

KAJIAN GESER INTERFACE ANTARA BETON LAMA DAN BARU DENGAN VARIABEL WAKTU DAN VARIABEL PENANGANAN INTERFACE

Edwin Sandagie, Ferdinandus Hendrico

Parang Sabdono^{*)}, Purwanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang 50239
Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Dalam bidang perbaikan dan perkuatan struktur beton, sering muncul kebutuhan untuk menempatkan beton baru menyatu dengan beton lama. Beberapa contoh aplikasi di lapangan adalah pada struktur jalan raya yang membutuhkan perbaikan atau pelebaran dan juga untuk memperbaiki struktur beton dari kerusakan akibat penurunan kualitas. Penelitian ini menggunakan salah satu metode penanganan interface yaitu dengan mengasarkkan permukaan beton lama. Pada metode penyambungan dengan pengasaran permukaan beton lama, dibagi menjadi dua yaitu pengasaran tingkat rendah dan tingkat tinggi. Klasifikasinya yaitu pengasaran tingkat rendah dilakukan dengan membuat tekstur pada permukaan beton lama dengan kedalaman ± 3 mm sedangkan pengasaran tingkat tinggi dilakukan dengan membuat tekstur pada permukaan beton lama dengan kedalaman ± 7 mm dan diberi kawat ayam. Benda uji yang digunakan berupa kubus berukuran 15x15x15 cm yang dibagi menjadi dua yaitu beton lama berukuran 10x15x15 cm dan beton baru berukuran 5x15x15 cm. Kedua metode pengasaran tersebut masing-masing akan dikombinasikan dengan variasi umur penyambungan beton lama dan baru yaitu umur penyambungan 7, 14, dan 28 hari. Secara teoritis, semakin tinggi tingkat pengasaran permukaan beton lama maka tegangan geser pada sambungan akan semakin kuat. Umur penyambungan yang paling lama menghasilkan kenaikan nilai tegangan geser yang paling besar antara metode kasar rendah terhadap kasar tinggi.

Kata kunci: perbaikan, beton, pengasaran, umur penyambungan, kekuatan geser

ABSTRACT

In the field of repair and retrofitting of concrete structures, often there is a need to place the new concrete together with the old concrete. Some examples of applications in the field is on the highway structure which need of repairing or widening, and also to repair concrete structures from damage due to loss of quality. This study uses a method of handling the interface by roughning the old concrete surface. In the method of splicing concrete by roughning the old concrete surface, the roughness is divided into two level of roughness, it is low and high roughness. The Classification of low roughness is done by making the texture on the old concrete surface to a depth ± 3 mm and the high roughness is done by making the texture of the old concrete surface to a depth ± 7 mm and were given by the chicken wire. Specimens that used are cubes which dimentions are 15x15x15 cm which is divided into two layers, the old concrete layer size is 10x15x15 cm and the new concrete size is 5x15x15 cm. Both of roughness methods, each of them will be combined with the age of splicing variations between old and new concrete, it is 7, 14, and 28 days. Theoretically, by making higher the level of roughness surface in the old concrete, the

^{*)} Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com

shear strength of the interface will be stronger. The longest age of splicing resulted the biggest increasing of shear stress between low roughness and high roughness.

Keywords: *repair, concrete, roughness, age of splicing, shear strength*

PENDAHULUAN

Saat ini keberadaan beton sudah sangat umum digunakan untuk peningkatan infrastruktur terutama di kota – kota besar seperti Jakarta, Semarang, Surabaya, dan kota-kota besar lainnya. Dalam bidang perbaikan dan perkuatan struktur beton, sering muncul kebutuhan untuk menempatkan beton baru menyatu dengan beton lama, yaitu beton yang sudah ada. Beberapa contoh aplikasi di lapangan adalah pada struktur jalan raya yang membutuhkan perbaikan atau pelebaran dan juga untuk memperbaiki struktur beton dari kerusakan karena mengalami penurunan kualitas sehingga perlu diperkuat dengan beton yang baru.

Dalam penyambungan antara beton lama dan beton baru ada beberapa macam metode, salah satu di antaranya adalah dengan mengasarkan permukaan beton pada bagian beton lama. Pada metode penyambungan dengan pengasaran permukaan beton lama, dibagi menjadi dua yaitu pengasaran tingkat rendah dan pengasaran tingkat tinggi.

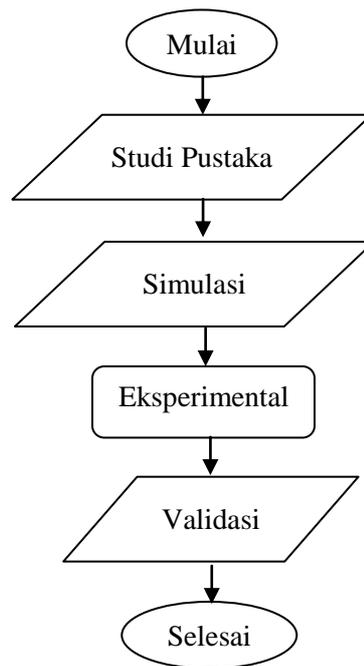
STUDI PUSTAKA

Beton tersusun dari bahan penyusun utama yaitu semen, agregat, dan air. Jika diperlukan biasanya dipakai bahan tambahan (*admixture*). Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen berfungsi sebagai perekat agregat dan juga sebagai bahan pengisi. Air dalam membuat beton berfungsi untuk memicu proses kimiawi dari semen, membasahi agregat dan memberikan pekerjaan yang mudah dalam pekerjaan beton. Dalam hal pekerjaan beton, senyawa yang terkandung dalam air akan mempengaruhi kualitas beton, oleh karena itu diperlukan standard yang baik dalam kualitas air. Agregat adalah beton dalam butiran (batu alami / batu pecah, pasir, abu batu) yang tidak bereaksi secara kimia dengan semen dan air. Agregat dalam campuran beton hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, akan tetapi komposisi agregat dalam beton sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton tersebut.

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Untuk mengetahui kekuatan tekan beton, dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115 ; Part 116 pada umur 28 hari.

Kuat geser adalah kekuatan suatu komponen struktur atas penampang yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya – gaya lateral. Hampir semua elemen struktur beton dirancang untuk mampu menerima gaya – gaya dalam, yang berupa gaya normal, momen lentur, momen torsi, dan gaya geser. Dengan adanya gaya – gaya dalam, elemen struktur akan memberikan perlawanan yang berupa tegangan normal, tegangan lentur, tegangan torsi, dan tegangan geser.

METODOLOGI PENELITIAN

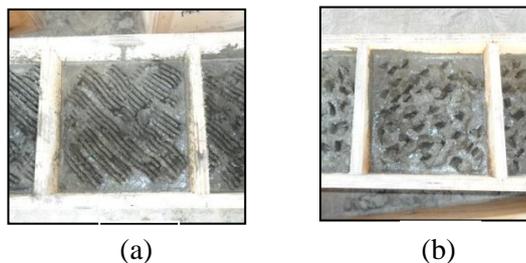


Gambar 1. *Flow chart* metodologi penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan studi pustaka, simulasi model, eksperimental, dan validasi. Sebelum melakukan penelitian, lebih dahulu dilakukan studi pustaka yaitu untuk mencari informasi sebanyak-banyaknya yang berhubungan dengan penelitian ini. Tahap selanjutnya dengan melakukan simulasi untuk memprediksi perilaku tegangan geser yang terjadi dengan menggunakan program SAP 2000 dan juga untuk mengetahui dan memperkirakan daerah potensial yang akan terjadi keretakan.

Secara eksperimental, dilakukan dengan membuat benda uji berupa kubus beton berukuran 15x15x15 cm yang terdiri dari beton lama berukuran 10x15x15 cm dan beton baru berukuran 5x15x15 cm. Variasi metode penanganan pada *interface*, dibagi menjadi dua yaitu pengasaran tingkat rendah dan pengasaran tingkat tinggi. Klasifikasi tingkat pengasaran tersebut adalah sebagai berikut :

- Pengasaran tingkat rendah dilakukan dengan membuat tekstur pada permukaan beton lama dengan kedalaman ± 3 mm.
- Pengasaran tingkat tinggi dilakukan dengan membuat tekstur pada permukaan beton dengan kedalaman ± 7 mm dan diberi kawat ayam



Gambar 2. (a) Pengasaran tingkat rendah, (b) Pengasaran tingkat tinggi

Untuk pengasaran tingkat rendah, pada setiap umur penyambungan 7, 14, dan 28 hari masing-masing berjumlah 3 sampel. Kemudian untuk pengasaran tingkat tinggi, pada umur

*) Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com

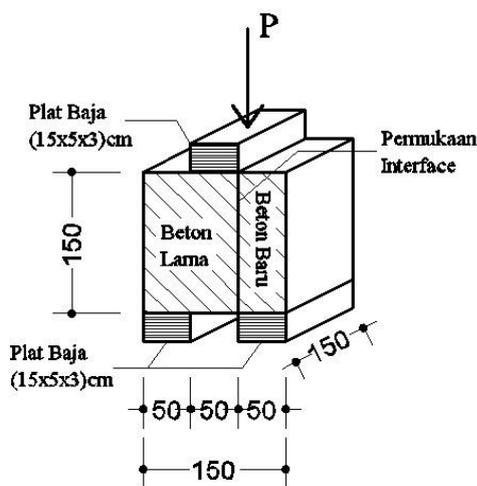
penyambungan 7, 14, dan 28 hari masing-masing juga berjumlah 3 sampel. Jadi, jumlah total benda uji yang dibuat adalah 18 benda uji.

Setelah itu yang terakhir adalah dilakukan validasi terhadap hasil perbandingan tegangan geser yang telah diperoleh dengan cara SAP 2000, hasil eksperimen, dan tegangan geser dari hasil penelitian lain yang berkaitan (oleh A. Momayez, A.A. Ramezianpour, H. Rajaie, dan M. R. Ehsani).

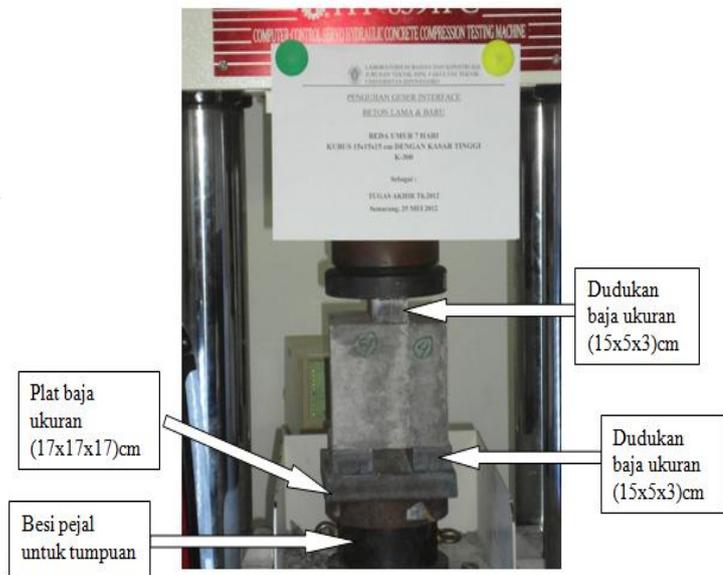
Pengujian Geser Interface

Pengujian geser interface ini dilakukan saat beton baru untuk semua variasi umur penyambungan dan variasi penanganan interface sudah berumur 28 hari. Pada pengujian ini, digunakan beberapa instrumen diantaranya adalah alat uji tekan beton (*Compression Test Machine HT-8391PC*), dudukan baja dengan ukuran 5cm x 15cm x 3cm sebanyak tiga buah yang bertujuan untuk penyaluran gaya ke benda uji sehingga gaya menjadi simetris dan plat baja dengan ukuran 17cm x 17cm x 3cm sebanyak satu buah, kamera handycam yang berfungsi untuk merekam pola retak selama proses pengujian.

Luaran hasil pengujian atau *output* yang diharapkan pada pengujian ini adalah berupa gaya geser saat *crack* di sambungan (*first crack*), grafik *load-displacement*, dan pola retak dari hasil rekaman kamera. Gambar 2 di bawah ini menunjukkan *set-up* pengujian lengkap dengan instrumen yang sudah terpasang



Gambar 3. Sketsa *set-up* pengujian



Gambar 4. *Set-up* pengujian

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Seperti yang sudah dijelaskan pada tahap proses pengujian, hasil atau *output* yang pertama diperoleh dari hasil pengujian adalah gaya geser saat terjadi *first crack* di sambungan antara beton lama dan baru seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini

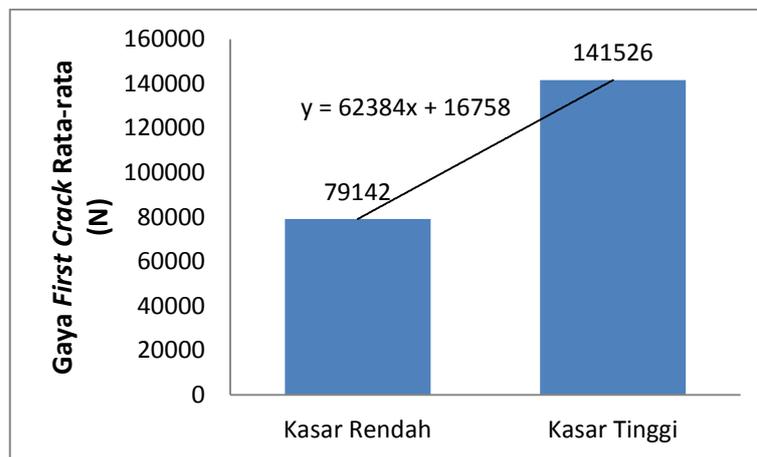
*) Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com

Tabel 1. Hasil pengujian geser *interface*

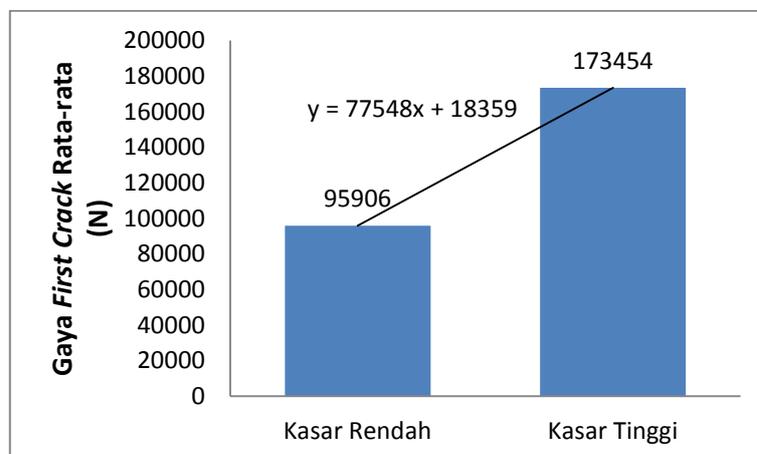
Variabel Penanganan	Gaya Saat <i>first crack</i> di Sambungan (N)		
	Penyambungan 7 Hari	Penyambungan 14 Hari	Penyambungan 28 Hari
Kasar Rendah	78241	93743	99342
	69472	96442	109641
	89713	97534	107318
Kasar Tinggi	134822	153428	218214
	147523	185112	202235
	142234	181822	217241

Perbandingan Gaya *First Crack* antara Metode Pengasaran Tingkat Rendah dan Tinggi untuk Masing-masing Umur Penyambungan

Berdasarkan hasil pengujian untuk semua benda uji, selanjutnya dapat dibuat suatu perbandingan gaya *first crack* antara metode pengasaran tingkat rendah dan tinggi untuk masing-masing umur penyambungan seperti pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

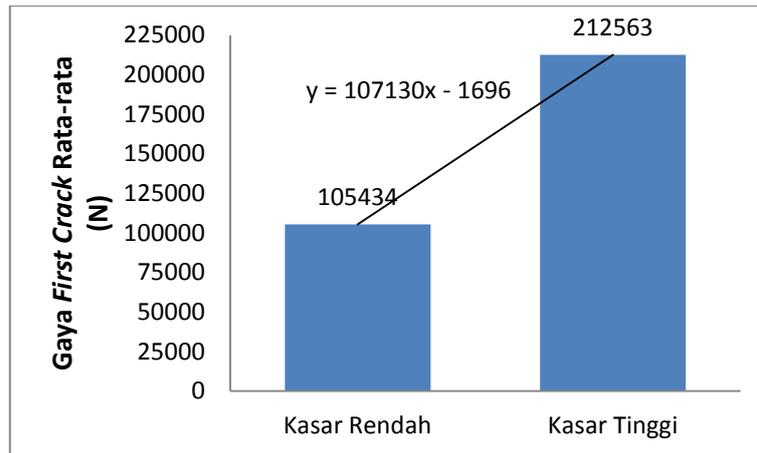


Gambar 5. Perbandingan Gaya *First Crack* Rata-rata antara Metode Kasar Rendah dan Tinggi pada Umur Penyambungan 7 Hari



Gambar 6. Perbandingan Gaya *First Crack* Rata-rata antara Metode Kasar Rendah dan Tinggi pada Umur Penyambungan 14 Hari

*) Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com



Gambar 7. Perbandingan Gaya *First Crack* Rata-rata antara Metode Kasar Rendah dan Tinggi pada Umur Penyambungan 28 Hari

Berdasarkan Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai gaya *first crack* rata-rata untuk umur penyambungan 7 hari pada metode pengasaran tingkat rendah bila dibandingkan dengan metode pengasaran tingkat tinggi mengalami kenaikan sebesar 62384 N atau sebesar 78,83%, pada umur penyambungan 14 hari mengalami kenaikan sebesar 77548 N atau sebesar 80,86%, dan pada umur penyambungan 28 hari mengalami kenaikan sebesar 107129 N atau sebesar 101,61%.

Perhitungan Tegangan Geser Menggunakan SAP 2000

Berdasarkan gaya-gaya yang diperoleh dari hasil pengujian, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan tegangan geser menggunakan bantuan SAP 2000. Hal tersebut dilakukan dengan cara membuat simulasi kubus *interface* pada SAP 2000 kemudian memasukan satu persatu gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya *first crack* di sambungan yang diperoleh dari hasil pengujian ke dalam SAP 2000 dengan menggunakan SAP 2D dan sistem pembebanan titik. Tegangan geser yang diperoleh dari hasil analisis SAP 2000 merupakan tegangan geser S12 yang nilainya rata-rata dari 16 *joint* yang ada di daerah sambungan, Tabel 2 menunjukkan hasil analisis tegangan geser menggunakan SAP 2000

Tabel 2. Hasil analisis tegangan geser menggunakan SAP 2000

Variabel Penanganan	Tegangan Geser (dalam N/mm ²)		
	Penyambungan 7 Hari	Penyambungan 14 Hari	Penyambungan 28 Hari
Kasar Rendah	1,136	1,363	1,447
	1,009	1,402	1,597
	1,302	1,418	1,563
Kasar Tinggi	1,957	2,230	3,178
	2,141	2,691	2,946
	2,065	2,643	3,164

Perhitungan Tegangan Geser dari Hasil Eksperimen

Untuk mencari nilai tegangan geser dari hasil eksperimen, dapat digunakan rumus ($\tau = R/A$). Dalam hal ini, nilai (R) adalah reaksi perletakan yang ditimbulkan akibat gaya (P). Nilai gaya (P) diperoleh dari gaya saat *first crack* di sambungan yang diperoleh dari hasil

*) Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com

pengujian. Sedangkan luas permukaan geser (A) dalam hal ini adalah permukaan *interface* itu sendiri atau permukaan sambungan antara beton lama dan baru yang luasnya sebesar 22500 mm². Cara seperti di atas dilakukan untuk semua gaya geser yang diperoleh dari hasil pengujian baik itu metode kasar rendah maupun kasar tinggi sehingga diperoleh tegangan geser seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis tegangan geser dari hasil eksperimen

Variabel Penanganan	Tegangan geser (dalam N/mm ²)		
	Penyambungan 7 Hari	Penyambungan 14 Hari	Penyambungan 28 Hari
Kasar Rendah	1,739	2,083	2,208
	1,544	2,143	2,437
	1,994	2,168	2,385
Kasar Tinggi	2,996	3,410	4,849
	3,279	4,114	4,494
	3,161	4,041	4,828

Perbandinga Tegangan Geser Antara Penelitian Lain yang Berkaitan, Hasil Eksperimen, dan Cara SAP 2000

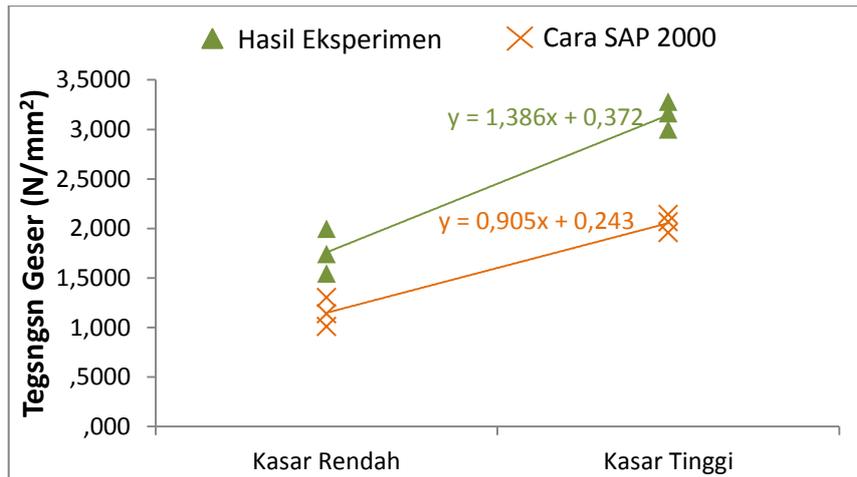
Setelah semua tegangan geser dihitung, baik dengan menggunakan SAP 2000 maupun dari hasil eksperimen, selanjutnya dapat dilakukan suatu perbandingan antara tegangan geser yang diperoleh dari penelitian lain yang berkaitan (oleh A. Momayez, A.A. Ramezianpour, H. Rajaie, dan M. R. Ehsani), hasil eksperimen, dan cara SAP 2000 seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil tegangan geser

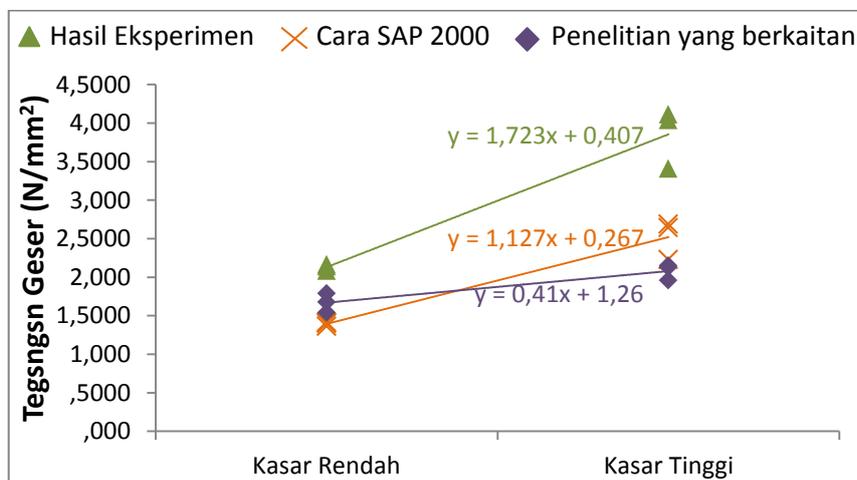
Variabel Penanganan	Tegangan Geser (dalam N/mm ²)								
	Penyambungan 7 Hari			Penyambungan 14 Hari			Penyambungan 28 Hari		
	Penelitian Lain	SAP 2000	Hasil Eksperimen	Penelitian Lain	SAP 2000	Hasil Eksperimen	Penelitian Lain	SAP 2000	Hasil Eksperimen
Kasar Rendah	-	1,136	1,739	1,54	1,363	2,083	2,28	1,447	2,208
	-	1,009	1,544	1,68	1,402	2,143	2,40	1,597	2,437
	-	1,302	1,994	1,79	1,418	2,168	2,52	1,563	2,385
Kasar Tinggi	-	1,957	2,996	1,96	2,230	3,410	2,85	3,178	4,849
	-	2,141	3,279	2,13	2,691	4,114	3,00	2,946	4,494
	-	2,065	3,161	2,15	2,643	4,041	3,15	3,164	4,828

Secara ringkas, kenaikan nilai tegangan geser pada metode kasar rendah maupun kasar tinggi antara hasil eksperimen, cara SAP 2000, dan hasil dari penelitian lain yang berkaitan untuk masing-masing variabel umur penyambungan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 8, Gambar 4.25, dan Gambar 4.26.

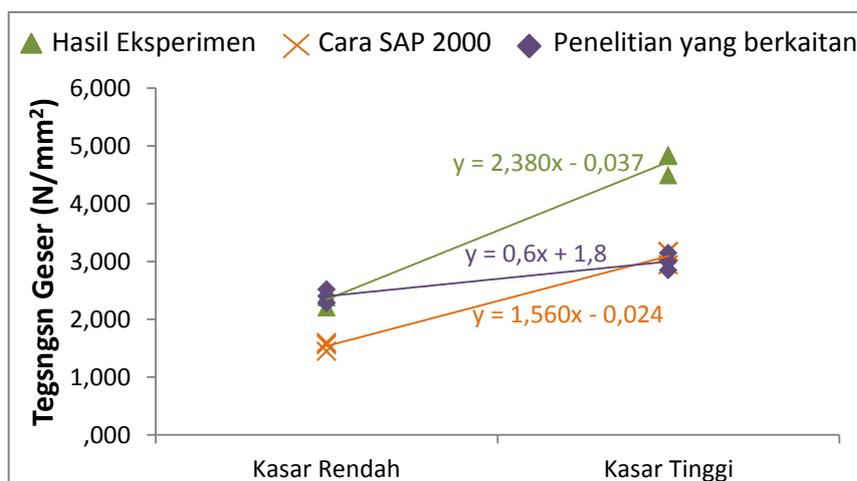
*) Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com



Gambar 8. Perbandingan Kenaikan Nilai Tegangan Geser antara Hasil Eksperimen, Cara SAP 2000, dan Hasil Penelitian Lain pada Umur Penyambungan 7 Hari



Gambar 9. Perbandingan Kenaikan Nilai Tegangan Geser antara Hasil Eksperimen, Cara SAP 2000, dan Hasil Penelitian Lain pada Umur Penyambungan 14 Hari



Gambar 10. Perbandingan Kenaikan Nilai Tegangan Geser antara Hasil Eksperimen, Cara SAP 2000, dan Hasil Penelitian Lain pada Umur Penyambungan 28 Hari

*) Parang Sabdono, Email: parang_sabdono@yahoo.com

Pada hasil eksperimen, kenaikan nilai tegangan geser antara metode kasar rendah terhadap metode kasar tinggi yang diperoleh lebih besar dari cara SAP 2000 hal ini dikarenakan pada hasil eksperimen, beban yang bekerja dibagi rata di seluruh permukaan geser *interface*, sedangkan pada SAP 2000 bagian sambungan beton lama dan baru pada kubus *interface* dibagi dalam beberapa *joint* sehingga hasil yang diperoleh bisa lebih teliti. Kenaikan nilai tegangan geser yang diperoleh dari penelitian lain yang berkaitan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar bila dibandingkan dengan hasil eksperimen. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan penanganan *interface* misalnya perbedaan kedalaman pengasaran, pola pengasaran di permukaan beton lama, dan adanya penambahan kawat ayam pada metode pengasaran tingkat tinggi di permukaan beton lama.

PEMBAHASAN

Pada lekatan antara beton lama (yang telah mengeras) dengan beton baru yang masih berupa *readymix*, terjadi perubahan fungsi dari material-material penyusunnya sehingga tidak terjadi kerjasama yang baik antar material-material penyusun beton untuk menjadikan suatu komponen beton yang monolit. Ketika air ditambahkan ke dalam campuran semen, proses kimiawi yang disebut dengan hidrasi akan berlangsung. Senyawa kimia di dalam semen akan bereaksi dengan air dan membentuk komponen baru. Komponen baru tersebut berperan dalam proses pengikatan dan pengerasan pada beton. Proses pengikatan pada beton adalah perubahan bentuk beton dari cair ke padat tetapi masih belum mempunyai kekuatan. Pengikatan ini terjadi akibat reaksi hidrasi yang terjadi pada permukaan butir semen, sedangkan proses pengerasan beton adalah pertumbuhan kekuatan dari beton setelah bentuknya menjadi padat. Namun pada sambungan antara beton lama dan baru proses hidrasi tidak bisa terjadi karena beton lama sudah mengalami pengerasan terlebih dahulu sehingga pengikatan komponen penyusun beton lama dan beton baru menjadi tidak maksimal dan menyebabkan perlemahan pada bagian sambungan tersebut.

Agregat mempunyai fungsi yang berbeda antara beton yang masih cair dengan beton keras. Pada beton cair fungsi agregat adalah lebih sebagai penentu kelecakan, pengikatan dan pengerasan (setelah bersatu dengan semen dan air). Sedangkan fungsi agregat pada beton keras adalah sebagai penentu kekuatan, kekerasan dan ketahanan dari beton tersebut. Pada penyambungan beton lama dan baru terjadi perbedaan fungsi pada agregat tersebut. Perbedaan fungsi tersebut mengakibatkan perlemahan pada pengikatan antara beton lama dan baru sehingga bagian sambungan tersebut menjadi bagian yang paling lemah.

Pada penelitian ini, perlemahan pada bagian sambungan antara beton lama dan beton baru tersebut ditangani dengan memberi perlakuan pada permukaan beton lama yaitu dengan mengasaskan permukaan beton lama, baik dengan kasar rendah maupun kasar tinggi guna meningkatkan kekuatan lekatan antara beton lama dan beton baru.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan, yaitu kenaikan nilai tegangan geser antara metode kasar rendah terhadap metode kasar tinggi pada usia penyambungan 28 hari menghasilkan kenaikan yang paling besar bila dibandingkan dengan usia penyambungan 7 dan 14 hari. Semakin lama umur penyambungan diperoleh kenaikan nilai tegangan geser yang semakin besar. Pada metode kasar tinggi diperoleh tegangan geser yang lebih besar karena memiliki tekstur pengasaran yang lebih dalam ditambah lagi dengan penempatan kawat ayam pada bagian sambungan sehingga menimbulkan gigitan-gigitan yang lebih kuat pada bagian sambungan.

Kesimpulan

1. Dari hasil perbandingan kenaikan nilai tegangan geser antara penelitian lain yang berkaitan, hasil eksperimen, dan cara SAP 2000, ketiganya sama-sama memiliki perilaku yang berbanding lurus yaitu terdapat kenaikan nilai tegangan geser antara metode kasar rendah terhadap metode kasar tinggi.
2. Variabel umur penyambungan sangat mempengaruhi kekuatan geser pada sambungan, semakin lama umur penyambungan maka kenaikan nilai tegangan geser antara metode kasar rendah terhadap kasar tinggi semakin besar.
3. Dari hasil eksperimen, antara metode pengasaran tingkat rendah bila dibandingkan dengan pengasaran tingkat tinggi pada umur penyambungan 7 hari memiliki selisih kenaikan nilai tegangan geser sebesar 78,81 %, pada umur penyambungan 14 hari sebesar 80,87 %, dan pada umur penyambungan 28 hari sebesar 101,58 %.

Daftar Pustaka

- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: GRAHA ILMU
- ASTM C39/C39 M-05. 2006. *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Annual Book of ASTM Standards. Vol 04.2.
- ASTM C617-98. 2003. *Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*. Annual Book of ASTM Standards. Vol 04.2.
- Bakhsh, Keivan N. 2010. *Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs*. Master Degree Thesis, Royal Institute of Technology (KTH) SE- 100 44 Stockholm.
- BS 1881-116. 1983. *Testing concrete. Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes*. British Standards Institution.
- Choi, Dong-UK., Fowler, David W., and Jirsa, James O. 1999. *Interface Shear Strength of Concrete at Early Ages*. ACI Materials Journal Title no. 96-S37.
- Gere, James M and Stephen P Timoshenko. 2000. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Mulyono, Tri., 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI.
- 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 Title no. 101-M11.
- Nugraha, Paul dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Surabaya: Andi.
- Shin, H. C., and Wan, Z. 2010. *Interfacial Properties between New and Old Concretes*. Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University.
- Santos, Pedro M. D., and Julio, Eduardo Nuno B. S. 2011. *Factors Affecting Bond between New and Old Concrete*. ACI Materials Journal Title no. 108-M48.
- Taylor, G. D. 2002. *Materials in Construction Principles, Practice, Performance*. England : Longman.
- Tschegg, Elmar K., Ingruber, M., Surberg, Cord H., and Munger, Fritz. 2000. *Factors Influencing Fracture Behavior of Old-New Concrete Bonds*. ACI Materials Journal Title no. 97-M52.