



ANALISIS UJI BEBAN DAN DEFLEKSI AKIBAT PENGARUH PENAMBAHAN PELAT BAJA DI TENGAH LAPIS PERKERASAN STRUKTUR KOMPOSIT

¹⁾Septian Pardamean Hutagaol, ²⁾Yohannes Lulie

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No.44 Yogyakarta

E-mail: ¹⁾ savetian_gaol@yahoo.com ²⁾ y.lulie@uajy.ac.id

ABSTRAK

Resiko dari intensitas akumulasi dan beban muatan berat yang berlebihan dari lalu lintas kendaraan komersial mempercepat kerusakan perkerasan jalan baik di ruas maupun persimpangan jalan raya. Sering dijumpai di belakang garis stop kendaraan pada setiap lengan persimpangan jalan permukaan perkerasan terlihat bergelombang. Deformasi yang muncul pada permukaan jalan akibat kendaraan komersial dengan beban muatan maksimum berulang-ulang saat berhenti.

Tujuan penelitian ini meninjau dua tipe jenis perkerasan plat beton, yaitu perkerasan kaku biasa (PL. I) dan perkerasan struktur komposit (PL. III). Dimensi dari plat perkerasan beton terdiri: panjang (B) = 60 cm, lebar (L) = 60 cm dan tebal (H) = 20 cm. Baja lembaran berukuran (50 cm x 50 cm x 0,2 cm) dipasang di tengah lapis beton. Penghubung geser dipasang pada di atas dan bawah pelat baja dengan diameter (ϕ) = 10 mm, 9 buah pelat baja, guna menahan gaya geser dan menambah kemampuan ikat (bonding strength) dari struktur pelat. Hasil penelitian, kedua tipe perkerasan, yaitu PL. I dan PL. III mampu melebihi beban rencana teoritis sebesar 10,41 ton. Hasil pengujian pembebanan menunjukkan perkerasan tipe PL. III lebih kuat menahan beban maksimum rerata sebesar 12,056 ton dengan defleksi rerata 0,45 mm dari pada perkerasan tipe PL. I sebesar 10,0545 ton dengan defleksi rerata 0,985 mm. Sehingga, pengaruh pelat baja sangat besar dalam menahan beban maksimum terbesar dengan defleksi yang dihasilkan sangat kecil. Pengaruh penambahan pelat baja juga menambah kekuatan sebesar 19,91 % dan mengurangi defleksi sebesar 54,31 %. Jadi, tipe PL. III, perkerasan struktur komposit dengan penambahan pelat baja di tengah lapis beton dapat dijadikan perkerasan alternatif pada perkerasan di belakang garis stop kendaraan di lengan simpang jalan atau di pelat perkerasan kaku di struktur jembatan.

Kata kunci: deformasi, komposit, perkerasan, penghubung geser.

PENDAHULUAN

Permasalahan klasik yang sering dijumpai adanya kendaraan komersial seperti truk di sepanjang jalan dan memiliki beban yang terbesar dari jenis-jenis kendaraan lainnya. Di belakang garis stop di setiap lengan persimpangan jalan dan pada ruas jalan yang dilalui oleh kendaraan berat permukaan perkerasan sering terlihat mengalami deformasi, akibat akumulasi berulang-ulang dari beban berlebih (overload).

Tipe perkerasan yang diusulkan pada penelitian ini adalah perkerasan struktur pelat beton komposit dengan lebaran pelat baja dengan pengikat shear connector, dibandingkan dengan pelat beton bertulang biasa. Tujuan penelitian ini agar Perkerasan struktur komposit dapat menahan beban lebih besar dan defleksi yang terjadi akan jauh lebih kecil dari pada pelat beton tulangan biasa saat intensitas volume lalu lintas kendaraan tinggi..

BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1). mix design rancangan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000,
- 2). material yang digunakan antara lain:
 - a. agregat kasar berupa split lolos saringan 20 mm dari Kulon Progo, Yogyakarta,
 - b. agregat halus berupa pasir berasal dari Sungai Progo, Yogyakarta,
 - c. semen yang digunakan adalah merk "Semen Gresik",
 - d. air dari sumur Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik UAJY,
 - e. tulangan pelat perkerasan digunakan P8 ϕ 8 mm,
- 3). benda uji dibuat sebanyak empat buah, dan diuji setelah umur 28 hari.

KAJIAN PUSTAKA

1. Perkerasan Kaku

Ketebalan perkerasan beton jalan raya biasanya berkisar antara 6 inci sampai 13 inci, digunakan untuk memikul beban-beban lalu lintas berat (heavy traffic loads), tetapi perkerasan kaku ini juga telah digunakan untuk jalan-jalan tol, alteri, kolektor dan lokal (Lulie, 2018).

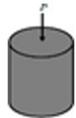
Yoshitake, et.al., (2011) dalam studi tentang composite carbon fiber reinforced polymer (CFRP) strips dengan bermacam-macam angkur untuk perbaikan balok beton. Hasil studi merekomendasi angkur tepi (end-anchorage) menunjukkan suatu parameter yang penting dalam kapasitas memikul beban.

Studi Abbas, et.al., (2015) tentang efek perkuatan CFRP sheet dan textile reinforced mortal (TRM) pada pelat beton bertulang terhadap punching shear strength. Hasil studi menunjukkan kekuatan pelat meningkat 9-18% dalam ultimate punching load (first peak load) pada second peak load penyerapan energi 66% untuk CFRP dan 25-56% untuk TRM. Model analitik juga telah dikembangkan untuk memprediksi punching shear strength pada slab yang diperkuat memperlihatkan perbandingan bagus terhadap hasil experiment.

Studi Biscaia (2018) tentang plat baja berangkur sebagai pengikat antar muka (interfaces) beton dengan fiber reinforced polymers (FRP). Hasilnya terhadap usulan desain ada perbaikan kekuatan ikat (bonding strength) pada antar muka (interfaces) beton dengan FRP.

2. Kuat Desak Beton

Kuat desak beton yang direncanakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, Kuat desak beton yang diisyaratkan (f_c') pada umur 28 hari tidak boleh kurang dari 200 MPa (SNI 03-2847- 2002)



Gambar 1. Kuat desak benda uji silinder

Persamaan yang digunakan untuk memperoleh hasil nilai kuat desak beton adalah: $f_c' = P/A$. Di mana f_c' adalah kuat desak beton (MPa), P adalah beban desak (N) dan A adalah luas bidang yang diuji (mm^2).

3. Beban Maksimum

Beban maksimum yang terlampaui, yaitu berat as kendaraan yang melampaui batas maksimum yang diizinkan (MST = Muatan Sumbu Terberat). Distribusi pembebanan pada masing- masing roda kendaraan menurut Bina Marga (1983), yakni pada Gambar 2.

KONFIGURASI SUMBU & TPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,2Z TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

Gambar 2. Distribusi pembebanan roda kendaraan

4. Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi pada benda uji dalam arah vertikal maupun horizontal akibat pembebanan yang diberikan pada benda uji (Affandi, et.al., 2014). Berdasarkan SNI 03-2847-2002, defleksi maksimum δ yang diizinkan adalah: $\delta = L/240$. Lebar dan panjang benda uji plat beton 600 mm. Sehingga, besar defleksi maksimum yang diizinkan adalah 2,5 mm.

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang akan dilakukan mulai dari tahap persiapan material hingga pembebanan benda uji perkerasan struktur plat beton bertulang biasa dan plat komposit

Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material berupa agregat kasar dan halus dibagi dalam beberapa pengujian diantaranya: berat jenis, penyerapan, kadar lumpur, kadar air, kandungan organik pada agregat halus.

Perencanaan Benda Uji

Data pemeriksaan material berguna untuk perencanaan perhitungan rencana campuran beton (mix design), dan perencanaan dimensi plat beton perkerasan struktur

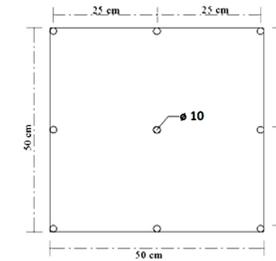
Pembuatan Bekisting

Bekisting merupakan cetakan awal benda uji dengan ukuran bagian dalam 60 mm x 60 mm x 25 mm dari papan kayu sengon.

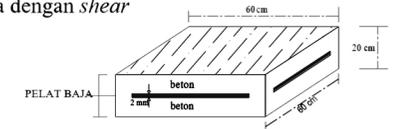
Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan benda uji yaitu perkerasan plat biasa dan struktur komposit dibuat serupa bentuk plat beton dengan rangkaian tulangan baja diameter 8 mm. Dimensi perencanaan perkerasan struktur komposit adalah 60 cm x 60 cm x 20 cm dengan pelat baja lembaran di tengah lapisan beton dimensi 50 cm x 50 cm x 0,2 cm terpasang shear connector (stud) berjumlah 9 buah di atas dan di bawah pelat baja. Stud berupa baja tulangan polos diameter 10 mm. Detail benda uji dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Pembuatan silinder beton untuk kuat desak beton dan kelayakan beton sesuai campuran adukan beton (mix design). Perkerasan struktur komposit yang telah jadi diberi pengkodean nama, juga kode benda uji silinder. Hasil uji kuat desak beton f_c' pada Tabel 1 dan Tabel 2:



Gambar 4. Dimensi pelat baja dengan shear connector



Gambar 3. Dimensi perkerasan struktur komposit

Tabel 1. Kode jenis perkerasan

Jenis perkerasan	Kode benda uji	
Perkerasan biasa	PL I A	PL I B
Perkerasan struktur komposit	PL III A	PL III B

Tabel 2. Kode silinder beton

Kode silinder beton					
SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6

Perawatan Benda Uji

Setelah silinder beton dibuat, hari berikut cetakan dibuka dan direndam dalam air selama 28 hari. Selanjutnya pembuatan benda uji perkerasan struktur plat biasa dan komposit. Proses perawatannya dengan menutupi permukaan beton dengan karung dan disiram air. Perawatan dilakukan selama 28 hari.

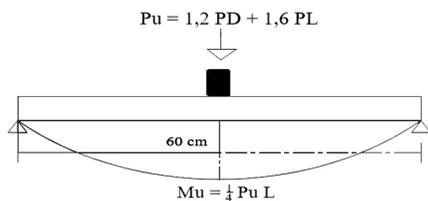
Pengujian Benda Uji

Proses pembebanan dilakukan dengan maksud dan tujuan yaitu mengetahui beban muatan maksimum dan seberapa besar defleksi yang terjadi saat pembebanan. Beban yang dimaksud adalah beban merata sesuai roda ban truk dalam posisi berhenti dan diskala perbandingan 1 : 2, dengan menumpu pada profil baja WF yang berukuran 10 cm x 20 cm x 1 cm. Pembebanan perkerasan plat benda uji menggunakan alat Loading Frame, beban dari Hydraulic Jack, defleksi dari LVDT dan semua data diolah dengan DEWETRON 401.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas diasumsikan sebagai beban rencana secara teoritis diacukan pada kemampuan batas layanan beban maksimum pelat beton perkerasan. Jenis kendaraan yang digunakan adalah Truk MAN Tipe TGS 33.360. Beban rencana yang digunakan berasal dari sumbu belakang kendaraan dengan spesifikasi sesuai Tabel 3.



Gambar 5. Prinsip beban pada balok sederhana

Perhitungan beban rencana teoritis:

$$\begin{aligned} \text{Berat total truk} &= \text{berat kosong} + \text{daya angkut} \\ &= 9135 + (180 + 20500) \\ &= 19815 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } P_D \text{ sumbu belakang} &= 0,75 \times 9135/2 \\ &= 3425,625 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } P_L \text{ sumbu belakang} &= 0,75 \times 10500/2 \\ &= 3937,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban terfaktor } P_u &= 1,2 P_D + 1,6 P_L \\ &= 1,2(3425,625) + 1,6(3937,5) \\ &= 10410,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pemeriksaan Agregat

Agregat terbagi menjadi 2 jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Jenis pemeriksaan dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari hasil pemeriksaan tersebut, agregat kasar dan agregat halus telah memenuhi syarat dan bisa digunakan pada rencana adukan beton. Pada perencanaan adukan beton untuk pengecoran 1 pelat dengan volume 0,072 m³ dibutuhkan:

semen = 55,7 kg	air = 25 liter
pasir = 98,5 kg	agregat = 160,6 kg

Uji Slump

Hasil uji slump pada Tabel 5. Pengujian slump memiliki nilai antara 5,1167 cm sampai 7,1883 cm, sehingga memenuhi syarat untuk silinder beton dan perkerasan struktur komposit. Nilai slump beton untuk perkerasan jalan berkisar antara 5 sampai 7,5 cm.

Kuat Tekan Silinder Beton

Kuat tekan silinder beton yang akan diuji setelah 28 hari sebagai pembanding dengan f_c' rencana pada campuran adukan beton (mix design) sesuai untuk membuat perkerasan struktur komposit.

Dari data pada Tabel 6, hasil pengujian kuat tekan beton sesuai dengan perencanaan awal campuran adukan beton, yakni 25 MPa. Oleh karena itu, mix design adukan beton dapat digunakan.

Hasil Pengujian Beban Maksimum

Pengujian beban maksimum perkerasan struktur komposit menggunakan Hydraulic Jack dengan kapasitas 25 ton di atas Loading Frame dan diolah menggunakan komputer DEWETRON. Masing-masing benda uji dibuat 2 varian sebanyak 2 buah benda uji, agar mendapatkan perbandingan rata-rata dari beban maksimum dan tingkat kerusakannya.

Pada pengujian tersebut, diperoleh beban maksimum dan defleksi akibat beban maksimum. Dari visualisasi pada benda uji adanya retak halus pada bagian samping perkerasan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 7.

Secara grafis pada Gambar 6, dianalisis ada korelasi antara beban maksimum dengan defleksi secara berurutan untuk ke empat benda uji yaitu saat beban: 12,056 ton; 8,053 ton; 12,056 ton; 12,056 ton, bahwa terjadi peningkatan gaya beban dari benda uji PL. III terhadap benda uji PL. I. Penambahan pelat baja di tengah ketebalan lapisan pelat beton berpengaruh terhadap kemampuan eksternal layanan beban maksimumnya.

Analisis Beban Maksimum, Defleksi dan Deformasi Perkerasan Struktur Komposit Dari data Tabel 8, dapat ditarik kesimpulan bahwa benda uji PL III lebih besar menahan beban

Tabel 3. Spesifikasi perencanaan pembebanan truk

Berat kosong kendaraan	9135	kg
Panjang kendaraan	7192	mm
Lebar kendaraan	2472	mm
Tinggi kendaraan	3110	mm
Jumlah berat yang dibenarkan	26000	kg
Jumlah berat yang diizinkan	20500	kg
Muatan sumbu terberat	7500	kg
Daya angkut:		
3 Orang (60 kg/org)	180	kg
Barang	10500	kg

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Agregat

Jenis pemeriksaan	Agregat		Satuan
	kasar	halus	
Berat jenis	2,52	2,74	-
Penyerapan	2,00	1,21	%
Kadar air	1,17	0,55	%
Kadar lumpur	1,00	0,50	%
Kandungan organik	-	No. 5	-

Tabel 5. Nilai uji slump

Kode Benda uji	Nilai slump (cm)			Nilai slump rata-rata (cm)
	(1)	(2)	(3)	
SP1	7,25	7,00	7,30	7,1833
SP2	6,50	6,25	6,30	6,3500
SP3	5,25	5,10	5,00	5,1167
SP4	5,40	5,25	5,25	5,3000
SP5	5,50	5,45	5,50	5,4833
SP6	5,90	6,20	6,00	6,0333

Tabel 6. Hasil pengujian kuat desak silinder beton

Kode silinder	Luas silinder	Beban mak.	f_c'
	mm ²	kN	MPa
SP 1	7853,98	202,00	25,72
SP 2	7853,98	205,00	26,10
SP 3	7853,98	214,00	27,25
SP 4	7853,98	207,00	26,35
SP 5	7853,98	218,00	27,76
SP 6	7853,98	204,00	25,97
Rata - Rata		208,33	26,52

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Agregat

Jenis pemeriksaan	Agregat		Satuan
	kasar	halus	
Berat jenis	2,52	2,74	-
Penyerapan	2,00	1,21	%
Kadar air	1,17	0,55	%
Kadar lumpur	1,00	0,50	%
Kandungan organik	-	No. 5	-

Tabel 5. Nilai uji slump

Kode Benda uji	Nilai slump (cm)			Nilai slump rata-rata (cm)
	(1)	(2)	(3)	
SP1	7,25	7,00	7,30	7,1833
SP2	6,50	6,25	6,30	6,3500
SP3	5,25	5,10	5,00	5,1167
SP4	5,40	5,25	5,25	5,3000
SP5	5,50	5,45	5,50	5,4833
SP6	5,90	6,20	6,00	6,0333

Tabel 6. Hasil pengujian kuat desak silinder beton

Kode silinder	Luas silinder	Beban mak.	f_c'
	mm ²	kN	MPa
SP 1	7853,98	202,00	25,72
SP 2	7853,98	205,00	26,10
SP 3	7853,98	214,00	27,25
SP 4	7853,98	207,00	26,35
SP 5	7853,98	218,00	27,76
SP 6	7853,98	204,00	25,97
Rata - Rata		208,33	26,52

Tabel 7. Hasil pengujian beban dan defleksi

Beban (kg)	Defleksi (mm)			
	Kode benda uji			
	PL I A	PL I B	PL III A	PL III B
0	0	0	0	0
380	0	0	0	0
713	0	0	0	0
1047	0	0	0	0,21
1331	0	0	0	0,26
1744	0	0	0	0,3
2048	0	0,09	0	0,32
2381	0	0,16	0	0,36

Tabel 8. Analisis beban maksimum dan defleksi

Kode Benda uji	Jenis benda uji	Beban mak. Ton	Defleksi mm
PL I A	Perkerasan kaku biasa	12,056	1,09
PL I B			
Rerata PL I		10,0545	0,985
PL III A	Perkerasan struktur komposit	12,056	0,26
PL III B			
Rerata PL III		12,056	0,45

2715	0	0,27	0	0,39
3048	0	0,33	0	0,42
3382	0	0,36	0	0,44
3745	0	0,38	0	0,46
4049	0	0,42	0	0,48
4381	0	0,48	0	0,5
4717	0	0,52	0	0,52
5050	0	0,55	0	0,53
5284	0	0,59	0	0,55
5718	0,05	0,65	0	0,57
6051	0,25	0,67	0	0,58
6385	0,48	0,72	0	0,6
6718	0,53	0,74	0	0,62
7052	0,57	0,78	0,02	0,63
7386	0,59	0,82	0,03	0,65
7719	0,63	0,84	0,04	0,66
8053	0,65	0,88	0,06	0,67
8386	0,67	1,24	0,08	0,7
8720	0,7	1,33	0,09	0,71
9054	0,73	1,39	0,11	0,72
9387	0,77	1,58	0,13	0,73
9721	0,82	1,72	0,14	0,74
10054	0,87		0,16	0,76
10388	0,92		0,18	0,77
10722	1		0,19	0,78
11055	1,03		0,21	0,79
11389	1,05		0,22	0,81
11723	1,07		0,24	0,83
12056	1,09		0,26	0,84
12390	1,55		1,33	1,59
12723	1,73		1,64	1,77
13057	1,96		1,89	1,89
13391			2,1	2,43
13724			2,22	
14058			2,32	

Note: Wama kuning adalah beban saat retak pertama

hingga maksimum dari pada benda uji PL I dan ditinjau dari defleksi yang terjadi, benda uji PL III mengalami defleksi sebesar 0,45 mm akibat beban maksimum sebesar 12,056 ton. Hitungan peningkatan kekuatan beban dari data yang didapat, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Beban PL. III} - \text{Beban PL. I} \\ & \frac{\text{Beban PL. I}}{\text{Beban PL. I}} \times 100\% \\ & = \frac{12,056 - 10,0545}{10,0545} \times 100\% \\ & = 19,91\% \end{aligned}$$

Penurunan defleksi yang terjadi:

$$\begin{aligned} & \text{Defleksi PL. I} - \text{Defleksi PL. III} \\ & \frac{\text{Defleksi PL. I}}{\text{Defleksi PL. I}} \times 100\% \\ & = \frac{0,985 - 0,45}{0,985} \times 100\% \\ & = 54,31\% \end{aligned}$$

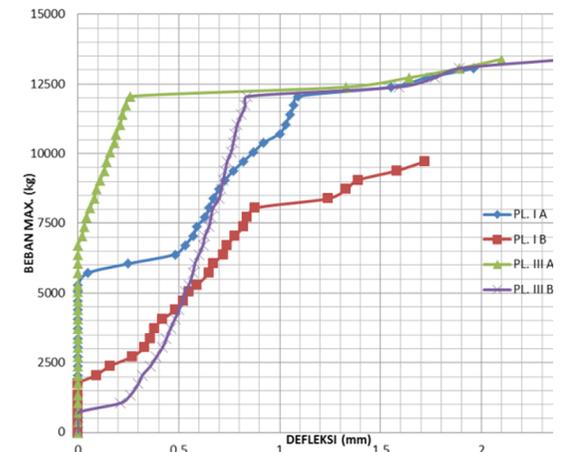
Defleksi yang terjadi pada seluruh perkerasan struktur komposit telah memenuhi syarat yang ditentukan. Syarat defleksi maksimum adalah: $\delta = 600/240 = 2,5$ cm. Sedangkan, defleksi pada PL. I rerata sebesar 0,985 mm dan defleksi pada PL. III rerata sebesar 0,45 mm. Kedua jenis perkerasan memenuhi syarat defleksi maksimum, saat diuji beban maksimum.

Kesimpulan : Dari analisis data, menyimpulkan bahwa perkerasan struktur komposit dengan penambahan pelat baja di tengah ketebalan lapisan beton (PL. III) dapat menahan beban maksimum rerata 12,056 ton lebih kuat dari pada perkerasan kaku biasa (PL. I) yang hanya mengatasi beban hingga 10,0545 ton. Defleksi yang terjadi pada perkerasan struktur komposit rerata (PL. III) sebesar 0,45 mm lebih kecil dari pada perkerasan kaku biasa (PL. I) sebesar 0,985 mm. Jadi, dengan defleksi terkecil perkerasan struktur komposit mampu menahan beban maksimum, ditinjau dari peningkatan kekuatan sebesar 19,91 % dari perkerasan kaku biasa, serta mengatasi penurunan defleksi sebesar 54,31 % karena pengaruh pelat baja lembaran di tengah ketebalan lapisan beton perkerasan. Kemampuan perkerasan struktur komposit sangat baik digunakan pada jalan raya dengan penambahan lembaran pelat baja.

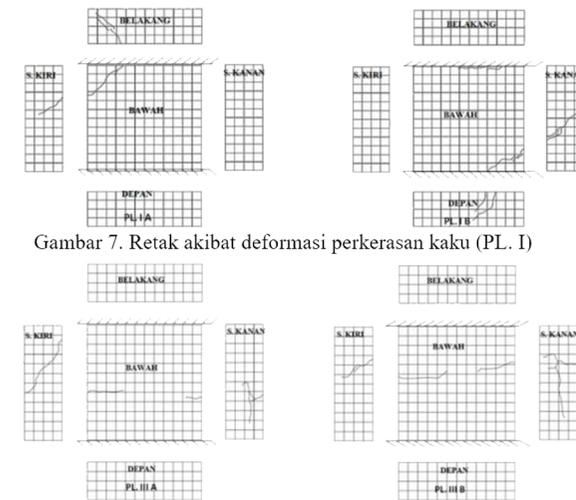
Dari analisis Gambar 6, 7, dan 8 menunjukkan bahwa struktur pelat PL. III lebih baik dari pada PL. I, yang berarti perkerasan struktur komposit lebih baik dari pada perkerasan kaku biasa. Sehingga, adanya pelat baja juga berpengaruh pada deformasi yang terjadi menambah kualitas perkerasan.

Retak yang terjadi pada pelat beton biasa PL. I A dan PL. I B merupakan retak halus yang berada di daerah tarik beton, namun kerusakan pada tumpuan akibat adanya kelemahan pada daerah yang ditumpu. Berbeda perilaku dengan PL. I B yang dikarenakan kurang pemadatan saat proses pengecoran, sehingga terdapat kerusakan terlebih dahulu berupa rongga-rongga yang kemungkinan terdapat di dalam beton.

Retak pertama pada pelat beton PL. III A dan PL. III B terjadi pada sisi-sisi di samping perkerasan sesuai asumsi, karena saat pembebanan rencana berada di tengah bentang, sehingga saat pengujian retak pertama terjadi di sisi-sisi samping dan di tengah daerah komposit perkerasan. Hal ini, mendukung defleksi yang terjadi lebih kecil dari pada perkerasan



Gambar 6. Grafik korelasi beban maksimum dan defleksi



Gambar 7. Retak akibat deformasi perkerasan kaku (PL. I)

Gambar 8. Retak akibat deformasi perkerasan struktur komposit (PL. III)

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H., et al., 2015, Effect of CFRP and TRM Strengthening of RC Slabs on Punching Shear Strength, *Latin America Journal of Solid and Structure* 12-2015, pp. 1616-1640.
- Affandi, D.Z., et al., 2014, Defleksi Balok Melintang dan Tegangan Batang Diagonal Tepi Jembatan "Boomerang Bridge" Akibat Variasi Posisi Pembebanan, *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bravijaya*, vol.1, no.2, pp. 431-438.
- Biscaia, H., 2018, Design Method and Verification of Steel plate Anchored floor FRP-to-Concrete bonded Interfaces, *Composite Structures* 192, pp. 52-66.
- Dinas Pekerjaan Umum, 1983, *Manual Perkerasan Jalan dengan Alat Benkelman Beam (No. 01/MN/BM/1983)*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Lulie, Y., 2018, Modul: *Desain Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Panitia Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03- 2847-2002)*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Yoshitaqke, Y., et al., 2011, Composite Strips with Various Anchor Systems for Retrofitting Concrete Beams, *International Journal of Concrete Structures and Material*, vol 5, no1, pp. 43-48.