yang bertentangan tersebut dengan hasil sebagai berikut :

1 : MODEL IRI (TRIAL 12)

2 : Variables k, DIF, LT, CRACK, IRI, ESA, TEM, TB;

3 : Parameters a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, o, m, n;

4 : $Function\ IRI = n + c\ LT^d + g\ k^h + i\ TB^j \quad (12)$

Final Results

Number of observations	= 22
Standard error of estimate	= 0.595
Average deviation	= 0.363
Maximum deviation for any observation	= 1.34725
Proportion of variance explained (R^2)	= 0.8753
Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2)	= 0.8254

Tabel 4
CALCULATED PARAMETER VALUES

Parameter	Final estimate
c	-0.224
d	717
g	5.274E-009
h	4.236
i	-0.932
J	0.779
n	19.070

Tabel 5
ANALYSIS OF VARIANCE

Source	D F	Sum of Squares	Mean Square	F value	Prob(F)
Regression	6	37.283	6.214	17.550	0.00001
Error	15	5.311	0.354		
Total	21	42.594			

Model IRI (persamaan 12) menunjukkan bahwa :

- transfer beban yang baik pada sambungan akan menghasilkan IRI yang lebih kecil;
- semakin tebal pelat akan semakin kecil IRI;
- walaupun pengaruh modulus reaksi tanah dasar terhadap IRI nampak kontradiktif akan tetapi dilihat dari besar parameter g di atas jelas bahwa pengaruh tersebut sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Model untuk retak (crack):

1 : MODEL CRACK (TRIAL-2)

2 : Variables k, DIF, LT, CRACK, IRI, ESA, TEM, TB;

3 : Parameters a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, o, m, n;

4 : $Function\ CRACK = a\ ESA^b + c\ LT^d + g\ k^h + i\ TB^j + o \cdot TEM^m \quad (13)$

5 : data "MODEL1.dat";

Final Results

Number of observations	= 22
Standard error of estimate	= 3.06087
Average deviation	= 1.20615
Maximum deviation for any observation	= 7.80786
Proportion of variance explained (R^2)	= 0.5005

Tabel 6
CALCULATED PARAMETER VALUES

Parameter	Final estimate
a	4.493
b	-0.041
c	0.309
d	0.615
g	-20.606
h	-0.006
i	-96.477
j	-0.379
o	0.756
m	1.176

Table 7
ANALYSIS OF VARIANCE

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Prob(F)
Regression	9	112.6558	12.51731	1.34	0.31349
Error	12	112.4269	9.36891		
Total	21	225.0827			

Model crack yang ditunjukkan sebagai persamaan 13 mengindikasikan bahwa retak akan meningkat sejalan dengan pertumbuhan beban lalu lintas. Ditunjukkan pula bahwa tebal pelat, suhu udara, dan efisiensi transfer beban secara signifikan mempengaruhi intensitas retak.

Ada beberapa kemungkinan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki model untuk retak ini. Salah satunya adalah dengan memperinci jenis retak. Kemungkinan lain adalah dengan memasukkan perbedaan suhu maksimum dan minimum dari permukaan dan dasar pelat. Untuk itu, kedua faktor tersebut harus dimasukkan dalam program pengumpulan data observasi tahun-tahun mendatang.

Jenis kerusakan ketiga yang ingin dimodelkan adalah kecepatan penurunan kedalaman tekstur permukaan. Sejauh ini hasil yang diperoleh masih belum memuaskan. Dalam hal ini, selain faktor lalulintas faktor mutu permukaan beton sangat menentukan. Upaya pengukuran mutu permukaan beton belum dapat dilakukan karena alat yang dibuat untuk itu belum operasional. Karakteristik kekuatan beton yang dinyatakan dalam kuat tekan tidak secara langsung menentukan kecepatan abrasi.

Disamping itu seluruh pelat beton perkerasan kaku yang diobservasi tercatat mempunyai kuat karakteristik yang seragam sehingga faktor mutu beton tidak mungkin diperlakukan sebagai variabel model.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sejauh ini disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Beberapa kandidat model penurunan kondisi telah dibahas. Kekasaran atau roughness dinyatakan dalam IRI dapat dimodelkan berdasarkan data yang dikumpulkan selama ini. Secara statistik proporsi varian yang diterangkan (R^2) cukup tinggi. Namun diperlukan analisa lebih lanjut untuk menjelaskan beberapa anomali dari model-model sebelumnya. Keterbatasan data akibat terbatasnya variasi perkerasan kaku di Indonesia mungkin merupakan salah satu penyebab kesulitan dalam pemodelan.
- Untuk memodelkan retak pada perkerasan kaku masih diperlukan rincian data retak. Hal ini dimungkinkan karena pengumpulan data mulai tahun 1997 dilakukan dalam bentuk rekaman video (ViewRecon).
- Diperlukan alat pengukur kecepatan abrasi permukaan perkerasan beton untuk pemodelan kecepatan penurunan kedalam retak.
- Data mutu bahan, disain, dan pelaksanaan dari hampir semua objek observasi dalam studi ini umumnya tidak tercatat dengan baik. Hal ini merupakan kendala utama dalam akurasi pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aly A dan D Marbun 1992, "Life Cycle Cost of Rigid Pavement vs Flexible Pavement", The training course on rigid pavement for tropical countries, IRE Bandung.
- Darter, M.I., J.M. Becker, M.B. Snyder, R.E. Smith, 1985. "Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System (COPES)," NCHRP Report 277.
- Huang, Y.H., 1993. "Pavement Analysis and Design," Prentice-Hall International.
- Sherrod, P.H., 1994. "NONLIN, Nonlinear Regression Analysis Program."
- Van Wiji, A. J., 1985. "Purdue Economic Analysis of Rehabilitation and Design Alternatives for Rigid Pavement: A user manual for PEARDAP", FHWA Report.
- Zamhari, K.A., Mintarjo, Suhaili, M. 1997. "Retak Dini Pada Perkerasan Jalan Tol Tangerang Merak", Proceeding, Konferensi Regional Teknik Jalan ke-5 Wilayah Tengah dan Wilayah Timur, pp 577-588. Yogyakarta, 22 – 24 September 1997.

Penulis :

DR. Ir. KA. Zamhari, Msc, Peneliti dan Pemimpin KBK Bahan dan Perkerasan Jalan pada Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan Dept. Permukiman dan Pengembangan Wilayah.