

# ANALISIS TEGANGAN DAN MODIFIKASI METODE PENGUJIAN KUAT GESER ANTARA LAPIS BETON LAMA DENGAN BETON BARU

Slamet Widodo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY  
E-mail: swidodo@uny.ac.id

## ABSTRACT

*This paper presents the results of the stress distribution analysis on various methods of shear strength test to assess the interface strength between the old and new concrete layers. The shear strength test methods that studied were SHRP dual L-shape test, bi-surface shear test, modified guillotine test, modified FIP direct shear test, and push-out test. The stress distribution results were then used as the basis for the evaluation and modification of the test method of shear strength which is expected to be carried out more easily and gives accurate results. The proposed method is hereinafter referred to as a modified bi-surface shear test with 200x200x200 mm test dimension, 50 mm overlay thickness, using 3 (three) steel plate supports with 50 mm, 100 mm, and 50 mm supported, mounted symmetrical with reference to the position of the shear plane. This method was then applied for the test of 15 shear test variants with a total of 45 samples. Experimental test results show that the proposed method gives an acceptable result with coefficient of variations ranging from 1.322% to 3.054%.*

**Keywords:** stress distribution, old and new concrete interface, shear strength.

## ABSTRAK

Makalah ini menyajikan hasil analisis distribusi tegangan pada berbagai metode pengujian kuat geser *interface* antara lapis beton lama dengan beton baru. Metode uji kuat geser yang dikaji adalah *SHRP dual L-shape test, bi-surface shear test, modified guillotine test, modified FIP direct shear test, dan push-out test*. Distribusi tegangan yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi dan modifikasi metode pengujian uji geser yang diharapkan dapat dilaksanakan dengan lebih mudah dan memberikan hasil yang akurat. Usulan metode yang dihasilkan selanjutnya disebut sebagai *modified bi-surface shear test* dengan dimensi benda uji 200x200x200 mm, tebal lapis *overlay* 50 mm, menggunakan 3 (tiga) tumpuan plat baja dengan lebar tumpuan 50 mm, 100 mm, dan 50 mm, yang dipasang simetris dengan acuan posisi bidang geser. Metode ini diterapkan pada pengujian 15 varian uji geser dengan total benda uji sebanyak 45 sampel. Hasil uji eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memberikan hasil yang cukup baik dengan nilai *coefficient of variations* berkisar antara 1,322% hingga 3,054%.

**Kata Kunci:** distribusi tegangan, *interface* beton lama dan beton baru, kuat geser.

## PENDAHULUAN

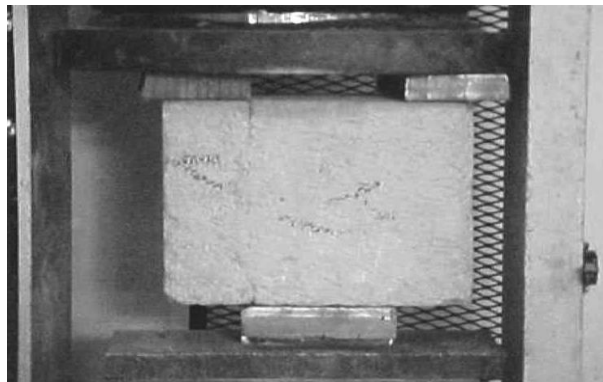
Sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi konstruksi beton, saat ini dapat ditemui secara luas aplikasi beton komposit (*composite concrete*), di mana pada suatu penampang elemen struktur beton bertulang digunakan dua lapis beton atau lebih, dan masing-masing lapis beton memiliki karakteristik fisik ataupun mekanik yang berbeda. Aplikasi *composite concrete* antara lain dapat dijumpai pada sistem konstruksi *partial depth precast concrete*, di mana beton pracetak (*precast*), baik jenis *reinforced* ataupun *prestressed concrete* dimanfaatkan sebagai *stay in place formwork* untuk

pengecoran beton insitu (*cast in place*). Teknologi ini dikembangkan dengan tujuan percepatan masa konstruksi, penghematan biaya konstruksi khususnya bekisting (*conventional formwork*), atau bahkan dengan tujuan penghematan baja tulangan. Salah satu contoh aplikasinya adalah konstruksi *partial-depth precast concrete deck panels*.

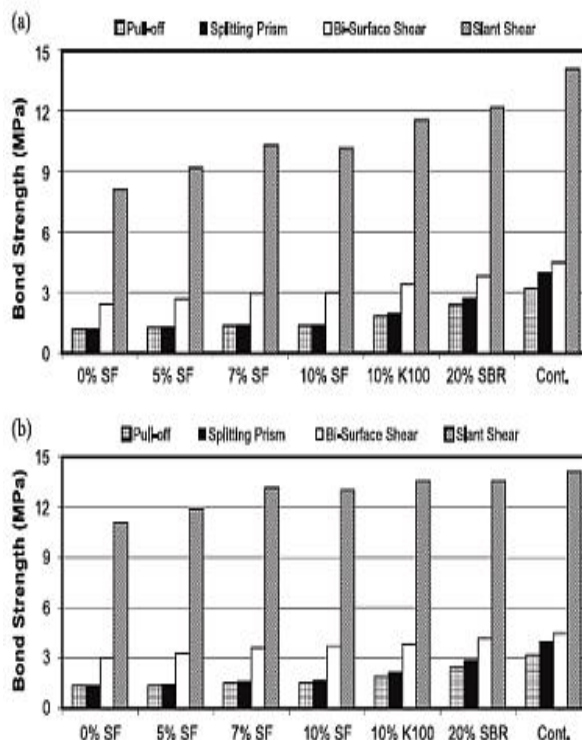
Pada umumnya, elemen struktur diharapkan dapat bekerja secara monolith. Oleh karena itu, kekuatan lekatan antara dua lapis beton yang digunakan akan menjadi faktor yang sangat menentukan. Pada konstruksi *composite concrete*, terjadinya retak-retak maupun

delaminasi awal pada *interface* harus diminimalisir. Setelah struktur digunakan, komponen gaya yang luar yang dapat menyebabkan terpisahnya dua lapis beton adalah gaya geser dan gaya tarik tegak lurus bidang geser. Dengan demikian, gaya-gaya tersebut harus dapat ditanggulangi (Silfwerbrand, 2003). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan lekatan antara dua lapis beton yang berbeda umur.

Hasil pengujian kuat geser *interface* beton lama dengan beton baru dilaporkan oleh Momayez et al. (2004), dalam pengujian yang dilaksanakan dengan *metode bi-surface shear test* seperti terlihat pada Gambar 1, dapat diketahui bahwa penambahan 7% *silica fume* dapat meningkatkan kekuatan *interface* sebesar 25%. Hasil penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Pengujian Kekuatan Geser *Interface* dengan Metode *Bi-Surface Shear Test* (Momayez et al., 2004)



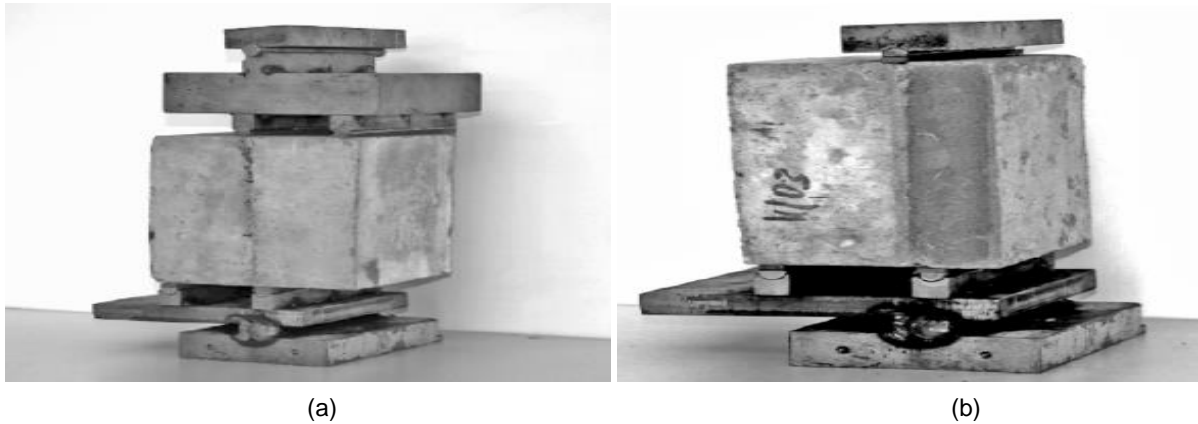
Gambar 2. Efek Penambahan *Silica Fume* terhadap Kuat Geser *Interface* (a) *Low Roughness* dan (b) *High Roughness* (Momayez et al., 2004)

Dalam penelitian oleh Beushausen dan Alexander (2010), dilakukan pengujian kekuatan geser *interface* antara beton lama

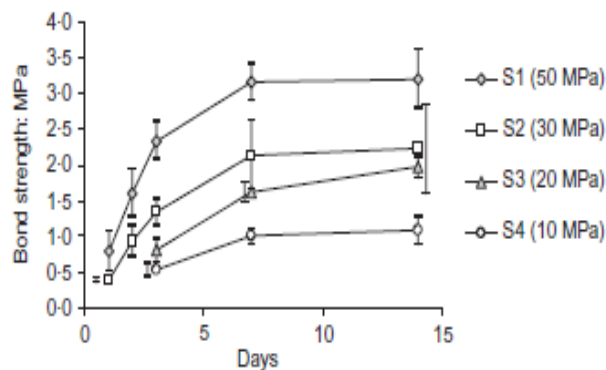
dengan beton baru untuk mengetahui perkembangan kekuatan geser *interface* menurut fungsi umur *overlay*. Pengujian

tersebut dilakukan dengan metode *direct shear test* dan *guillotine test* seperti ditunjukkan pada

Gambar 3.



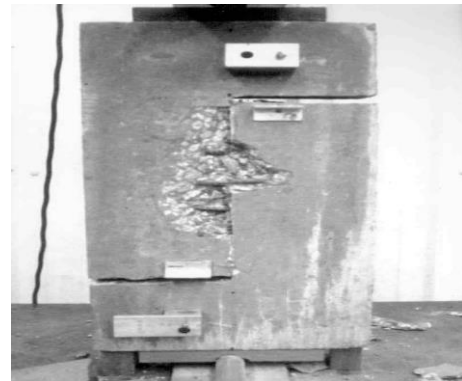
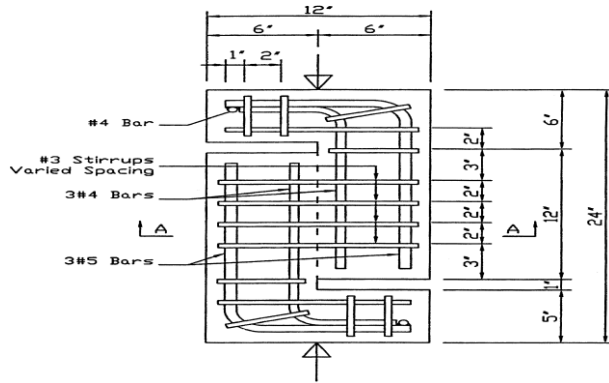
Gambar 3. Pengujian Kekuatan Geser *Interface* dengan (a) Metode *Direct Shear*, dan (b) *Guillotine Test* (Beushausen dan Alexander, 2008)



Gambar 4. Hubungan antara Kekuatan Geser *Interface* dan Umur Beton *Overlay* dengan Perbedaan Kuat Tekan *Overlay* (Beushausen dan Alexander, 2008)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Beushausen dan Alexander (2008), menunjukkan bahwa kekuatan *interface* berkaitan erat dengan kekuatan tekan beton *overlay*. Rasio antara kekuatan *interface* dengan kuat tekan beton *overlay* bernilai sekitar 0,1. Nilai rasio kekuatan *interface* terhadap kuat tekan beton *overlay* akan berkurang seiring

dengan peningkatan kuat tekan beton *overlay*. Detail hasil pengujian kekuatan *interface* dalam penelitian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Dalam penelitiannya, Kahn dan Mitchell (2002), melakukan pengujian kuat geser *interface* dengan material beton mutu tinggi. Pengujian dilakukan dengan benda uji berbentuk *double L-shape* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Detail Pengujian Geser *Interface* dengan Metode *Double L-Shape* (Kahn dan Mitchell, 2002)

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, Kahn dan Mitchell (2002) mengusulkan formula kekuatan geser *interface* untuk permukaan yang dikasarkan dengan material beton mutu tinggi. Formula yang diusulkan dapat dicermati pada Persamaan 1 berikut:

$$v_u = 0,05.f'_c + 1,4\rho_v.f_y \leq 0,2f'_c \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

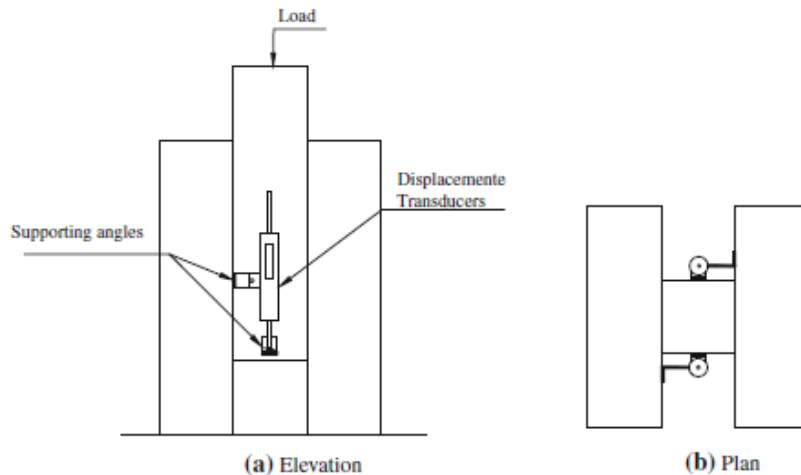
- $v_u$  : tegangan geser *ultimate* (psi)
- $\rho_v$  : rasio tulangan geser friksi
- $f'_c$  : kuat tekan karakteristik beton (psi)

$f_y$  : kuat leleh baja (psi)

$\sigma_n$  : tegangan normal (psi)

Dengan batasan nilai  $f_y$  tidak melampaui 60 ksi ( $\pm$  413,7 MPa).

Dalam penelitian oleh Shehata et al. (2010), dilakukan pengujian kekuatan geser *interface* untuk elemen beton pracetak. Pengujian dilakukan dengan metode *push out test* seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Detail Pengujian Geser *Interface* dengan Metode *Push Out Test* (Shehata et al., 2010)

Berdasarkan analisis dari hasil penelitian yang telah dilakukan, Shehata et al. (2010) mengusulkan formula kekuatan geser *interface* untuk sambungan elemen beton pracetak. Formula yang diusulkan dapat dilihat pada Persamaan 2 berikut:

$$\tau_u = \mu \cdot \rho_t f_{yt} + \tau_0 \leq 0,25.f'_c \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- $\tau_u$  : kekuatan geser *ultimate*
- $\mu$  : koefisien friksi (= 0,75)
- $\tau_0$  : kohesi (=  $0,2.f'_c{}^{2/3}$ )
- $\rho_t$  : rasio luasan *steel connector*
- $f_{yt}$  : kuat leleh baja

Makalah ini menyajikan evaluasi terhadap beberapa model pengujian kuat geser antara dua lapis beton yang berbeda umur untuk

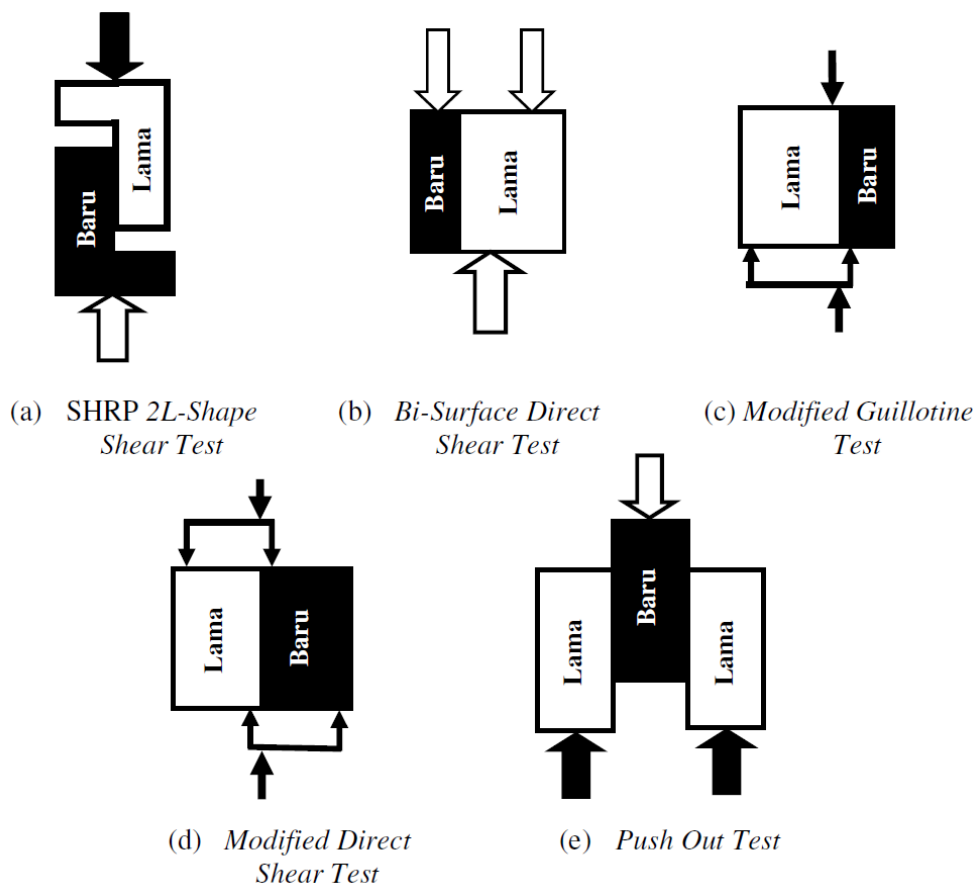
memperoleh metode pengujian yang lebih mudah dilaksanakan namun diharapkan tetap

memberikan hasil yang dapat diterima kebenarannya.

## METODE

Metode pengujian eksperimental terhadap kuat geser pada daerah sambungan antara beton lama dengan beton baru telah dikembangkan

oleh beberapa peneliti sebelumnya. Bentuk benda uji berikut cara pembebanan dari metode-metode yang pernah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Skema Kerja berbagai Teknik Pengujian Kuat Geser Beton Lama dengan Beton Baru.

Berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan sebelumnya, ditemukan sedikitnya ada 5 (lima) model uji fisik yang telah dikembangkan. Model uji fisik tersebut adalah:

- (1) SHRP *Dual L-Shape Test*: dikembangkan oleh *Strategic Highway Research Program* pada tahun 1993, terdiri atas dua *L-shaped segment*, masing-masing berdimensi 380x305x150 mm sehingga ukuran keseluruhannya

adalah 810x305x150 mm. (Gillum et al., 2001).

- (2) *Bi-surface Shear Test*: dimensi benda uji 150x150x150 mm, tebal lapis *substrate* 100 mm, lapis *overlay* 50 mm, menggunakan 3 (tiga) tumpuan plat baja dengan lebar tumpuan masing-masing 50 mm, yang dipasang simetris dengan acuan posisi bidang geser (Momayez et al., 2005).

- (3) *Modified Guillotine Test*: dimensi benda uji 150x150x115 mm, tebal *substrate* 75 mm, lapis *overlay* 40 mm, digunakan 3 (tiga) tumpuan plat baja, dua di antaranya dipasang pada posisi bidang geser (Beushausen and Alexander, 2008).
- (4) *Modified FIP Direct Shear Test*: dimensi benda uji 150x150x150 mm, tebal lapis *substrate* 75 mm, lapis *overlay* 75 mm, menggunakan 4 (empat) tumpuan plat baja, dipasang simetris terhadap posisi bidang geser (Beushausen and Alexander, 2008).
- (5) *Push-Out Test*: terdiri atas tiga segment balok berukuran 150x150x300 mm, dua lapis *substrate* masing-masing berada di bagian tepi, dan satu segment lapis *overlay* dicor diantara kedua lapis *substrate* dengan selisih ketinggian 50 mm (Qian et al., 2009).

Untuk mendapatkan metode pengujian yang lebih representatif dalam menggambarkan kuat geser beton lama dan beton baru, maka dilakukan analisis distribusi tegangan pada masing-masing metode pengujian. Analisis tegangan pada metode pengujian *SHRP Dual*

*L-Shape Test*, dan *Push-Out Test* dilakukan dengan anggapan beban bekerja secara merata di sepanjang bidang tumpuan. *Bi-surface Shear Test* dianalisis dengan asumsi beban yang bekerja berupa deformasi yang terjadi merata pada salah satu sisi bidang tumpuan. Sedangkan untuk metode *Modified Guillotine Test* dan *Modified FIP Direct Shear Test*, dilakukan analisis dengan beban titik yang ditempatkan dengan memperhatikan posisi resultan gaya agar dipenuhi prinsip keseimbangan. Analisis tegangan dilakukan dengan metode elemen hingga linear 2 (dua) dimensi menggunakan elemen segi empat dengan perangkat lunak berbasis *finite element method*. Nilai modulus elastisitas lapis *substrate* diasumsikan sama dengan modulus elastisitas lapis *topping*.

Hasil modifikasi metode pengujian kuat geser *interface* selanjutnya diaplikasikan untuk menguji kuat geser antara lapis *substrate* yang dibuat dengan beton ringan berserat campuran dengan lapis *topping self-compacting concrete (SCC)* dengan variasi pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matrix Pengujian Kuat Geser *Interface* Beton Lama dan Beton Baru

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Lapis <i>Topping SCC</i>					<i>Finishing Permukaan Substrate</i>			Jumlah Benda Uji
	20	30	40	50	60	<i>As placed</i>	Kasar Longitudinal	Kasar Transversal	
H20	■					■			3
H30		■				■			3
H40			■			■			3
H50				■		■			3
H60					■	■			3
L20	■					■			3
L30		■				■			3
L40			■			■			3
L50				■		■			3
L60					■	■			3
T20	■					■		■	3
T30		■				■		■	3
T40			■			■		■	3
T50				■		■		■	3
T60					■	■		■	3
								<b>Total</b>	<b>45</b>

Pengujian kekuatan geser *interface* antara *Hybrid Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete/HyFRLWAC* (beton ringan berserat

campuran) sebagai lapis *substrate*. Beton ringan dibuat menggunakan agregat kasar *pumice breccia* dengan penambahan serat

polypropylene dan serat baja seperti tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Adukan Beton untuk Optimasi Kuat Tekan Beton Ringan Struktural dengan Agregat Kasar Breksi *Pumice*

Air	Semen Portland	Silica Fume	Agregat Kasar	Agregat Halus	Plasticizer	Set Retarder	Polypropylene	Steel fiber
225 kg	455 kg	45 kg	606,81 kg	538,52 kg	4.7 lt	0.7 lt	0.9 kg	67 kg

SCC digunakan sebagai lapis *topping*. Beton jenis ini umumnya diproduksi pada rentang kuat tekan antara 34,5 MPa hingga 60 MPa, sedangkan SNI 2847:2013 mempersyaratkan kekuatan tekan minimal beton normal untuk keperluan struktural sebesar 17 MPa, maka dalam penelitian ini digunakan lapis *topping* SCC dengan kekuatan tekan rencana sebesar

20 MPa, 30 MPa, 40 MPa, 50 MPa, dan 60 MPa. Perencanaan campuran adukan SCC yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada metode yang diusulkan oleh Kheder dan Al Jadiri (2010). Adapun komposisi SCC yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

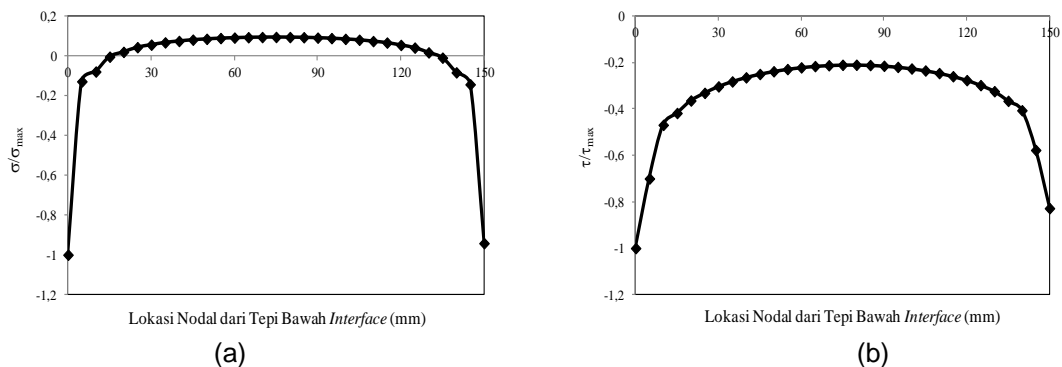
Tabel 3. Komposisi Adukan Beton *Self-Compacting Concrete (SCC)*

Komposisi Material	Target Mutu Beton SCC (MPa)				
	20	30	40	50	60
Air (kg)	178.5	175.0	171.5	168.5	164.5
Semen (kg)	255.0	318.2	398.8	481.4	498.5
Serbuk Kapur (kg)	229.8	188.2	133.1	79.2	80.3
Agregat Kasar (kg)	806.0	806.0	806.0	806.0	806.0
Agregat Halus (kg)	769.7	766.8	762.8	755.0	750.5
Viscoflow (kg)	1.5	1.9	2.4	2.9	3.0
(ml)	1416.7	1767.7	2215.8	2674.6	2769.4
Plastiment VZ (kg)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7
(ml)	324.2	404.5	507.0	612.0	633.7
Kuat Tekan Rerata (MPa)	31.30	34.51	42.99	51.66	61.85

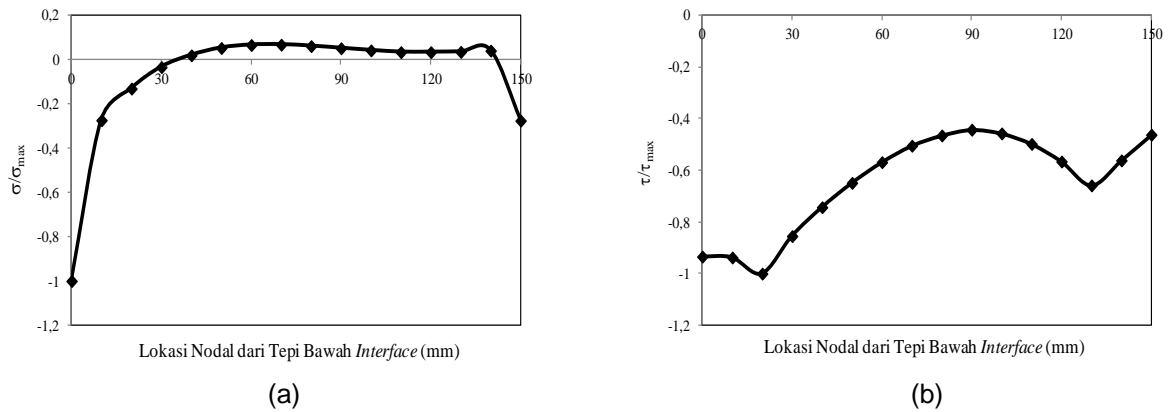
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil distribusi tegangan geser dan normal pada bidang uji geser untuk masing-masing metode telah dianalisis dan hasilnya

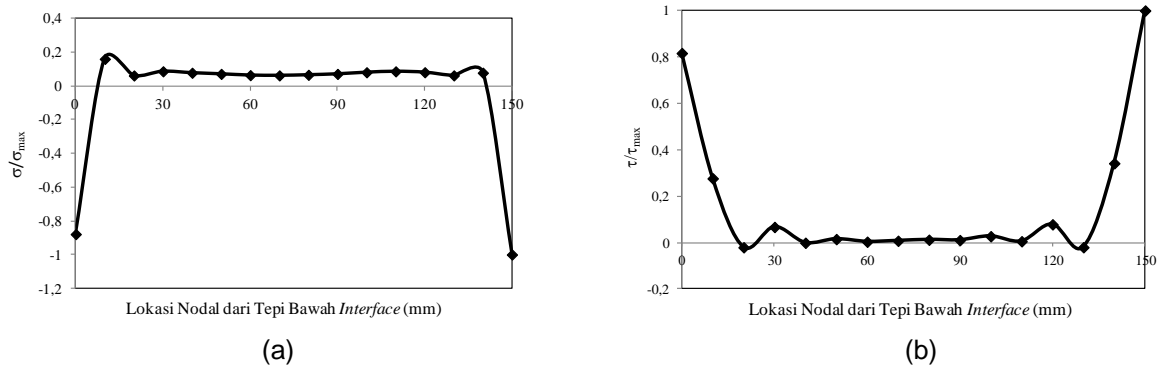
ditunjukkan pada Gambar 8 (*2L shape*), Gambar 9 (*Bi-Surface Shear*), Gambar 10 (*Modified Guillotine*), Gambar 11 (*Modified FIP Direct Shear Test*) dan Gambar 12 (*Push Out test*).



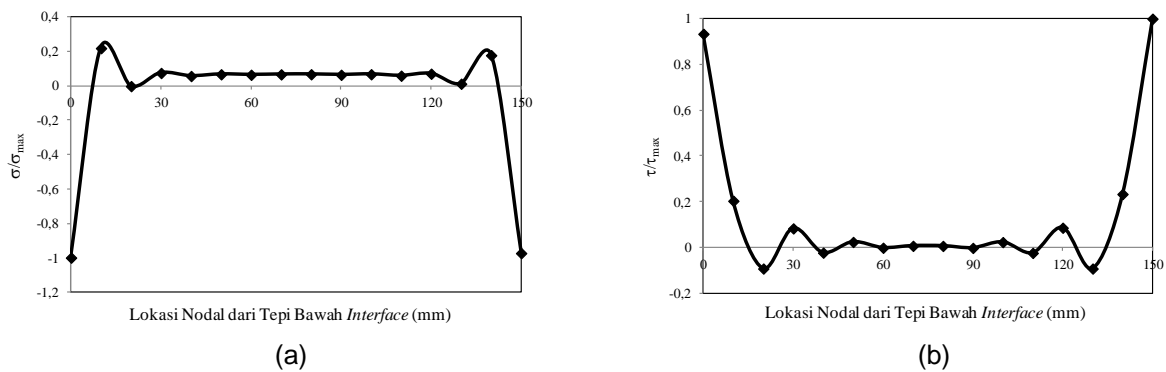
Gambar 8. Profil Distribusi Tegangan (a) Normal Tegak Lurus Bidang Normal ( $S_{11}$ ), dan (b) Tegangan Geser SHRP *2L-Shape Shear Test*



Gambar 9. Profil Distribusi Tegangan (a) Normal Tegak Lurus Bidang Normal ( $S_{11}$ ), dan (b) Tegangan Geser *Bi-surface Shear Test*

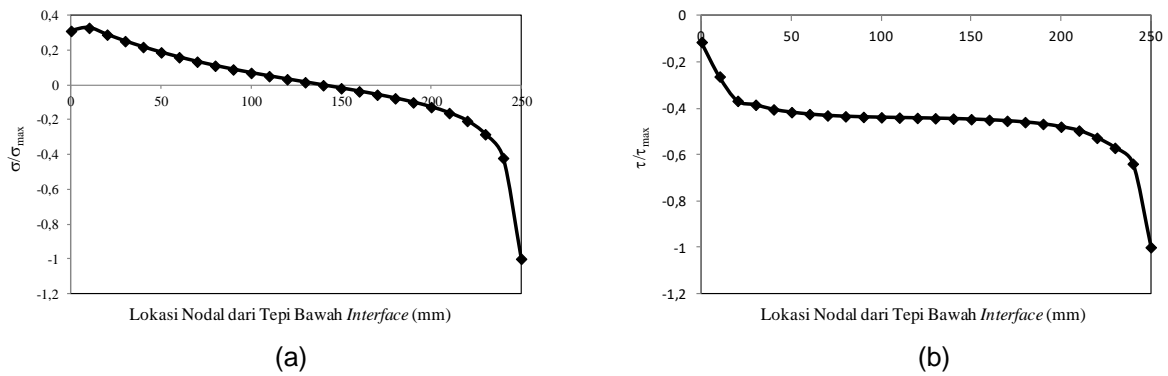


Gambar 10. Profil Distribusi Tegangan (a) Normal Tegak Lurus Bidang Normal ( $S_{11}$ ), dan (b) Tegangan Geser *Modified Guillotine Test*



Gambar 11. Profil Distribusi Tegangan (a) Normal Tegak Lurus Bidang Normal ( $S_{11}$ ), dan (b) Tegangan Geser *Modified FIP Direct Shear Test*

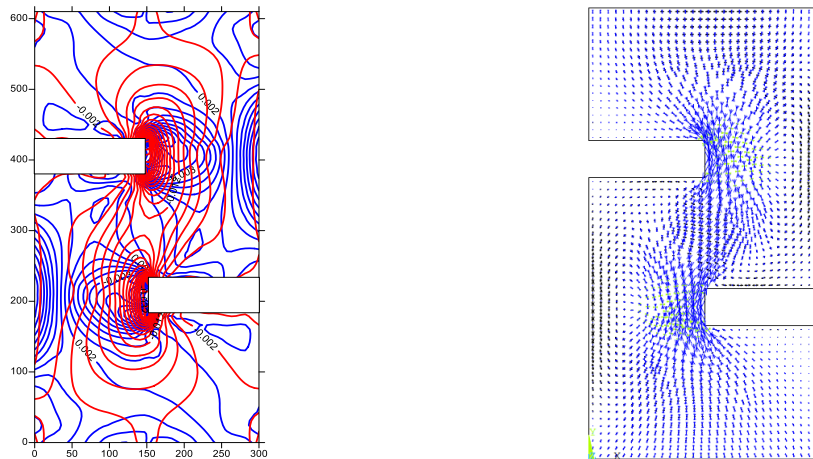




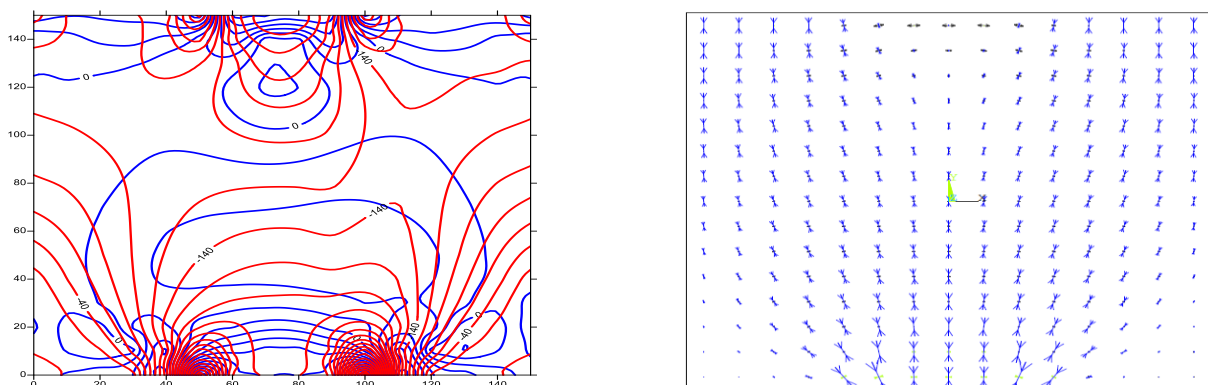
Gambar 12. Profil Distribusi Tegangan (a) Normal Tegak Lurus Bidang Normal ( $S_{11}$ ), dan (b) Tegangan Geser *Push Out Test*

Visualisasi hasil analisis tegangan utama (*principal stress*) pada masing-masing metode pengujian ditunjukkan pada Gambar 13 (*2L shape*), Gambar 14 (*Bi-Surface Shear*), Gambar 15 (*Modified Guillotine*), Gambar 16

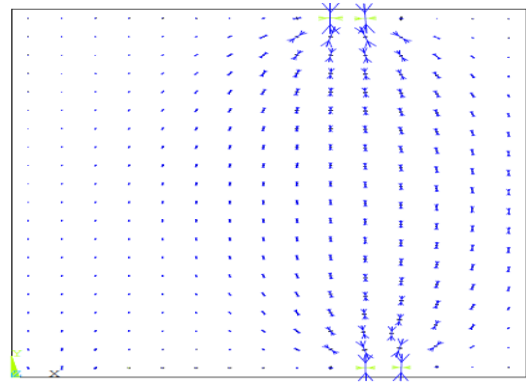
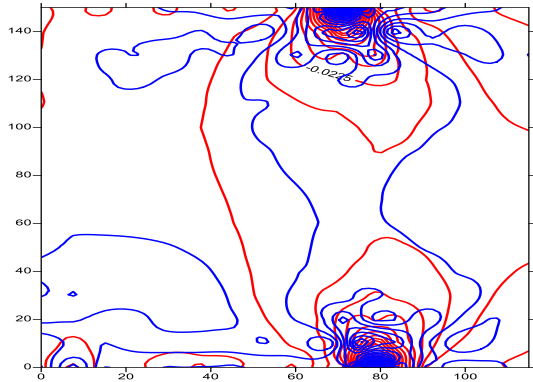
(*Modified FIP Direct Shear Test*) serta Gambar 17 (*Push Out test*). Dalam gambar kontur tegangan utama, garis berwarna biru mewakili tegangan maksimum dan garis berwarna merah mewakili tegangan minimum.



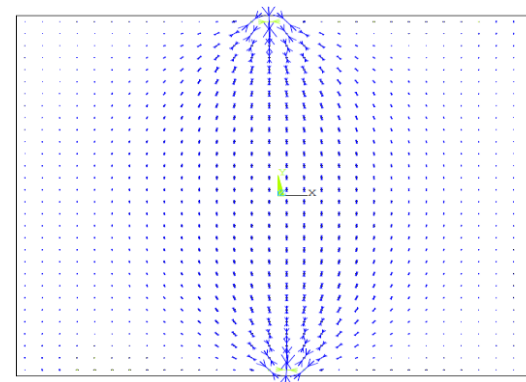
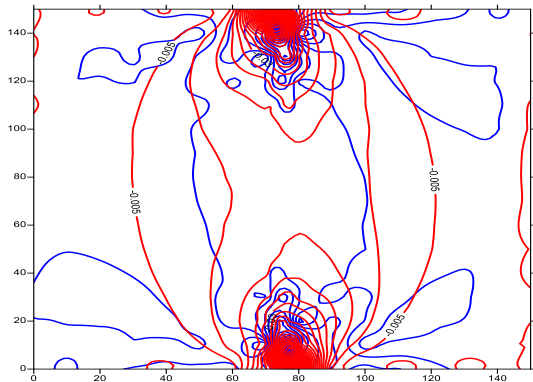
Gambar 13. Kontur Tegangan Utama dan Vektor Tegangan Utama pada SHRP *Dual L-Shape Test*



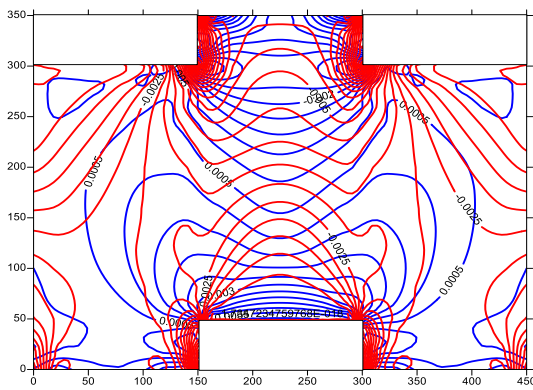
Gambar 14. Kontur Tegangan Utama dan Vektor Tegangan Utama pada *Bi-surface Shear Test*



Gambar 15. Kontur Tegangan Utama dan Vektor Tegangan Utama pada *Modified Guillotine Test*



Gambar 16. Kontur Tegangan Utama dan Vektor Tegangan Utama pada *Modified FIP Direct Shear Test*



memberikan hasil yang lebih representatif bila dibandingkan dengan model pengujian lainnya, hal ini ditandai dengan:

- (1) Komponen gaya normal tegak lurus bidang geser yang relatif kecil.
- (2) Distribusi tegangan geser yang lebih merata, sehingga diharapkan akan memberikan gambaran hasil kuat geser yang lebih akurat.

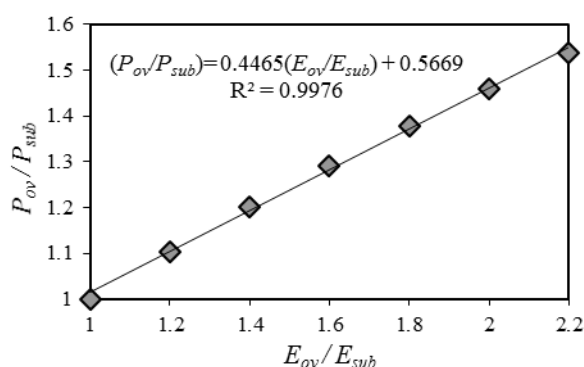
Adapun kelemahan yang dapat dijumpai pada pengujian SHRP *Dual L-Shape Test* adalah persiapan cetakan dan proses pengecoran benda uji cukup sulit, selain itu dimensi benda uji cukup besar sehingga diperlukan beberapa kali pengadukan untuk mendapatkan jumlah benda uji yang representatif. Hal ini dapat berakibat pada kurang homogenya karakteristik beton yang digunakan sebagai benda uji.

Kelemahan yang dapat dijumpai pada pengujian *Bi-surface Shear Test* antara lain:

- (1) Distribusi tegangan geser pada bidang *interface* kurang merata apabila dibandingkan dengan *Dual L-Shape Test*.
- (2) Dalam menginterpretasikan hasil pengujian, Momayez et al. (2005)

tidak mempertimbangkan bahwa terdapat perbedaan besaran gaya yang akan ditanggung oleh lapis *overlay* dengan lapis *substrate* sebagai konsekuensi dari perbedaan nilai modulus elastisitas material yang digunakan.

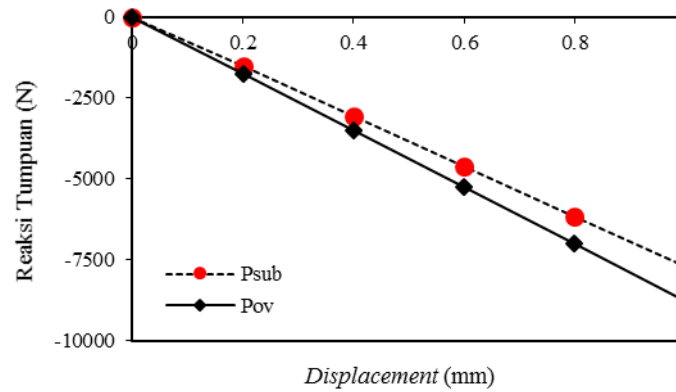
Dengan mempertimbangkan bahwa kualitas beton untuk lapis *overlay/topping* pada umumnya memiliki kualitas dan karakteristik mekanik yang berbeda dengan lapis *substrate*, maka dilakukan simulasi dengan berbagai perbandingan nilai (rasio) antara modulus elastisitas beton lapis *overlay* ( $E_{ov}$ ) dengan lapis *substrate* ( $E_{subs}$ ). Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan besaran gaya yang ditanggung oleh bidang geser pada lapis *substrate* dengan bidang geser yang merupakan pertemuan antara lapis *substrate* dengan lapis *overlay*. Hal ini dapat dipahami karena modulus elastisitas lapis *overlay* lebih besar daripada modulus elastisitas lapis *substrate*, sehingga lapis *overlay* memiliki kekakuan yang lebih besar pula. Hasil simulasi yang menunjukkan hubungan antara rasio ( $E_{ov}/E_{subs}$ ) dengan gaya yang ditanggung ( $E_{ov}/E_{subs}$ ), selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Proporsi Besaran Gaya pada Dua Bidang Geser sebagai Fungsi Perbedaan Modulus Elastisitas dalam pengujian *Modified Bi-surface Shear Test*

Hal ini secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 19 yang menunjukkan bahwa pada besaran *displacement* yang sama terdapat

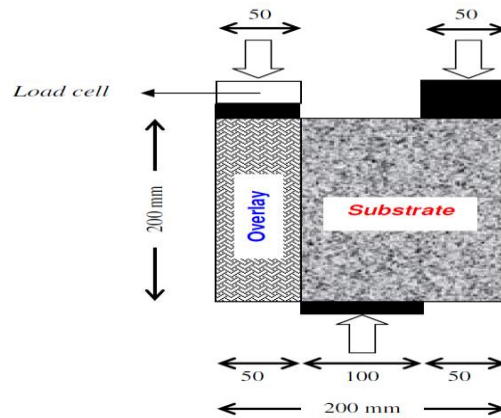
perbedaan besaran gaya pada bidang tumpuan di atas material *substrate* dengan bidang tumpuan di atas *overlay*.



Gambar 19. Hubungan *Displacement-Reaksi Tumpuan* pada *Modified Bi-surface Shear Test* (Nilai  $E_{ov}/E_{subs}$  digunakan 1,275)

Berdasarkan hasil analisis di atas, maka diusulkan metode pengujian sebagai berikut: dimensi benda uji 200x200x200 mm, tebal lapis overlay 50 mm, menggunakan 3 (tiga) tumpuan plat baja dengan lebar tumpuan 50 mm, 100 mm, dan 50 mm, yang dipasang simetris dengan acuan posisi bidang geser seperti terlihat pada. Gambar 20.

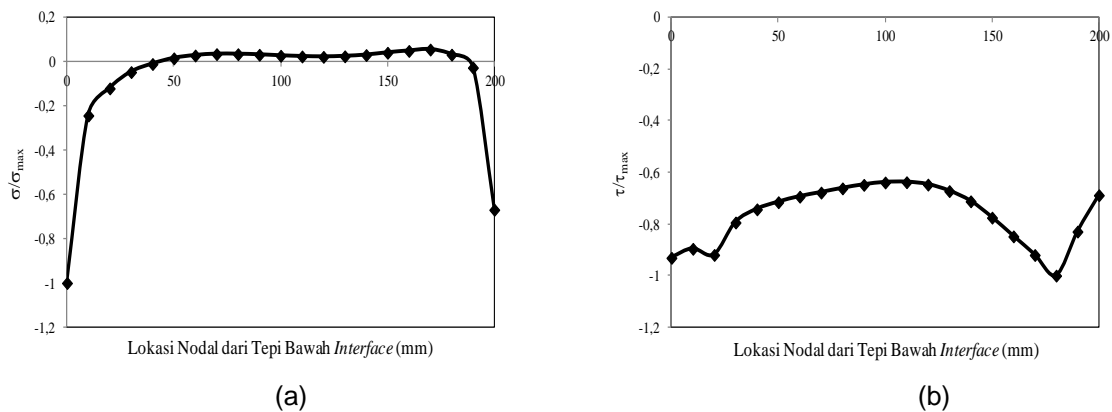
mm, dan 50 mm, yang dipasang simetris dengan acuan posisi bidang geser seperti terlihat pada.



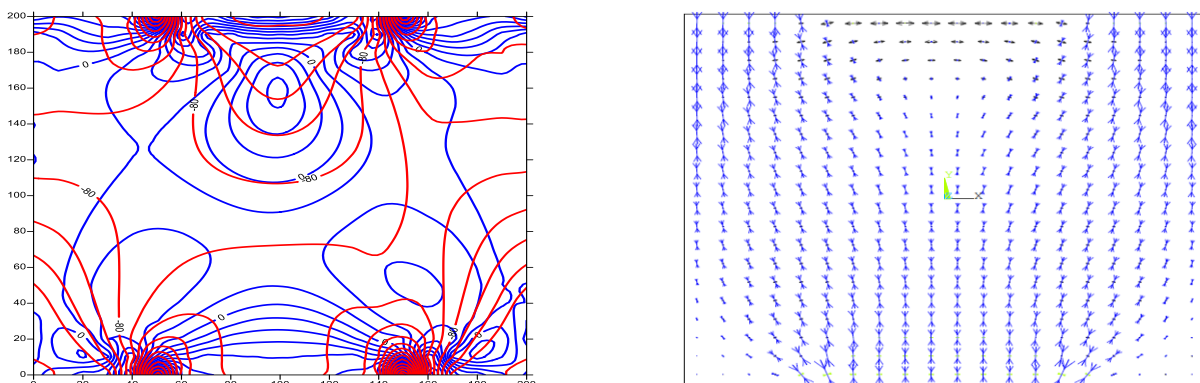
Gambar 20. Skema Usulan Pengujian *Bi-Surface Shear Test* yang telah Disempurnakan (*Modified Bi-Surface Shear Test*)

Metode uji kuat lekat yang diusulkan (*Modified Bi-surface Shear Test*) akan dilaksanakan dengan alat *Universal testing Machine (UTM)* yang dalam kenyataannya akan dijumpai jenis pembebanan dengan deformasi yang seragam. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil analisis yang lebih detail sesuai dengan usulan uji kuat lekat antara beton lama dengan beton baru, maka dilakukan analisis metode elemen

hingga, dengan mengasumsikan terjadinya pembebanan deformasi seragam. Hasil analisis tegangan pada uji kuat lekat antara beton lama dengan beton baru yang diusulkan (*Modified Bi-surface Shear Test*), dengan asumsi terjadinya pembebanan berupa deformasi seragam pada bidang tumpuan menghasilkan distribusi tegangan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 21 dan Gambar 22 berikut.



Gambar 21. Profil Distribusi Tegangan (a) Normal Tegak Lurus Bidang Normal ( $S_{11}$ ), dan (b) Tegangan Geser *Modified Bi-surface Shear Test* dengan Beban Deformasi Seragam (metode pengujian yang dilaksanakan)



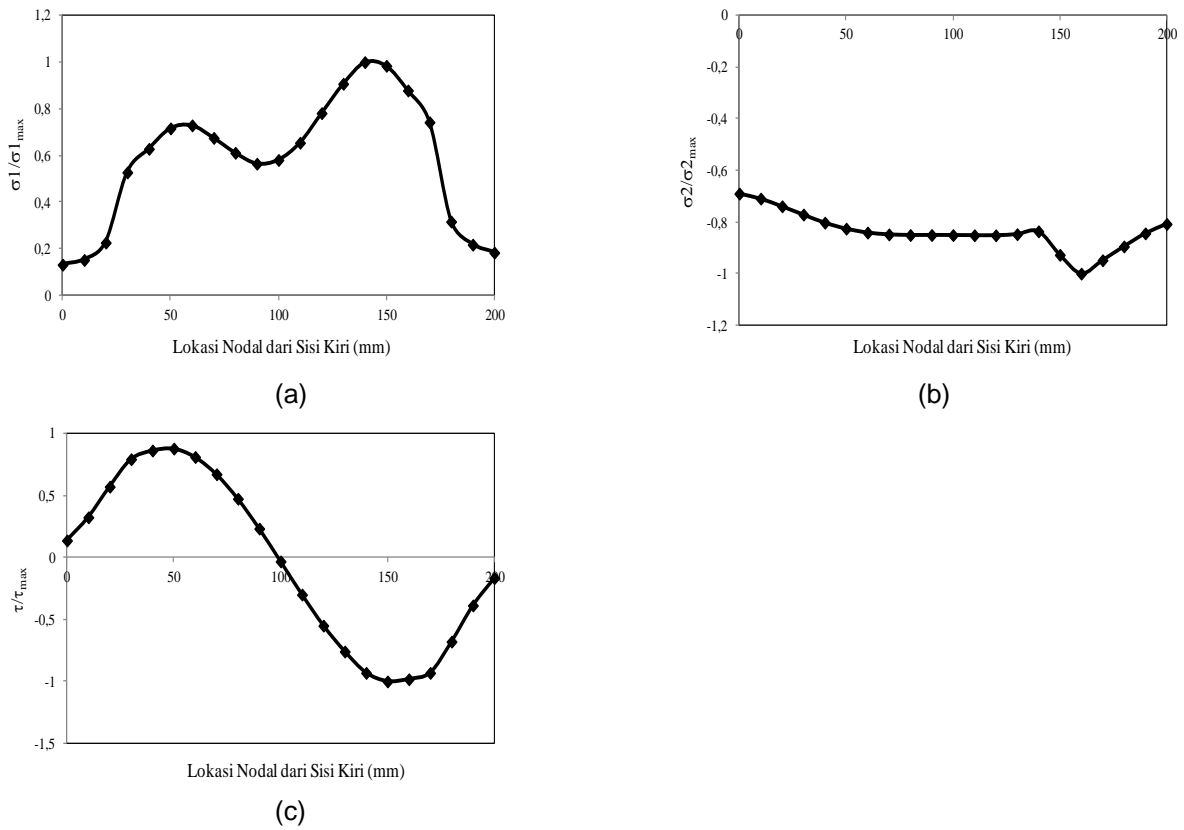
Gambar 22. Kontur Tegangan Utama dan Vektor Tegangan Utama pada *Modified Bi-surface Shear Test* (rencana cara pengujian yang akan dilaksanakan)

Keunggulan yang dapat diharapkan dari *Modified Bi-surface Shear Test* adalah:

- (1) Cetakan, dan proses pengecoran benda uji cukup mudah.
- (2) Instrumen yang diperlukan untuk pengujian yang diperlukan cukup sederhana.
- (3) Analisis tegangan menunjukkan distribusi yang relatif seragam di sepanjang bidang geser.
- (4) Hasil analisis tegangan normal arah tegak lurus bidang geser menunjukkan nilai mendekati nol. Pada analisis tegangan ini memang ditemui adanya tegangan normal arah tegak lurus bidang geser sampai kedalaman  $\pm 3$  cm, dari masing-masing arah beban.

- (5) *Load-cell* dapat ditempatkan langsung di atas lapis *overlay* sehingga gaya yang diterima lapis *overlay* dapat terukur secara akurat.

Analisis distribusi tegangan pada arah potongan bidang horisontal juga telah dilakukan. Adapun hasil analisis tersebut dapat dicermati pada Gambar 23 berikut:



Gambar 23. Profil Distribusi Tegangan dalam Arah Potongan Horizontal (a)  $S_{11}$ , (b)  $S_{22}$ , dan (c)  $S_{12}$  dalam pengujian *Modified Bi-surface Shear Test*

Modifikasi model yang telah dilakukan di atas selanjutnya diterapkan dalam uji model fisik untuk berbagai kondisi sambungan antara beton ringan berserat campuran yang digunakan sebagai *substrate* dengan *self-*

*compacting concrete* sebagai lapis *topping*. Metode pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 24 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 24. Pengujian Kuat Geser *Interface* dengan Metode *Modified Bi-surface Shear Test*

Hasil uji eksperimental yang telah dilakukan terhadap 45 benda uji dengan metode yang diusulkan di atas (*Modified Bi-surface Shear*

*Test*) dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil *Modified Bi-surface Shear Test* antara Beton Ringan Berserat Campuran dan SCC

Kuat Tekan SCC Topping Rerata (MPa)	Kondisi Permukaan Substrate								
	Halus ( <i>As-placed</i> )			Kasar Longitudinal			Kasar Transversal		
	Kuat Geser Interface (MPa)	Standar Deviasi	Coef. of Variation	Kuat Geser Interface (MPa)	Standar Deviasi	Coef. of Variation	Kuat Geser Interface (MPa)	Standar Deviasi	Coef. of Variation
31,300	2,385			2,955			3,073		
	2,305	0,048	2,082%	3,028	0,056	1,854%	3,160	0,044	1,418%
	2,298			3,065			3,128		
34,505	2,468			3,095			3,170		
	2,403	0,034	1,384%	3,190	0,052	1,649%	3,305	0,070	2,146%
	2,420			3,108			3,268		
42,990	2,543			3,130			3,340		
	2,605	0,034	1,322%	3,260	0,065	2,044%	3,428	0,044	1,293%
	2,598			3,208			3,385		
51,663	2,768			3,440			3,555		
	2,630	0,082	3,054%	3,303	0,082	2,440%	3,463	0,068	1,953%
	2,623			3,295			3,423		
61,845	2,870			3,385			3,520		
	2,803	0,065	2,319%	3,505	0,060	1,756%	3,658	0,069	1,931%
	2,740			3,433			3,605		

Data pengujian untuk 15 variasi uji kuat geser *interface* antara beton lama dengan beton baru dengan menggunakan 45 buah benda uji menunjukkan rentang data yang cukup baik. Nilai *coefficient of variations* berkisar antara 1,322% sampai dengan 3,054%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode pengujian *Modified Bi-surface Shear Test* memberikan hasil uji yang cukup stabil dengan rentang data yang tidak terlalu besar. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa terdapat pengaruh kekuatan tekan SCC yang digunakan sebagai lapis *topping* terhadap kekuatan geser *interface* yang diuji dengan metode *modified bi-surface shear test* tanpa pengaruh gaya normal. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa pada rentang kuat tekan SCC antara 30 MPa sampai dengan 60 MPa kuat geser antara dua lapis beton yang berbeda umur meningkat berbanding lurus dengan bertambahnya kuat tekan SCC yang digunakan sebagai lapis *topping*. Hasil ini menunjukkan bahwa kuat tekan lapis *topping* menjadi variabel penting dari kekuatan *interface* dua lapis beton. Hasil pengujian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Beushausen dan Alexander (2008). Uraian di atas merupakan bukti pendukung yang memberikan justifikasi bahwa metode *Modified Bi-surface Shear Test* dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengujian kuat geser *interface* beton lama dengan beton baru.

## SIMPULAN

Hasil uji kuat geser *interface* antara beton lama dengan beton baru pada permukaan *substrate* halus (*as-placed*) menunjukkan nilai *coefficient of variations* maksimum sebesar 3,054%,

sedangkan untuk *substrate* dengan permukaan beralur dalam arah longitudinal diperoleh nilai maksimum 2,440%, dan untuk *substrate* beralur dalam arah transversal diperoleh nilai

maksimum 2,146%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *Modified Bi-surface Shear Test* dapat digunakan sebagai alternatif dalam

Analisis Tegangan dan ... (Slamet/ hal 89-104)

pengujian kuat geser *interface* beton lama dengan beton baru.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Beushausen, H. and Alexander, M.G., 2008, "Bond strength development between concretes of different ages", *Magazine of Concrete Research*, 60, No. 1, February, pp. 65–74.
- [2] Gillum, A.J., Shahrooz, B.M., and Cole, J.R., 2001, "Bond strength between sealed bridge decks and concrete overlays", *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 6, November-December, pp. 872-879.
- [3] Kahn, L. F., and A. D. Mitchell, 2002, "Shear friction tests with high strength concrete", *ACI Structural Journal* 99, No. 1, pp. 98-103.
- [4] Kheder, G.F., and Al Jadiri, R.S., 2010, "New method for proportioning self-consolidating concrete based on compressive strength requirements", *ACI Materials Journal*, V. 107, No. 5, pp. 490-497.
- [5] Momayez, A., Ramezani-pour, A.A., Rajaie, H., and Ehsani, M.R., 2004, "Bi-surface shear test for evaluating bond between existing and new concrete", *ACI Materials Journal* V. 101, No. 2, March-April 2004, pp. 99–106.
- [6] Qian, S., Lepech, M.D., Kim, Y.Y., and Li, V.C., 2009, "Introduction of transition zone design for bridge deck link slabs using ductile concrete", *ACI Structural Journal*, V. 106, No. 1, January-February, 96-105.
- [7] Silfwerband, J., 2003, "Shear bond strength in repaired concrete structures", *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*, Vol. 36, pp 419-424.
- [8] Shehata, I.A.E.M., Shehata, L.C.D., and Mendonca, E.C.G., 2010, "Strength of shear keys used in pre-cast prestressed composite beams", *Materials and Structures* 43, pp. 675–685, doi: 10.1617/s11527-009-9520-0.
- [9] Slamet Widodo, 2014, *Kekuatan interface dan perilaku lentur pelat lantai pracetak komposit hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete dengan self-compacting concrete topping*, Universitas Diponegoro: Disertasi Doktor Teknik Sipil.