

ANALISIS DOWEL SEBAGAI PENYALUR BEBAN PADA PERKERASAN JALAN BETON (ANALYSIS OF DOWEL AS LOAD TRANSFER IN CONCRETE PAVEMENT)

Furqon Affandi¹ ; Ida Rumkita²

^{1),2)} Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl A.H Nasution 264 Bandung 40294

E mail : ¹⁾ furqon_affandi@yahoo.com; ²⁾ ida_rumkita@yahoo.com
Diterima: 10 Oktober 2013; direvisi: 21 Oktober 2013; disetujui: 02 Desember 2013

ABSTRAK

Perkerasan jalan beton di Indonesia dimulai tahun 1985 dan penggunaannya terus berkembang, walaupun jumlahnya sampai saat ini baru sekitar 2,55% dari panjang jalan nasional termasuk jalan toll. Jenis perkerasan beton yang paling umum dipergunakan di Indonesia ialah perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, dimana salah satu bagian yang penting ialah dowel sebagai penyalur beban pada sambungan antara pelat yang satu ke pelat yang berikutnya, karena bila ini tidak dirancang dan dilaksanakan dengan baik akan menimbulkan kerusakan berupa faulting, pumping, dan retak. Tulisan ini menganalisa pengaruh perubahan besaran parameter kekuatan tanah dasar, lapisan pondasi, mutu beton, ukuran dan jarak dowel, beban roda serta lebar bukaan sambungan akibat pelaksanaan lapangan atau keterbatasan kesediaan bahan dari rancangan semula, terhadap tegangan yang bekerja maupun tegangan ijin pada perkerasan tersebut. Metode yang digunakan ialah kajian analisis sensitivitas tegangan kerja, kuat tekan ijin beton disekitar dowel, faktor keamanan sambungan melalui perhitungan gaya, akibat perubahan parameter parameter tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan ukuran diameter dowel mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap tegangan kerja, tegangan ijin dan juga terhadap faktor keamanannya. Ukuran dowel yang lebih kecil dari 1,07 inci akan mengakibatkan konstruksi sambungan menjadi tidak aman. Kuat tekan beton yang lebih kecil dari 4000 psi akan menyebabkan sambungan tidak aman karena tegangan kerjanya lebih besar dari tegangan ijin. Lebar bukaan sambungan yang besarnya lebih dari 1,25 inci akan memberikan faktor keamanan yang lebih kecil dari satu. Peningkatan beban roda yang lebih besar dari 20500 lbs akan menyebabkan tegangan kerjanya lebih besar dari tegangan ijin, sehingga sambungan menjadi tidak aman. Perubahan nilai daya dukung tanah atau CBR sangat kecil terhadap tegangan kerja dan masih jauh dibawah dari tegangan ijin, sehingga pengaruh terhadap faktor keamanan sambungan sangat kecil dari hasil analisa ini. Penentuan ukuran dowel yang baku untuk semua keadaan perlu ditinjau kembali, dengan melakukan perhitungan sesuai dengan keadaan setempat.

Kata kunci : perkerasan beton , dowel, jarak antar dowel, tegangan yang bekerja, tegangan ijin, beban roda kendaraan, mutu beton, faktor keamanan

ABSTRACT

Concrete pavement in Indonesia was begun in 1985 and its use is continuously increasing although the percentage is only 2,55% of the total length of national road including toll road. The type of concrete pavement which most commonly used in Indonesia is joint plain concrete pavement , where one of the important part is dowel which functioned as joint load transfer from one plate to another , if it is not well designed and placed will cause damage in the form of faulting , pumping , and cracks in the connection area. This paper analyzes the effect of parameters changing of subgrade strength, foundation, concrete quality, size and spacing of dowels, wheel load and the width of openings due to field application or material limitation of the original design on the working stress and allowable stresses on the pavement. The method used is to study the sensitivity of the working stress, the allowable concrete compressive strength around dowels, safety factor of

joints through calculating force due to the changes of parameters. The analysis showed that the changes in size of dowel diameter has the greatest effect on the working stress, allowable stress and also its safety factor. Dowel size smaller than 1.07 inches will result in unsafe jointed construction. Concrete compressive strength less than 4000 psi will cause the unsafe joints because the working stress is greater than the allowable stress. Opening wide greater than 1,25 inches will provide safety factor smaller than one. The increase of wheel load greater than 20,500 lbs will cause greater working stress than the allowable stress, which in turn the connection/joints become unsafe. The change in CBR value is very small on the working stress and far below the allowable stress, so it does not affect the safety factor of joints. From the analysis results, the determination of fixed size of dowels for all circumstances need to be reviewed, by performing the calculation in accordance with local circumstances.

Keywords : *concrete pavement , dowel, dowel spacing, working stress , allowable stress , wheel load, concrete quality, safety factor*

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan beton merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang umum digunakan di seluruh dunia. Tipe perkerasan jalan beton secara umum dapat diklasifikasikan atas tiga tipe, yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, perkerasan beton bersambung dengan tulangan dan perkerasan menerus dengan tulangan walaupun masih ada tipe lainnya seperti perkerasan beton pratekan dan perkerasan beton pratekan pracetak.

Perkembangan pembangunan jalan di Indonesia kedepan cukup baik, dimana beberapa ruas jalan yang telah dicanangkan pembangunannya ialah penyelesaian jalan tol di pulau Jawa, *High Grade Highway* Sumatera, pembangunan jalan perbatasan, percepatan pembangunan jalan di Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara dan Nusa Tenggara Timur dan dukungan terhadap MP3EI serta prospek pemilihan jalan beton pun cukup baik pula (Suhardi2013).

Perkerasan jalan beton di Indonesia termasuk jalan tol masih relatif sedikit, baru sekitar 2,55 % dari total panjang jalan nasional atau sepanjang 971 km (Suhardi2013). Walaupun demikian pertumbuhan penggunaan jalan beton di Indonesia cukup baik, dimana dalam beberapa tahun terakhir penggunaan jalan beton peningkatannya cukup tinggi. Pada tahun 2012 pada jalan nasional telah dibangun jalan beton sepanjang 177 km (Suhardi2013). Hal ini ditunjang pula oleh tersedianya pabrik dan produksi semen yang memadai di

Indonesia. Jumlah pabrik semen di Indonesia saat ini, ada 9 buah yang tersebar di berbagai pulau dengan total kapasitas terpasang sebesar 65.940.000 ton, sedangkan konsumsi nasional pada tahun 2012 hanya sebesar 54.969.478 ton, sehingga persediaan cukup memadai (Santoso 2013).

Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, yaitu perkerasan beton yang mempunyai sambungan melintang setiap 4,5 meter sampai 5 meter dan tidak diberi tulangan didalamnya, kecuali batang besi yang berfungsi sebagai penyalur beban antara pelat satu dan pelat yang satunya lagi, atau yang disebut dowel. Tipe perkerasan beton bersambung dengan tulangan dan perkerasan beton pracetak prategang mulai dipergunakan di Indonesia dan memerlukan dowel sebagai penyalur beban pada sambungannya. Dowel merupakan bagian yang penting pada perkerasan beton bersambung tanpa atau dengan tulangan, maupun pada sambungan dari perkerasan beton pracetak prategang.

Pada perkerasan beton bersambung, salah satu bagian yang penting ialah sambungan antara pelat yang satu ke pelat yang berikutnya, karena bila ini tidak dilakukan dengan baik akan menimbulkan kerusakan berupa *faulting*, *pumping*, dan retak di daerah sambungan. Kekuatan sambungan perkerasan beton tergantung pada beberapa faktor antara lain daya dukung tanah dasar, mutu dan tebal lapisan pondasi, mutu dan tebal pelat beton, ukuran dan jumlah dowel yang dipasang, jarak antar dowel, lebar bukaan pada sambungan

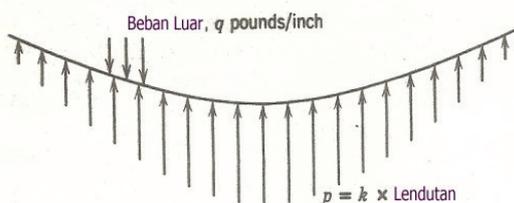
perkerasan beton serta beban lalu lintas yang bekerja diatasnya. Penyimpangan pekerjaan pada perkerasan beton mulai dari kekuatan daya dukung tanah, mutu dan tebal lapisan pondasi, mutu beton serta mutu dan ukuran dowel sampai kepada beban kendaraan yang melaluinya masih sering dihadapi.

Tulisan ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penyimpangan persyaratan pelaksanaan terhadap kekuatan sambungan perkerasan beton tersebut, melalui perubahan parameter parameter bahan yang akan dipergunakan. Dengan demikian diharapkan pemahaman yang lebih mendalam dari akibat penggunaan bahan yang tidak sesuai atau beban berlebih terhadap keamanan sambungan perkerasan beton.

KAJIAN PUSTAKA

Distribusi Beban Luar Kepada Pelat Perkerasan Beton

Distribusi beban luar kepada pelat akan diteruskan ke lapisan dibawahnya, dimana pendistribusian itu tergantung pada sifat pelat beton dan sifat tanah dasar dan lapisan pondasinya. Gambar 1 memperlihatkan gaya dan deformasi yang terjadi. Anggapan yang diambil ialah bahwa tegangan sebanding dengan lendutan, karena itu bisa disebutkan $p = k.y$ dengan "k" disebut modulus reaksi tanah dasar dan y adalah lendutan yang terjadi.



Sumber : Yoder and Witzak 1975

Gambar 1. Lendutan pelat pada pondasi elastis

Besar deformasi yang terjadi tergantung pada kekakuan yang dibawahnya dan juga tergantung pada kekakuan dari pelat tersebut. Kekakuan relatif dari pelat dan tanah dasar yang disebut juga sebagai "radius kekakuan relatif" menurut Westergaard (1925), ditunjukkan pada persamaan 1.

$$lr = \{E_c h^3 / [12 (1 - \mu^2)k]\}^{0,25} \dots\dots\dots (1)$$

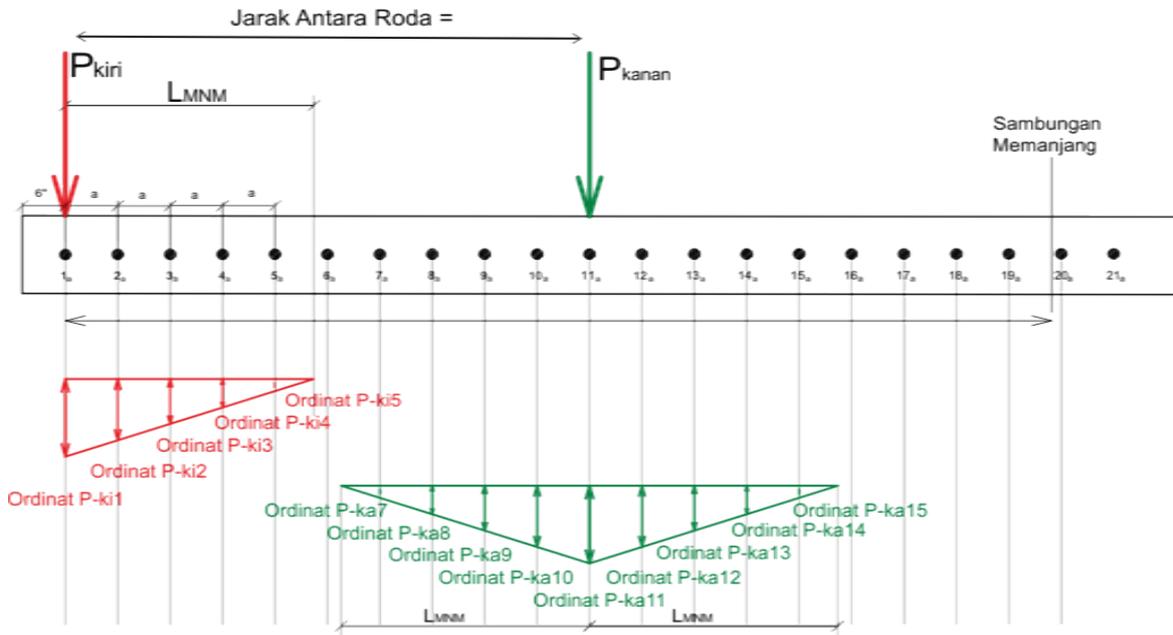
dengan :

- lr = radius kekakuan relatif (in)
- Ec = modulus elastisitas perkerasan beton (psi)
- h = tebal pelat (in)
- μ = poission ratio dari pelat beton (umumnya 0,15)
- k = Modulus reaksi tanah dasar (pci)

Yoder dan Witzak (1975) menyampaikan bahwa Fieberg tahun 1938, mengusulkan daerah bagian pelat yang akan menerima beban roda ke bagian kiri atau kanan (L_{MNM}) ialah 1,8 lr dari pusat beban yang bekerja, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.

Penelitian yang dilakukan oleh Tabatabaie (1978), Tabatabaie, et al (1979) dan Barenberg serta Arntzein (1981) sebagaimana disampaikan oleh Snyder (2011), bahwa mereka melakukan pengujian kembali dengan menggunakan metoda finite elemen dan mendapatkan daerah dari pelat yang menerima beban tidak sebesar 1,8 l tetapi 1 (satu) "l" saja, bahkan Heinrichs (1987) seperti yang disampaikan oleh Snyder (2011) bahwa bila beban mendekati sudut pelat, besarnya daerah pelat yang akan menerima beban berkaitan dengan dowel harus dikurangi lagi sampai 0,6 l. Dengan demikian jumlah dowel yang akan menanggung beban roda yang sama akan menjadi lebih sedikit, yang berakibat beban yang bekerja pada setiap dowel dan tegangan kerja (*bearing stress*) akan menjadi lebih besar lagi.

Dengan demikian dapat dihitung berapa banyak dowel yang akan memikul beban, serta nilai efektif dowel dari susunan dowel yang menerima beban tersebut. Beban yang disalurkan pada dowel, tidak sepenuhnya sebesar beban roda. Yoder and Witzak (1975) menyampaikan bahwa untuk perencanaan beban yang disalurkan ke dowel adalah sebesar antara 40 – 50 % dan cukup diambil sebesar 45%. Heinrichs dkk (1987) mengemukakan bahwa penyaluran beban ini sebesar antara 41 sampai 43%.



Gambar 2. Daerah pelat yang akan menerima beban roda

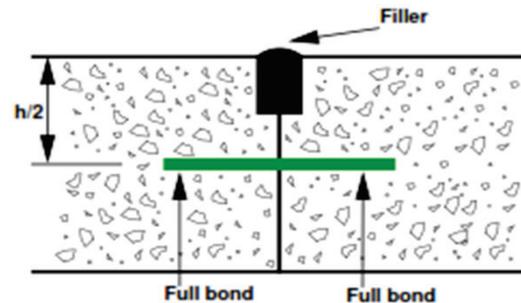
Sambungan perkerasan beton

Sambungan pada perkerasan beton bersambung merupakan bagian yang kritis, karena pada bagian ini mengalami perlemahan akibat adanya penggergajian pada sambungan. Perlemahan ini perlu diantisipasi, yaitu dengan melakukan pemasangan dowel (alat penyalur beban) yang cukup baik, sehingga beban dari pelat sebelumnya dapat ditransferkan dengan baik ke pelat berikutnya tanpa menimbulkan kerusakan. Gambar sambungan pada perkerasan beton beserta dowel nya, ditunjukkan pada gambar 3 (Mathew and Rao 2006).

Pemasangan dowel sangat efektif untuk mengurangi faulting yang terjadi pada sambungan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4 (Khazanovic 2011).

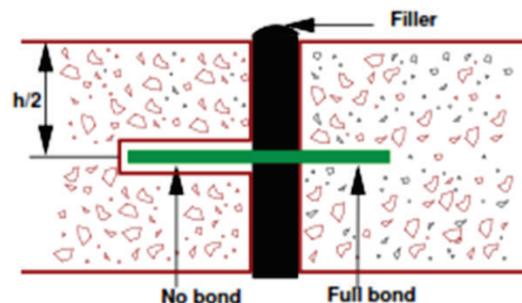
Keuntungan dari penggunaan dowel dari batang besi bulat polos yang lurus pada sambungan perkerasan beton bersambung yang berfungsi sebagai penyaluran beban dari satu pelat ke pelat yang berikutnya telah disadari hampir 100 tahun yang lalu. Laporan pertama tentang penggunaan batang penyalur beban ini, pada tahun 1917 – 1918 di Virginia, dimana batang besi polos berdiameter $\frac{3}{4}$ inci telah dipasang pada perkerasan beton dengan lebar 20 ft

dengan jumlah 2 dowel setiap lajur lalu lintas dengan lebar 10 ft disampaikan oleh Snyder (2011b).



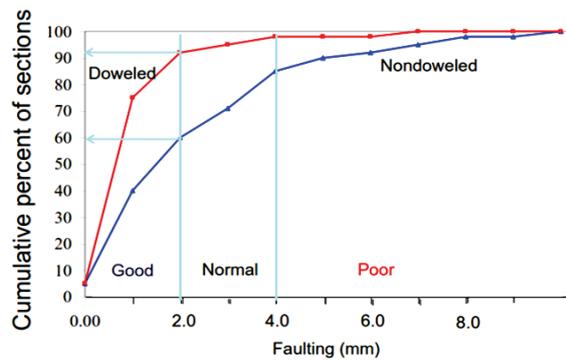
Sumber: Mathew and Rao 2006

Gambar 3a. sambungan Susut



Sumber: Mathew and Rao 2006

Gambar 3b. Sambungan Muai



Sumber : Khazanovic (2011)

Gambar 4. Pengaruh dowel pada sambungan

Menjelang tahun 1930 hampir setengah dari semua negara bagian di Amerika menggunakan dowel pada perkerasan beton, akan tetapi detil dari dowel tersebut seperti ukuran diameter dan panjang nya, sangat bervariasi. Sebagai contoh pada tahun 1926 salah satu negara bagian menggunakan dowel berdiameter 2 ½ inci dan panjang 4ft, sementara negara bagian lainnya menggunakan batang berdiameter 5/8 inci dengan panjang masih 4ft, dan satu negara bagian lainnya lagi menggunakan batang besi berdiameter 3/4 inci dengan panjang 2 ft (Snyder 2011b).

Snyder (2011b) menyampaikan, beberapa tahun berikutnya beberapa studi tentang dowel dilakukan oleh Westergaard Teller dan Sutherland (1935,1936 dan 1943), dengan hasil penggunaan dowel yang lebih besar diameternya, jarak antar dowel yang lebih rapat, dan ukuran yang lebih pendek. Pengujian yang dilakukan oleh laboratorium Bureau of Public Roads pada tahun 1950 an, mengembangkan rekomendasi perencanaan yang menjadi bahan standar di Amerika Serikat tahun 1960 an dan tahun 1970 an, yaitu diameter dowel sebesar 1/8 tebal pelat dan jarak antar sumbu dowel 12 inci (Snyder 2011a).

Minimum panjang dowel yang tertanam dalam beton ialah 8 kali diameter dowel untuk dowel dengan ukuran sampai ¾ inci, dan 6 kali diameter dowel untuk dowel dengan diameter yang lebih besar. Rekomendasi ini untuk dowel di sambungan muai dengan lebar sampai ¾ inci dan untuk lebar sambungan yang lebih kecil,

seperti pada sambungan susut, yang akan menurunkan besar momen lentur pada dowel, tegangan kerja (*bearing stresses*), dan lendutan sehingga akan memberikan kinerja struktur perkerasan yang lebih baik (Teller and Cashell 1958). Untuk kepraktisan, panjang dowel umumnya 18 inci guna mendapatkan penyaluran beban yang maksimum dan letak sambungan berada sekitar tengah tengah dari panjang dowel (Snyder 2011a).

Pada saat sekarang, panjang dowel umumnya 18 inci dan 12 inci, walaupun ada beberapa badan pengelola jalan menetapkan 14 inci dan 15 inci serta beberapa badan pengelola jalan lainnya menempatkan dowel terpusat di daerah jejak roda. Khazanovic (2011) menyampaikan bahwa penggunaan ukuran diameter dowel di antara negara Jerman, Amerika baik ukuran diameter, panjang dan jarak antar dowel tidak selalu sama sebagaimana dapat dilihat pada tabel 1.

Beberapa badan pengelola jalan menentukan ukuran diameter dowel lebih besar dari 1/8 kali tebal pelat, didasarkan atas studi yang menunjukkan bahwa diameter dowel yang lebih besar akan menurunkan *faulting* di sambungan sebagai akibat dari menurunnya tegangan kerja (*bearing stress*) antara dowel dengan beton sebagai mana yang disampaikan oleh Darter et al al. (1985). Ringkasan dari penggunaan ukuran dowel sebagai fungsi dari tebal pelat di beberapa negara bagian di Amerika berdasarkan kumpulan tahun 2009, ditunjukkan pada tabel 2. (Snyder 2011b) Guide to Pavement Technology, dari Austroad (2010) menggunakan ukuran dowel yang juga tergantung dari ketebalan pelat seperti ditunjukkan pada tabel 3. Adapun panjang dowel yang disarankan ialah 45 cm dengan jarak antar dowel 30 cm serta mutu besinya harus memenuhi Grade 250 N.

Tabel 1. Penggunaan ukuran dowel di Amerika dan Jerman pada umumnya.

Negara	Tebal pelat (in)	Diameter dowel (in)	Panjang dowel (in)	Jarak antar dowel (in)
Amerika	< 8	1	18	12 dan tidak seragam
	8 – 10	1,25	18	
	>10	1,5	18	
Minnesota		Tergantung tebal pelat	15	
MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide)		Berdasarkan nilai faulting ijin		
Jerman	-	1,25	20	10 (jejak roda) 20 (di luar jejak roda)

Sumber : Dowel and tie bars in concrete pavement joints: Theory and Practice (Khazanovic 2011)

Tabel 2. Ukuran diameter dowel (in) di beberapa negara bagian Amerika, sebagai fungsi dari tebal pelat (in)

Tebal pelat (in)	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
California	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Iowa	0,75	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Illionis	1,00	1,00	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Indiana	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50
Michigan	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50
Minnesota	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Missouri	N/A	N/A	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
North Dacota	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Ohio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Texas	N/A	N/A	N/A	N/A	1,00		1,125		1,25		1,375		1,50	
Winconsin	N/A	N/A	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Sumber: National Concrete Consortium (Snyder 2011b)

Tabel 3. Ukuran diameter dowel pada perkerasan beton

Tebal pelat D (cm)	Diameter dowel (mm)
12,5 < D < 16	24
16 < D ≤ 20	28
20 < D ≤ 25	32
D > 25	36

Sumber: Guide to Pavement Technology (Austroad 2010).

Terlihat jelas dari tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 tersebut, penggunaan ukuran dowel di tiap negara berbeda beda untuk tebal pelat yang sama.

Perancangan dowel dan beberapa hal yang perlu dipertimbangkan

Dowel menyalurkan beban melalui mekanisme momen lentur dan geser, akan tetapi yang utama dalam mekanisme tersebut ialah geser (khususnya untuk sambungan dengan bukaan lebih kecil dari ¼ inci) dan mekanisme momen bisa diabaikan (Guo et al 1996).

Curling dan warping pada beberapa hari setelah pengecoran beton akan mengakibatkan beraing stress yang cukup besar disekitar dowel, bahkan bisa melampaui tegangan ijin betonnya sendiri. Dowel besi ini akan menghasilkan momen lentur dinamis dan gaya geser vertikal yang cukup besar pada

sambungan perkerasan beton (Applied Pavement Technology Inc. 2005)

Perencanaan ukuran diameter dowel yang didasarkan kepraktisan dan bertahun tahun ialah 1/8 dari tebal pelat (AASHTO 1993), namun sekarang perencanaan tersebut didasarkan atas pengalaman dan temuan temuan baru tentang mekanisme dari penyaluran beban (*load transfer*). Berikut adalah faktor faktor yang perlu dipertimbangkan pada waktu perencanaan dowel.

Ukuran Diameter Dowel

Pada jalan raya umumnya, besar beban maximum yang diterima oleh dowel ialah kurang dari 3000 lb. Mutu baja yang digunakan untuk dowel umumnya mempunyai tegangan leleh sebesar 40000 psi atau bahkan lebih besar. Ukuran diameter dowel dan sistim pemasangan sangat mempengaruhi kinerja sambungan dari suatu perkerasan. Kenaikan kekakuan dowel baik melalui kenaikan ukuran diameter dowel atau penggunaan bahan yang lebih kaku, akan mengurangi lendutan maksimum dan perbedaan lendutan antara dua pelat serta mengurangi tegangan kerja (*bearing stress*) antara dowel dan beton. Perubahan ukuran diameter dowel dari 1 inci menjadi 1,5 inci telah membuktikan penurunan ketidakrataan (*International Roughness Index, IRI*) dari 2,56 m/km menjadi 1,86 m/km, begitu juga *faulting* nya menurun dari 2,5 mm menjadi hanya 0,38 mm (Khanum, T. et al 2007)

Ukuran diameter dowel mungkin akan lebih besar atau lebih kecil, bilamana jarak antar dowel tidak sama sepanjang sambungan. Dowel yang lebih besar mungkin diperlukan bila jarak dowel tetap tetapi dowel yang jauh dari jejak roda dihilangkan, serta ukuran dowel yang lebih kecil mungkin bisa dipergunakan bila jarak antar dowel diperkecil. Diameter dowel yang diperlukan akan lebih besar, bilamana modulus bahan dowelnya lebih rendah, misalnya bila menggunakan bahan *fiber reinforced polymer*.

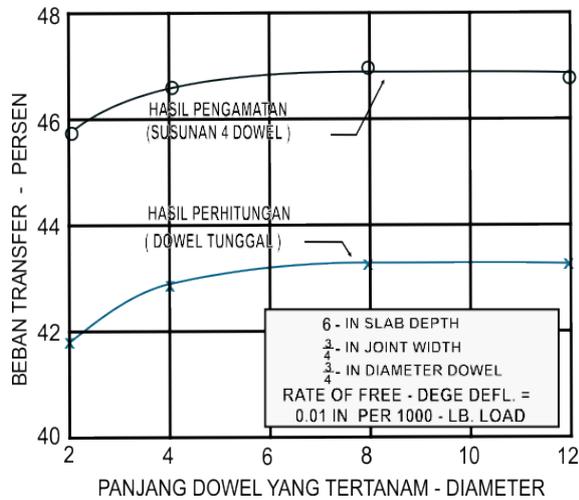
Panjang Dowel terhadap bearing stress dan load transfer

Panjang dowel saat ini sudah mengalami banyak perubahan dari sebelumnya.

Snyder (2011) menyampaikan bahwa Teller dan Cashell, melakukan percobaan pembebanan berulang sampai ratusan ribu kali pada tahun 1959. Untuk dowel berdiameter $\frac{3}{4}$ inci guna mendapatkan maksimum penyaluran beban, panjang dowel yang tertanam cukup 8 kali diameter dowel atau 6 inci. Untuk dowel dengan diameter 1 dan 1,25 inci panjang dowel tertanam cukup 6 kali diameter dowel atau masing masing 6 dan 7,5 inci. Data yang dihasilkan dari percobaan tersebut bahkan menunjukkan panjang dowel yang tertanam lebih pendek sampai 4 kali ukuran diameter dowel atau kurang, masih memberikan kinerja yang dapat diterima, yaitu *bearing stress* dan *dowel looseness* bertambah sangat sedikit sekali dan kehilangan load transfer kurang dari 1%, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6.

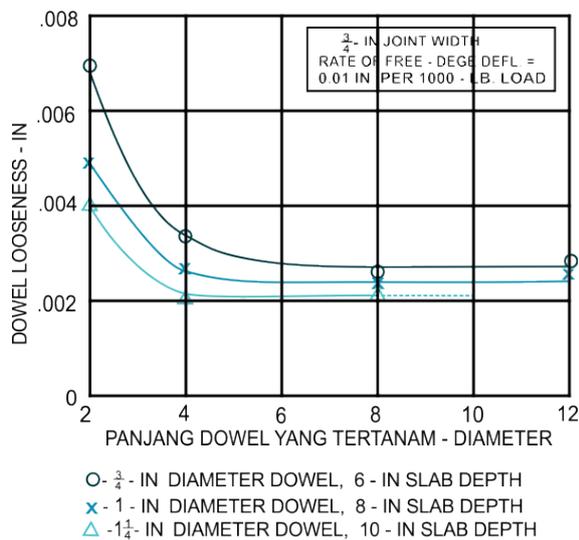
Khazanovich et al (2009) melakukan percobaan laboratorium yang menunjukkan pengurangan panjang dowel yang tertanam dalam beton, dimana ditemukan bahwa kapasitas geser dan pergeseran relatif dari dowel dengan diameter 1,25 inci dan 1,5 inci masih bisa diterima walaupun pergeseran dowel tersebut mengurangi panjang dowel tertanam menjadi sampai 4 inci. Selanjutnya Khazanovich et al. (2009) juga membandingkan *faulting* dan *load transfer* efisiensi pada sambungan yang diletakkan ditengah tengah dan yang satu nya lagi bergeser horizontal lebih dari 2 inci. Dari percobaan tersebut, tidak terlihat adanya perbedaan yang berarti pada *faulting* dan *load transfer* efisiensi diantara dua keadaan tersebut.

Burnham (1999) melakukan evaluasi kondisi lapangan pada sambungan perkerasan jalan beton yang tidak sesuai dengan yang direncanakan, dari beberapa jalan di Minnesota yang telah berumur 12 tahun. Dia menyimpulkan bahwa panjang dowel minimum yang tertanam dalam beton cukup 64 mm, guna mencegah *faulting* dan menjaga *load transfer* efisiensi yang masih dapat diterima.



Sumber: Snyder (2011b)

Gambar 5. Pengaruh panjang dowel tertanam terhadap load transfer



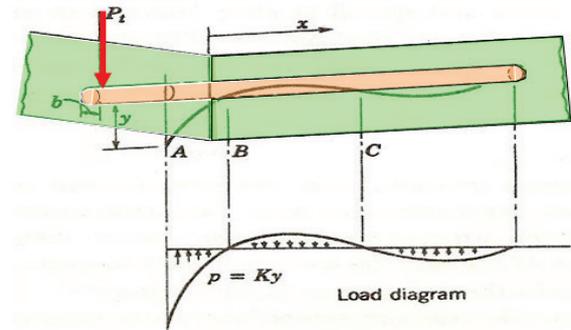
Sumber: Snyder (2011b)

Gambar 6. Pengaruh diameter dan panjang dowel tertanam terhadap dowel looseness setelah 600000 pengulangan dengan beban 10000 lb.

Jarak antar dowel juga mempunyai peranan penting, umumnya sebesar 12 inci, namun jarak ini bisa didasarkan atas bearing stress pada beton yang sama dengan tegangan ijin betonnya sendiri atau lendutan relatif pada sambungan tidak lebih besar dari nilai yang ditentukan (Porter 2001).

Tegangan yang bekerja pada dowel

Tegangan yang bekerja pada dowel, ialah akibat gaya geser, lentur dan bearing. Dibawah ini diperlihatkan diagram tegangan yang bekerja pada dowel akibat beban luar yang bekerja pada dowel, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7.



Sumber : Yoder and Witczak 1975

Gambar 7. Diagram tegangan yang bekerja pada dowel

Parameter yang terkait dengan analisa dowel cukup banyak seperti kekuatan tanah dasar, tebal dan jenis serta modulus lapis pondasi, mutu beton, tebal pelat beton, mutu baja yang digunakan untuk dowel, diameter dowel, jarak pemasangan antar dowel, panjang dowel, lebar bukaan sambungan serta beban roda yang bekerja.

Friberg (1940) telah melakukan analisis tentang lendutan dan gaya lintang serta momen yang bekerja pada dowel sebagai mana diperlihatkan pada persamaan 2 dan persamaan 3.

$$M = -\frac{e^{-\beta x}}{\beta} [Pd \sin \beta x - \beta Mo(\sin \beta x + \cos \beta x)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$V = -e^{-\beta x} [(2\beta Mo - Pd) \sin \beta x + Pd \cos \beta x] \quad \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- Pd : beban yang disalurkan ke dowel
- β : $(Kb/4EI)^{0,25}$
- e : bilangan pokok ; 2,71
- K : modulus of dowel support antara 300.000 sampai $1,5 \times 10^6$ pci

- b : diameter dowel (inci)
- E : modulus bahan dowel (psi)
- I : momen inersia dowel (inci⁴)
- x : jarak dowel dari bidang muka beton
- Mo : Momen lentur pada dowel dimuka bidang beton

Bila lebar bukaan pada sambungan disebut “z”, maka momen yang terjadi pada permukaan beton ialah sebesar $M_0 = Pd.z/2$

Lendutan akibat beban Pd

Lendutan pada dowel akibat beban roda yang ditransferkan ke dowel, ialah dinyatakan dengan persamaan 4.

$$Y = Pd \cos \beta x - \beta Mo(\cos \beta x - \sin \beta x) \dots (4)$$

Keterangan :

- Y : lendutan akibat Pd
- Pd : beban yang disalurkan ke dowel
- β : $(Kb/4EI)^{0,25}$
- K : modulus of *dowel support* antara 300.000 sampai $1,5 \times 10^6$ pci
- b : diameter dowel (inci)
- E : modulus bahan dowel (psi)
- I : momen inersia dowel (inci⁴)
- x : jarak dowel dari bidang muka beton
- Mo : Momen lentur pada dowel dimuka bidang beton

Karena nilai β merupakan akar pangkat 4 dari *modulus of dowel support* (K), maka perubahan yang besar dari modulus tidak akan memberikan pengaruh yang besar terhadap perhitungan tegangan. Penggunaan nilai K sebesar $1,5 \times 10^6$ pci cukup memberikan hasil yang baik

Bila lebar bukaan pada sambungan disebut “z”, maka lendutan yang terjadi yaitu “ Y_0 ” = $Pd (2 + \beta z) / 4 \beta^2 EI$ dan tegangan yang bekerja pada beton akibat beban lewat dowel yang diberi notasi $\sigma = K Y_0 = K Pd (2 + \beta z) / 4 \beta^2 EI$

Maksimum momen yang terjadi, ialah bila gaya geser sama dengan nol atau $dMx/dx = 0$, atau momen maksimum ialah sama dengan $-Pd^{(e-\beta x)} [1 + (1 + \beta z)^2]^{0,5}$

Tegangan ijin beton disekitar dowel (*Allowable Bearing Stress*).

Tegangan ijin beton disekitar dowel tergantung diameter dowel dan mutu beton yang dipergunakan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 5 (Snyder 2011b; Porter 2001) :

$$f_b = [(4-b)/3] f'_c \dots (5)$$

Dengan :

- f_b = kuat tekan ijin (psi);
- b = diameter dowel (in) ;
- f'_c = kuat tekan beton (psi)

HIPOTESIS

Perubahan ukuran diameter dowel akan memberikan pengaruh paling besar terhadap kekuatan sambungan dibandingkan perubahan, mutu beton, beban roda, jarak antar dowel, sedangkan perubahan kekuatan tanah dasar sangat kecil pengaruhnya terhadap kekuatan sambungan.

METODOLOGI

Metode yang digunakan ialah kajian analisis melalui perhitungan tegangan yang bekerja pada dowel serta kuat tekan ijin beton disekitar dowel, akibat perubahan nilai berbagai parameter perencanaan dowel.

Metoda ini, meliputi langkah langkah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi parameter perencanaan yang bisa mengalami perubahan, seperti mutu yang tidak bisa tercapai atau ketersediaan bahan maupun ketentuan bahan yang tidak dipenuhi, yang sering terjadi di lapangan.
2. Melakukan analisis kekuatan sambungan melalui perhitungan tegangan yang bekerja dan tegangan ijin beton disekitar dowel, dengan memvariasikan nilai nilai parameter perencanaan yang umum digunakan.
3. Parameter perencanaan yang nilainya divariasikan ialah kekuatan tanah dasar, mutu lapisan pondasi, mutu beton, tebal pelat beton, ukuran dowel, jarak antar

dowel, beban roda yang bekerja serta bukaan sambungan.

- Melakukan evaluasi sensitivitas faktor keamanan sambungan akibat masing masing perubahan – perubahan variable tersebut.

HASIL DAN ANALISIS

Dalam rangka menganalisa kekuatan perkerasan sambungan beton dengan dowel ini, pertama tama ditentukan terlebih dahulu satu set parameter data yang umum untuk perkerasan beton dengan sambungan. Pertama – tama kekuatan tanah dasar ditentukan 8%, diameter dowel (b) = 1,5 in; *modulus of dowel support* (K) = 1500000 pci; modulus elastisitas baja (Es) diambil 29000000 psi, beban roda (P) = 16500 lb ; koefisien penyaluran beban diambil 0,43; kuat tekan beton (f'c) = 5100 psi; tebal pelat (h) = 12 inci dengan nilai Poission ratio (μ) = 0,15 ; tebal lapis pondasi beton kurus (D_{SB}) 4 inci dengan kuat tekan (f'c SB) 1675 psi; jarak bukaan sambungan 0,2 inci; jarak antar dowel (a) = 12 inci. Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan dengan lebar 2x 3,60 meter dan jarak sambungan setiap 4,6 meter serta dowel yang paling tepi terletak 6 inci dari tepi pelat beton. Sedangkan jarak antar roda kiri dan kanan dari kendaraan truk besar ialah 73 inci (lihat sketsa pada gambar 2). Untuk menghitung radius kekakuan relative perkerasan atau “ l ” ialah, dilakukan dahulu perhitungan modulus beton dengan persamaan $E_c = 57000 \sqrt{f'c} = 4070614$ psi. Modulus reaksi tanah dasar efektif (k) dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \ln k &= 0,5 [- 2,807 + 0,1253 (\ln DSB)^2 + \\ & 1,062 (\ln M_R) + 0,1282 (\ln DSB) (\ln \\ & ESB) - 0,4114 \ln (D_{SB}) - 0,058 \ln (E_{SB}) \\ & - 0,1317 (\ln D_{SB}) (\ln M_R)] \\ &= 485,86 \text{ pci} \end{aligned}$$

Radius kekakuan relatif :

$$\begin{aligned} l &= \{ E h^3 / [12 (1 - \mu^2) k] \}^{0,25} \\ &= \{ 4070614 (12)^3 / [12 (1 - 0,15^2) \\ & 485,86] \}^{0,25} \\ &= 33,33 \text{ inci} \end{aligned}$$

Sesuai dengan hasil dari Heinrichs (1987) yang dikemukakan oleh Snyder (2011), koefisien momen negatif diambil satu (1) sehingga panjang momen negatif (L_{MNM}) sama dengan radius kekakuan relatifnya yaitu 33,33 inci.

Dengan demikian jumlah dowel yang akan memikul beban roda tersebut dapat dilihat pada sketsa gambar 2, dimana tidak ada dowel yang akan menerima beban dua kali, yaitu dari beban roda sebelah kiri dan dari roda sebelah kanan. Dowel yang akan menerima beban yang paling besar ialah dowel yang paling kiri, ialah sebesar ordinat pada dowel paling kiri / jumlah ordinat dowel yang berada pada daerah L_{MNM} nya, yaitu sebesar (1/1,92) x Pd

Besar Pt = 0,43 x 16500 lb = 7095 lbs, sehingga gaya yang bekerja pada dowel no 1 (Pd) ialah (1/1,92) x 7095 lbs = 3695,45 lbs.

Tegangan yang bekerja pada dowel no 1 dihitung dengan menggunakan persamaan ialah:

$$\begin{aligned} \sigma &= K Pd (2 + \beta z) / 4 \beta^2 EI \\ \beta &= (K_0 b / 4EI)^{0,25} \\ &= \{ 1500.000 \times 1,50 / (4 \times 29 \times \\ & 10^6) (0,25 \times 3,14 \times (1,50 / 2)^4) \}^{0,25} \\ &= 0,5285 \text{ in}^{-1} \\ \sigma &= K Pd (2 + \beta z) / 4 \beta^2 EI \\ &= [1500.000 \times 3695,45 \text{ lbs} (2 + 0,5285 \times \\ & 0,20)] / \{ 4 (0,5285)^2 (29 \times 10^6) \times \\ & 0,2485 \} \\ &= 2742 \text{ psi} \end{aligned}$$

Tegangan ijin dari beton disekitar dowel, dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} f_b &= [(4-b) / 3] f'_c \\ &= [(4 - 1,0) / 3] 5100 \text{ psi} \\ &= 4250 \text{ psi} \end{aligned}$$

Untuk keadaan diatas, tegangan ijin (f_b = *bearing strength*) 4250 psi lebih besar dari tegangan yang bekerja (σ = *bearing stress*) yang sebesar 2742 psi. Perbandingan antara tegangan ijin terhadap tegangan kerja ialah sebesar 1,55, sehingga kondisi sambungan dalam keadaan aman.

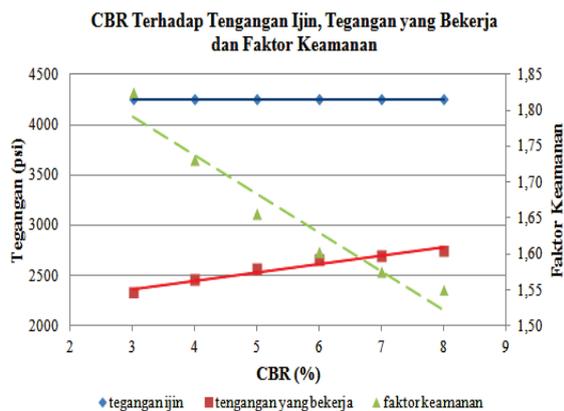
Untuk mengetahui kekuatan sambungan akibat pengaruh perubahan nilai parameter perencanaan, dilakukan analisa perhitungan seperti diatas dengan perubahan pada parameter perencanaan yang bisa terjadi pada pelaksanaannya, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Hasil analisa dengan variasi kondisi seperti pada tabel 4, disajikan pada gambar 8 sampai gambar 14.

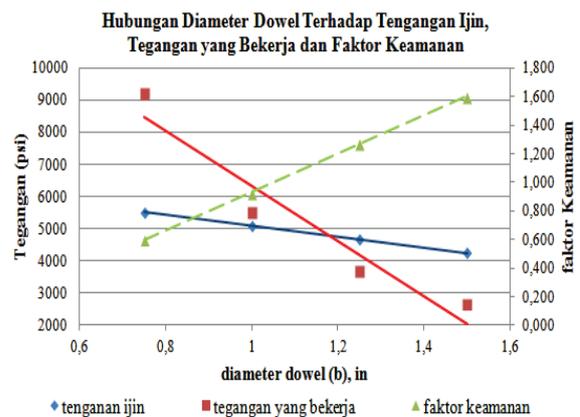
Pendekatan hubungan antara perubahan nilai parameter seperti CBR, diameter dowel, jarak dowel, lebar bukaan, modulus dowel, kuat tekan beton, mutu beton dan beban roda disajikan pada tabel 5, dengan angka korelasi (R^2) masing – masing persamaan cukup tinggi berkisar dari 0,925 sampai 1.

Tabel 4. Variasi nilai parameter untuk mengetahui kekuatan sambungan perkerasan beton

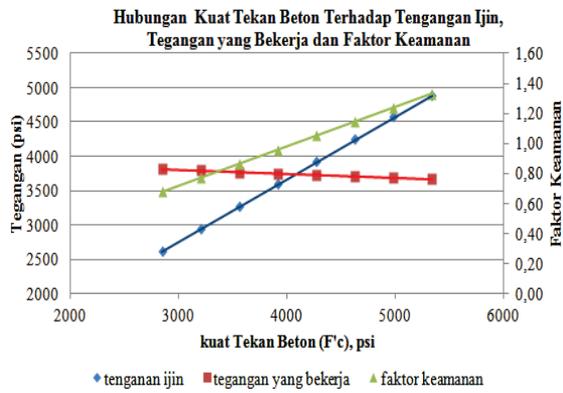
Sensitivitas terhadap parameter							
Parameter yang bervariasi	CBR tanah dasar (%)	Diameter dowel (in)	Mutu beton (f'c) (psi)	Jarak antar dowel ; a (in)	Bukaan lebar sambungan; z (in)	Mutu dowel Es (psi)	Beban Roda; P (lb)
CBR tanah dasar (%)	8 - 3	1,5	5100	12	0,2	23×10^6	16500
Diameter dowel (in)	6	0,75 - 1,5"	5100	12	0,2	23×10^6	16500
Mutu beton f'c; (psi)	6	1,25	2845 - 5334	12	0,2	23×10^6	16500
Jarak antar dowel, "a" (inci)	6	1,25	5100	9 - 14	0,2	23×10^6	16500
Bukaan lebar sambungan ;z (in)	6	1,25	5100	12	0,2 - 3	23×10^6	16500
Mutu baja ;Es (psi)	6	1,25	5100	12	0,2	$23 \times 10^6 - 36 \times 10^6$	16500
Beban roda P (lbs)	6	1,25	5100	12	0,2	23×10^6	16500 - 33000



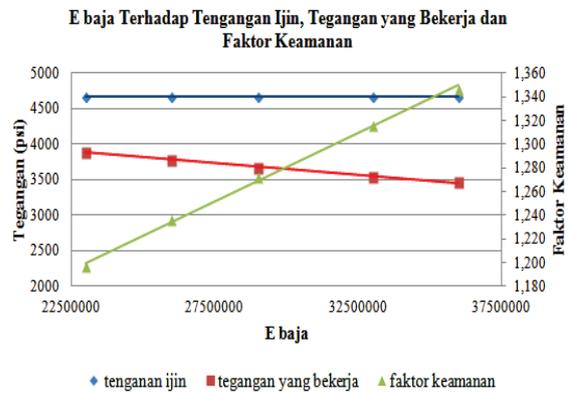
Gambar 8. Pengaruh CBR



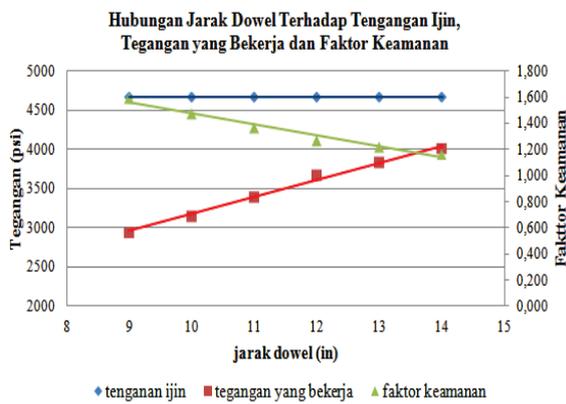
Gambar 9. Pengaruh Diameter Dowel



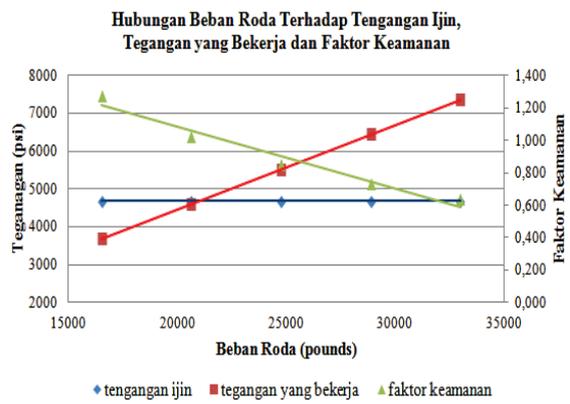
Gambar 10. Pengaruh Kuat Tekan Beton



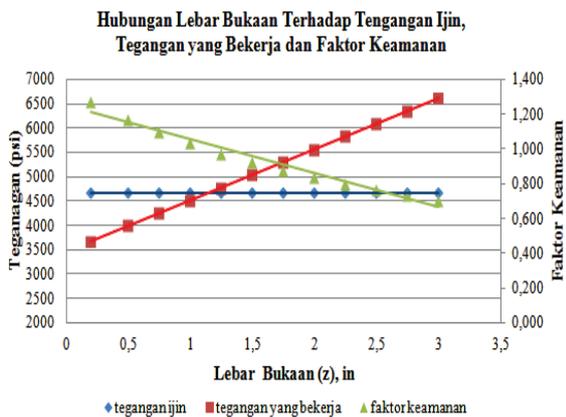
Gambar 13. Pengaruh E Baja



Gambar 11. Pengaruh Jarak Dowel



Gambar 14. Pengaruh Beban Roda



Gambar 12. Pengaruh Lebar Bukaannya

Pada kasus ini, tegangan ijin sesuai dengan rumusnya hanya dipengaruhi oleh perubahan kuat tekan beton dan diameter dowel yang dipergunakan, sehingga tidak ada perubahan sewaktu parameter lainnya mengalami perubahan, seperti yang ditunjukkan oleh nilainya yang konstan sebesar 4250 psi.

Tabel 5. Hubungan antara beberapa parameter terhadap tegangan kerja (*bearing stress*), tegangan ijin (*bearing strength*) dan faktor keamanan.

No	Parameter	Tegangan kerja (σ)	Tegangan ijin ($f'b$)	Faktor keamanan
1	CBR	$\sigma = 82,12 \text{ CBR} + 2121$	$f'b = 4250$	$FK = 0,054(\text{CBR}) + 1,953$
2	Diameter dowel (b)	$\sigma = -8608 b + 14943$	$f'b = -1700 b + 6800$	$FK = 1,342 b - 0,408$
3	Jarak dowel; a	$\sigma = 218,9 a + 987,9$	$f'b = 4250$	$FK = -0,085 a + 2,336$
4	Lebar bukaan; z	$\sigma = 1049.z + 3463$	$f'b = 4250$	$FK = -0,196 z + 1,252$
5	Modulus dowel; Es	$\sigma = -3.10^{-5} Es + 4656$	$f'b = 4250$	$FK = 1x10^{-8} Es + 0,934$
6	Beban roda; P	$\sigma = 0,222 P$	$f'b = 4250$	$FK = -4x10^{-5} P + 1,838$
7	Kuat tekan beton ; f'c	$\sigma = -0,062 f'c + 3990$	$f'b = 0,916 f'c - 6x 10^{-12}$	$FK = 0,00026 f'c - 0.064962$

PEMBAHASAN

Penggunaan panjang dowel sebesar 18 inci, sudah cukup memadai karena penggunaan ukuran dowel saat ini di beberapa negara seperti di Amerika, Jerman, Australia umumnya sudah cukup besar antara 1 sampai 1,5 inci. Indonesia juga menggunakan panjang dowel 18 inci dengan diameter dowel 1 sampai 1,5 inci (Indonesia 2003) Hal ini dikaitkan dengan efektifitas panjang penyaluran beban yang diperlukan hanya 6 kali diameter dowel atau antara 6 dan 7,5 inci saja. Bahkan percobaan yang dilakukan Khazanovich dkk (2009) menunjukkan bahwa panjang dowel yang tertanam hanya 4 inci (dowel 1,25 inci dan 1,5 inci) masih memberikan kinerja yang baik. Begitu juga pergeseran letak sambungan lebih dari 2 inci, tidak menunjukkan perbedaan yang besar pada faulting dan *load transfer* efisiensi dibandingkan dengan letak sambungan yang normal.

Hasil dari evaluasi lapangan perkerasan beton yang telah berumur 12 tahun di Minnesota oleh Burnham (1999) menunjukkan bahwa panjang dowel minimum yang tertanam guna menjaga *faulting* dan *load transfer* efisiensi cukup 64 mm atau 2,5 inci. Panjang dowel 18 inci atau 450 mm sudah mencukupi, termasuk untuk keamanan dalam pelaksanaan bila dowel bergeser ke kiri atau kekanan dari lokasi yang seharusnya.

Perubahan nilai parameter CBR tanah dasar saja hanya akan menaikkan tegangan kerja sedikit, dan faktor keamanan menurun sejalan dengan naiknya nilai CBR. Penurunan

faktor keamanan akibat CBR ini kecil, yang dapat dilihat dari nilai koefisien kemiringan persamaanya hanya sebesar 0,054. Perubahan nilai CBR dari 3% sampai 8%, tetap memberikan keamanan pada sambungan, karena tegangan kerja selalu di bawah dari tegangan ijinnya.

Peningkatan diameter dowel, mempengaruhi penurunan tegangan ijin dan tegangan kerja pada beton dengan cukup berarti, yang dapat dilihat dari masing – masing koefisien kemiringannya sebesar – 8608 dan – 1700 seperti terlihat pada tabel 6 no 2. Namun demikian faktor keamanan meningkat cukup besar sejalan dengan bertambahnya ukuran diameter dowel, yang ditunjukkan oleh koefisiennya sebesar 1,342. Pada gambar 9 terlihat pada ukuran dowel sekitar 1,07 inci tegangan kerja sama dengan tegangan ijin, dan bila ukuran dowel kurang dari 1,07 inci maka tegangan kerja akan lebih besar dari tegangan ijin, sehingga sambungan menjadi tidak aman. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan dowel yang kecil akan memberikan pengaruh yang tidak baik, sehingga penggunaan dowel yang lebih besar sangat diperlukan.

Peningkatan jarak pemasangan antar dowel (a), akan menaikkan tegangan kerja dan menurunkan faktor keamanan. Peningkatan tegangan kerja akibat bertambahnya jarak antar dowel, cukup besar yang ditunjukkan oleh koefisien garis kemiringannya sebesar -8608. Derajat penurunan faktor keamanan disini relatif kecil yang ditandai oleh nilai koefisiennya hanya sebesar – 0,085,

dikarenakan tegangan ijinnya tetap tidak dipengaruhi oleh perubahan jarak antar dowel.

Peningkatan atau penurunan kekuatan beton untuk pelat akan menaikkan atau menurunkan tegangan ijin sesuai dengan rumus (5) yang juga juga terlihat pada gambar 10. Perubahan tersebut cukup besar sesuai dengan koefisien kemiringan sebesar 0,916. Derajat penurunan atau peningkatan tegangan kerja tidak begitu tajam, yang dapat dilihat dari nilai koefisien garis kemiringan hanya sebesar - 0,062. Faktor keamanan akibat perubahan mutu beton sangat kecil yang diperlihatkan dengan koefisien persamaan akibat perubahan mutu beton hanya 0,00026. Kuat tekan beton yang lebih kecil dari 4000 psi akan menyebabkan tegangan kerjanya lebih tinggi dari tegangan ijin, sehingga sambungan menjadi tidak aman.

Perubahan bukaan pada sambungan diakibatkan oleh perbedaan temperatur yang pelat beton antara siang dan malam atau antara satu musim dan musim lainnya, yang akan mempengaruhi kinerja sambungan tersebut. Peningkatan besar celah sambungan akan mengakibatkan peningkatan tegangan kerja dengan sangat berarti yang ditunjukkan oleh koefisien kemiringannya sebesar 1049, sedangkan tegangan ijin tidak akan dipengaruhi. Lebar bukaan yang lebih besar dari sekitar 1,25 inci akan menyebabkan tegangan kerja lebih besar dari tegangan ijin, sehingga sambungan tidak kuat lagi menahan beban. Perubahan derajat faktor keamanan akibat perubahan bukaan ini, cukup kecil yang ditunjukkan oleh koefisien persamaan tersebut hanya sebesar -0,196.

Peningkatan mutu baja untuk dowel yang dinyatakan dengan nilai modulusnya, berpengaruh menurunkan tegangan kerja dengan derajat penurunannya yang tidak besar hanya sebesar $-3 \cdot 10^{-5}$ seperti yang dapat dilihat pada persamaan di tabel 5. Perubahan modulus baja hanya berpengaruh kecil terhadap tegangan kerja, dan untuk rentang mutu baja antara 23×10^6 sampai 36×10^6 menghasilkan semua tegangan kerjanya yang masih dibawah tegangan ijin. Derajat perubahan faktor keamanan akibat perubahan mutu baja juga kecil, yang ditunjukkan oleh

koefisien persamaan tersebut hanya sebesar 1×10^{-8} . Pengaruh kenaikan beban kendaraan yang dinyatakan dengan beban roda, akan menaikkan tegangan kerja dengan tingkat yang cukup besar seperti ditunjukkan oleh koefisien persamaannya sebagaimana diperlihatkan pada tabel 5, sebesar 0,22. Tegangan ijin tidak dipengaruhi oleh perubahan beban ini, serta perubahan derajat faktor keamanan cukup kecil, yang ditunjukkan oleh koefisiennya sebesar -4×10^{-5} . Beban roda diatas sekitar 20500 lbs akan mengakibatkan tegangan kerja lebih besar dari tegangan ijin, sehingga konstruksi sambungan menjadi tidak aman. Hal ini perlu mendapat perhatian yang cukup besar, khususnya di Indonesia, dimana faktor beban berlebih sangat sering dijumpai, seperti di jalur pantai utara Jawa (Pantura), beban kendaraan truk trailer bisa mencapai 34 ton dari ketentuan 22 ton. Truk trailer besar bisa mencapai 41 ton dari maksimum 34 ton. Bahkan truk trailer yang sangat besar bisa mencapai 54 ton dari yang seharusnya 43 ton. (Nurchayha dkk 2012)

Dari semua parameter tersebut, perubahan diameter dowel mempunyai pengaruh yang paling besar baik pada perubahan tegangan yang bekerja, tegangan ijin (bearing strength) maupun perubahan derajat faktor keamanan. Hal ini sesuai dengan kecenderungan penggunaan dowel saat ini yang menggunakan ukuran yang lebih besar. Parameter lainnya yang perlu mendapat perhatian ialah perubahan kuat tekan beton, lebar bukaan sambungan, serta beban roda yang bisa menyebabkan konstruksi sambungan menjadi tidak aman. Pengaruh modulus elastisitas dowel (E_s) memberikan tingkat derajat perubahan tegangan yang bekerja, tegangan ijin dan faktor keamanan yang paling kecil dibanding pengaruh parameter lainnya, begitu juga perubahan nilai CBR tanah dasar.

Hal yang harus diperhatikan ialah bahwa letak dowel pada jejak roda akan dipengaruhi dengan sangat besar oleh perubahan parameter tersebut, dibanding dengan dowel yang letaknya di luar jejak roda kendaraan. Disamping masalah tersebut ketidak sempurnaan pemasangan dowel pada waktu pelaksanaan akan mengurangi efektifitas

penyaluran beban serta meningkatkan bearing stress pada beton disekitar dowel, sehingga dalam pelaksanaan pemasangan dowel harus masih dalam batas toleransi penyimpangan yang diijinkan (Hoegh K and. Khazanovich 2009).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Panjang dowel 18 inci, cukup memadai untuk sambungan pelat beton.
2. Pendistribusian gaya yang bekerja pada dowel, didasarkan atas panjang momen negatif maksimum (L_{MNM}) dari pelat tersebut serta jumlah dowel yang tercakup didalamnya dengan bentuk segitiga, sehingga pembagian beban ke masing masing dowel tidak bisa dianggap sama.
3. Perubahan ukuran diameter dowel, mempunyai efek sensitivitas yang paling besar terhadap tegangan kerja (*bearing stress*), tegangan ijin dan juga terhadap faktor keamanannya, dibanding akibat perubahan parameter lainnya.
4. Perubahan besaran parameter kuat tekan beton, lebar bukaan sambungan dan beban roda tidak sepeka perubahan diameter dowel namun bisa menjadikan sambungan dalam keadaan tidak aman.
5. Perubahan modulus elastisitas baja pada dowel, dan perubahan CBR tanah dasar mempunyai pengaruh sensitivitas yang paling kecil terhadap tegangan kerja, dan derajat perubahan faktor keamanan, sehingga tidak berpengaruh terhadap faktor keamanan sambungan.

Saran

Dalam penentuan ukuran dowel, baik diameter maupun jarak antar dowel pada suatu pekerjaan perkerasan jalan beton perlu dianalisa kembali sesuai dengan keadaan yang dihadapi dan kondisi yang mungkin dicapai

dilapangan, tidak hanya didasarkan atas suatu ketentuan yang sudah baku atau diambil sama untuk semua keadaan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1993. *Guide for design of pavement structures*. Washington, DC.: AASHTO
- Applied Pavement Technology Inc. 2005. *Evaluation Of Alternative Dowel Bar Materials*. Washington, DC: Highway Innovative Technology Evaluation Center Civil Engineering
- Austrroads.2010. *Guide to Pavement Technology*. Sidney: Austrroads
- Barenberg, E. J. and D. M. Arntzen. 1981. "Design of Airport Pavement as Affected by Load Transfer and Support Conditions." *Proceedings of the 2nd International Conference on Concrete*
- Burnham, T.R. 1999. *A Field Study of PCC Joint Misalignment near Fergus Falls*. Minnesota. Report No. MN/RC – 1999-29. Minnesota: Minnesota Department of Transportation.
- Darter et al al. 1985. *Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System (COPES)*.NCHRP Report 277. Washington, DC.TRB.
- Guo, H., J. A. Sherwood and M. B. Snyder. 1996. "Component Dowel Bar Model for Load Transfer Systems in PCC Pavements." *Journal of Transportation Engineering*, Vol.121:pp.289-298.
- Heinrichs, et al. 1987. *Rigid Pavement Analysis and Design*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Hoegh K. and Khazanovich. 2009. *Guidelines for Dowel Alignment in Concrete Pavements*. Washington, DC. National Cooperative Highway Research Program.
- Indonesia. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2003. *Pedoman Perencanaan perkerasan jalan beton semen*. Jakarta: Dep. Permukiman dan Prasarana Wilayah.

- Khanum, T., et al. 2007. *Alternative Dowel Bar Size and Placement in Concrete Pavements*. Transportation Synthesis Report. Wisconsin: Department of Transportation.
- Khazanovich et al. 2009. *Guidelines for Dowel Alignment in Concrete Pavements*. NCHRP Report 637. NCHRP Project 10-69 Final Report. Washington, DC.: TRB.
- Khazanovich, Lev. 2011. Dowel and tie bars in concrete pavement joints: Theory and Practice. *2nd International Conference on best Practices for concrete pavements*. Minnesota: University of Minnesota.
- Mathew, Tom V and K V Krisna Rao 2006. Introduction to Transportation Engineering; Tom V. Mathew and K V Krisna Rao ; Rigid Pavement Design NPTEL May 24, 2006
- Nurcahya, Aldian, dkk. 2012. Naskah ilmiah data base faktor pendukung perencanaan perkerasan (lingkungan, beban, kondisi perkerasan). Bandung: Pusjatan.
- Porter, Max L. and Guinn, Robert J. 2001. *Dowel bar optimization: phase I and II*. Final Report. Iowa: Iowa State University
- Santoso. 2013. Peran Industri Semen Dalam Mendukung Pembangunan di Indonesia. Dalam *Peran Industri Semen Dalam Mendukung Pembangunan di Indonesia*. Medan: ASI.
- Snyder, Mark B. 2011a. *Recommendation for standardized dowel load transfer systems for jointed concrete roadway pavements*. Iowa: NCC.
- _____. 2011b. *Guide to dowel load transfer systems for jointed concrete roadway pavements*. Iowa. Iowa State University.
- Suhardi. 2013. Penggunaan semen pada pekerjaan infrastruktur Jalan di Indonesia. Dalam *Peran Industri Semen Dalam Mendukung Pembangunan di Indonesia*. Medan: ASI.
- Tabatabaie, A. M. 1978. Structural Analysis of Concrete Pavement Joints. Ph.D. Tabatabaie, et al. 1979. *Longitudinal joint systems in slipformed rigid pavements: volume II – Analysis of load transfer systems for concrete pavements*. Report No. DOT/FAA.RD-79/4. Washington, DC.: Department of Transportation.
- Teller and Cashell. 1958. Teller, L.W. and H.D. Cashell. 1958. "Performance of Doweled Joints Under Repetitive Loading." *Public Roads*, 30(1): p.
- Yoder dan Witczak. 1975. *Principles Of Pavement Design*. Second Edition. New York: John Wiley and Sons.