

PENGGUNAAN *BLOCK SET CONNECTION (BSC)* PADA SAMBUNGAN ELEMEN BETON *PRECAST*

Jojon Suherman

Abstract: Application of block set connection (*bsc*) in precast concrete element joints. Precast concrete technology is an alternative of reinforced concrete construction with the advantages of high quality and economical cost. However, precast concrete has not been widely used for seismic regions because of its weakness in the joints between precast concrete elements that are not ductile. The purpose of this research was to determine the ductility of precast concrete connections, which use a block set connection type (*BSC*). The design of beam column connection using the theory of full ductile that uses 2 specimen tests in a 1:1 scale, tested with cyclic loading and analyzed for ductility, strength, stiffness, energy dissipation, and pattern collapse. The experimental results obtained mean value of the ductility of $\mu = 6$, the achievement of ductility value is greater than the ductility of the requirements in SNI 1726-2002 that is $\mu = 5.3$. Therefore, block set connection type can be used to design buildings snaking precast concrete structures in seismic regions 5 and 6 (the area of high seismic risk).

Abstrak: Penggunaan *Block Set Connection (BSC)* pada Sambungan Elemen Beton *Precast*. Teknologi beton *precast* merupakan alternatif pilihan dari konstruksi beton bertulang dengan keunggulan mutu yang tinggi dan biaya yang ekonomis. Namun demikian beton *precast* belum banyak digunakan untuk daerah gempa karena mempunyai kelemahan pada sambungan antar elemen beton *precast* yang tidak daktil. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui daktilitas sambungan beton *precast*, yang menggunakan tipe *block set connection (BSC)*. Rancangan sambungan balok kolom menggunakan teori *full ductile* yang menggunakan 2 buah benda uji dalam skala 1:1, diuji dengan beban siklik dan dianalisis terhadap daktilitas, kekuatan, kekakuan, disipasi energi, dan pola keruntuhan. Hasil eksperimen diperoleh nilai daktilitas rerata $\mu = 6$, pencapaian nilai daktilitas tersebut lebih besar dari daktilitas yang disyaratkan dalam SNI 1726-2002 yaitu $\mu = 5,3$. Oleh karena itu tipe *block set connection* dapat dipakai untuk merancang bangunan struktur beton *precast* di wilayah gempa 5 dan 6 (daerah resiko gempa tinggi).

Kata-kata kunci: *Block set connection*, daktilitas, beton *precast*, gempa

Dewasa ini pemakaian beton *precast* semakin diminati, karena beton *precast* memiliki keunggulan dibandingkan dengan pemakaian beton bertulang biasa.

Beton *precast* dapat menyediakan kontrol mutu tinggi, efisien dalam mengkonstruksi, dan penghematan waktu serta harga. Namun demikian pemakaian beton

precast masih dibatasi oleh daerah di luar daerah gempa, bahkan peraturan pemakaian beton *precast* yang berlaku di Indonesia belum tersedia. Oleh karena itu telah banyak penelitian yang dilakukan di beberapa negara dalam hal perilaku beton *precast* yang berhubungan dengan kemampuan struktur beton *precast* terhadap ketahanan gaya gempa.

Dalam berbagai pedoman atau pun peraturan tentang perencanaan bangunan tahan gempa pada dasarnya bertujuan menjamin struktur agar tidak rusak akibat gempa kecil atau sedang, akan tetapi pada saat terjadi gempa kuat struktur tersebut mampu berperilaku duktail.

Saat ini filosofi perencanaan untuk kepentingan bangunan tahan gempa dikenal dengan konsep "*capacity design concept*". Konsep ini digunakan untuk perencanaan bangunan tahan gempa yang dicor ditempat atau beton bertulang yang dikonstruksi monolit, sedangkan untuk beton *precast* konsep perencanaan belum ada, dan masih banyak tersedia dalam bentuk penelitian. Sehingga Konsep Desain Kapasitas masih merupakan acuan dalam perencanaan bangunan tahan gempa untuk beton *precast*.

Permasalahan utama dan bagian yang paling penting dalam beton *precast* adalah sistem sambungan yang menyatukan antara elemen-elemen beton *precast* yang terpisah menjadi suatu struktur bangunan yang utuh seperti halnya struktur beton yang monolit. Sehingga sambungan yang direncanakan untuk daerah gempa harus ada jaminan bahwa sambungan tersebut harus mampu menerima beban gempa rencana, harus mampu memancarkan energi gempa dan harus mempunyai kemampuan berdeformasi secara inelastis.

Kemampuan struktur berdeformasi dapat dilihat dari nilai daktilitas struktur, semakin besar daktilitas struktur semakin duktail struktur tersebut. Perilaku duktail struktur adalah kemampuan mengadopsi perubahan bentuk inelastis struktur yang

didefinisikan sebagai perbandingan perpindahan inelastis maksimum (Δu) tetapi tanpa mengurangi banyak kekuatan struktur dengan perpindahan struktur pada saat munculnya kelelahan awal (Δy). Untuk itu sambungan harus bersifat duktail sesuai dengan ketentuan daktilitas struktur beton bertulang monolit yang direncanakan di daerah gempa (UBC, 1997: 1927.2.1.6).

Berdasarkan peta gempa Indonesia, kota-kota besar di Indonesia seperti Jakarta, Semarang dan Surabaya dilalui gempa moderat, padahal di kota-kota tersebut tingkat kebutuhan pembangunan perumahan atau gedung-gedung berlantai banyak cukup tinggi, sehingga upaya untuk mengembangkan pembangunan perumahan atau gedung berlantai banyak dengan menggunakan beton *precast* adalah jawaban yang cukup memberikan harapan banyak pihak. Oleh karena itu mempelajari beton *precast* adalah tuntutan teknologi masa sekarang dan akan datang.

Berdasarkan kondisi tersebut dilakukan penelitian melalui suatu gagasan ilmiah dengan menciptakan desain alat sambung yang digunakan pada konstruksi beton *precast* yang dinamakan "*Block Set Connection (BSC)*". Sambungan ini diharapkan dapat memberikan jawaban syarat perilaku beton *precast* yang bersifat duktail penuh, dimana pada kondisi sekarang tipe sambungan yang memberikan nilai daktilitas tinggi sangat ditunggu-tunggu oleh para ahli konstruksi beton *precast*.

Konsep perencanaan sistem pracetak tahan gempa lama sangat konservatif, yaitu perencanaan sistem sambungan yang harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental mempunyai kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur yang monolit. Pada konsep baru perencanaan sistem pracetak diusulkan adalah sistem sambungan yang direncanakan harus terbukti secara teori-

tis dan eksperimental memenuhi persyaratan daktilitas dan kekakuan struktur tahan gempa. Konsep ini dikenal sebagai sambungan daktail. Dengan demikian, cukup jelas bahwa sambungan harus berfungsi sebagai sendi plastis yang dapat berfungsi juga sebagai pemancar energi gempa.

Implementasi dari konsep perencanaan kapasitas mengacu pada beberapa perilaku inelastik dan mode keruntuhan struktur yaitu mode keruntuhan *story mechanism*, mode keruntuhan *sway mechanism*, dan mode keruntuhan *bay mechanism* (Nugraha, 2002). Strategi analisis harus diarahkan pada Mode keruntuhan *sway mechanism* yaitu jika perilaku inelastik membentuk sendi plastis terjadi di balok terlebih dahulu, falsafah ini dikenal dengan “*strong column weak beam*”. Agar hasil keutamaan konstruksi lebih terlihat maka desain konstruksi menggunakan rancangan *full ductile*.

Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \tag{1}$$

C_1 = koefisien gempa bergantung dari respon spektra yang direncanakan

I = faktor keutamaan struktur

R = faktor reduksi gaya gempa

W_t = berat total struktur

$$R = \mu \times f_1 \tag{2}$$

μ = Daktilitas struktur

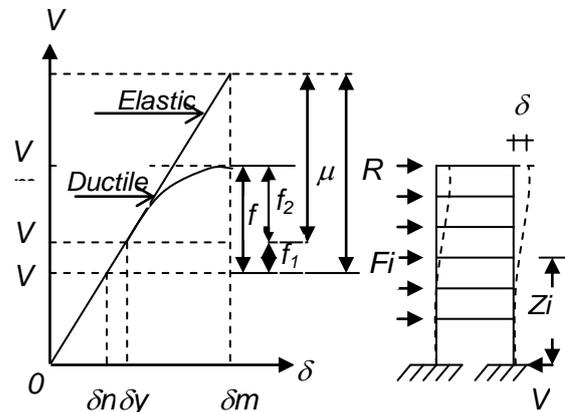
f_1 = faktor keamanan

Dan daktilitas (μ) yaitu gambaran kemampuan perubahan bentuk inelastik.

$$\mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \tag{3}$$

untuk lebih jelasnya dalam SNI 1726-2002 ditampilkan dalam bentuk gambar hubungan antara beberapa parameter yang berkaitan dengan struktur gedung

tahan gempa seperti pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Load Displacement Diagram (V-δ) pada Struktur Gedung

sedangkan faktor Reduksi beban gempa (R) faktor keamanan (f_1) faktor kuat lebih (f_2) tidak dibahas dalam penelitian ini.

Tabel 1. SNI 1726-2002 Ductility Parameter of Building Structures

Performance level	μ	R (1.6 x μ)
Full elastic	1.0	1.6
	1.5	2.4
	2	3.2
	2.5	4.0
	3.0	4.8
Partially ductile	3.5	5.6
	4.0	6.4
	4.5	7.2
Full ductile	5.0	8.0
	5.3	8.5

Konsep Perencanaan Sambungan Konstruksi Tahan Gempa Beton Precast

Beton *precast* memiliki perilaku yang berbeda dengan beton bertulang biasa, terutama perilaku struktur pada saat menerima beban kerja. Pada umumnya beton *precast* memiliki kekakuan dan disipasi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan beton bertulang biasa. Sehingga redaman struktur dan kekuatan struktur sangat dipengaruhi oleh keadaan struktur

yang paling lemah, yaitu yang terletak pada sambungan. Keadaan seperti ini oleh para ahli *precast* (pasca awal *precast*) menjadikan persyaratan yaitu: “Sistem sambungan yang direncanakan harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental mempunyai kekuatan dan ketegaran minimal sama dengan yang dimiliki struktur beton monolit”.

Konsep ini dikenal dengan “*sambungan kuat*” UBC 1997 pada pasal 21.1, dimana sambungan direncanakan lebih kuat dari elemennya dan konsep ini dianggap konservatif oleh para ahli *precast* dan munculah program PRESSS yang diketuai oleh prof. Prestley ahli struktur beton dari Newzeland yang pindah ke Amerika dengan merubah konsep ini menjadi lebih progresif yaitu: “Sistem sambungan yang direncanakan harus terbukti secara teoritis dan eksperimental memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa”.

Konsep ini dikenal dengan “*sambungan daktail*”, dimana sambungan tidak harus lebih kuat dari elemennya tapi dapat direncanakan sebagai pemancar energi. Berdasarkan persyaratan tersebut, dilakukan penelitian dengan salah satu model sambungan yang bersifat daktail berupa sebuah usulan *block set connection* (BSC). Diharapkan berdasarkan perhitungan kontruksi dapat memberikan daktilitas $\mu = 6$, dan apabila terbukti berarti dapat lebih besar dari yang disyaratkan dalam SNI 1726-2002 yaitu $\mu = 5,3$ (yang dipakai dalam kategori rancangan gedung *full daktail*). Selain daktilitas konstruksi juga diharapkan dapat memberikan nilai kekakuan berdasarkan teori perencanaan atas faktor kekakuan struktur memberikan nilai 0,6 yang mendekati nilai kekakuan monolit.

Sambungan *Block Set Connection* (BSC)

Block set connection (BSC) adalah sebuah alat sambung yang digunakan

untuk menyambung elemen beton *precast* dalam struktur konstruksi bangunan. BSC dirancang menggunakan material dari baja sama dengan benda yang akan disambung, dalam hal ini baja tulangan dalam beton *precast* yang akan disambung. Kemampuan BSC dalam konstruksi terletak pada kualitas bahan BSC yang memiliki daktilitas tinggi dan panjang ulir dalam BSC. BSC terdiri dari dua buah blok yang dirangkai dalam satu set sambungan dengan jumlah total blok bergantung dari jumlah tulangan yang akan disambung. Bentuk BSC seperti dalam Gambar 2-8.



Gambar 2. ½ BSC



Gambar 3. Satu Set BSC Terbuka



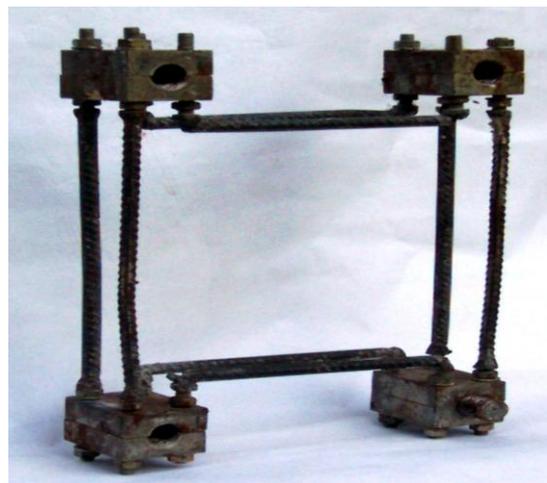
Gambar. 4. Satu Set BSC



Gbr. 7. BSC Terpasang 4 buah pada Rangkaian Balok



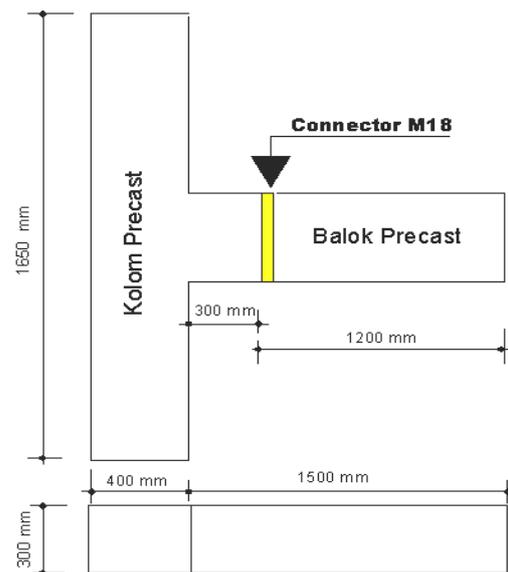
Gambar. 5. BSC Sedang Dirangkai



Gambar 8. BSC Bentuk 4 Buah



Gambar. 6. BSC Terangkai

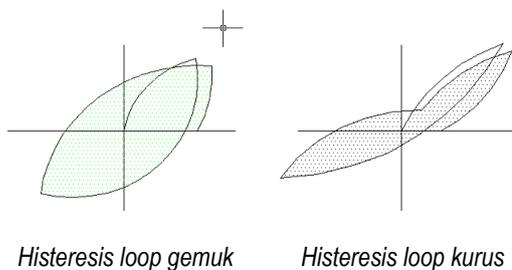


Gambar 9. Pemasangan BSC

BSC ini dipasang pada daerah sendi plastis. Dalam penelitian ini dipasang pada daerah sendi plastis untuk srtuktur kantilever seperti terlihat dalam Gambar 9.

Dasar perhitungan dalam sambungan *block set connection* ini menggunakan kekuatan material ultimit. Perlu diketahui cara perhitungan beton bertulang biasa berdasarkan dengan perilaku elastis, yang biasa disebut dengan katagori daktilitas 1-2. Kondisi daktilitas ini tidak berlaku untuk rancangan gedung yang diperhitungkan kekuatan gempa. Atau apabila rancangannya dipaksakan dengan cara perhitungan ini akan memunculkan dimensi gedung besar dan tentu saja menjadi boros. Oleh karena itu, perhitungan ultimit boleh dilakukan apabila struktur mempunyai daktilitas besar sesuai sarat yang berlaku.

Untuk memperhitungkan kemampuan daktilitas struktur dapat dilakukan dengan *detailing*, yaitu melakukan gabungan perilaku struktur pada fokus pemancaran energi (*dissipating energi*), semakin baik pemancaran energi struktur maka daktilitas perilaku struktur semakin tinggi, hal ini dapat ditunjukkan dengan *hysteresis loop* struktur seperti Gambar 10.

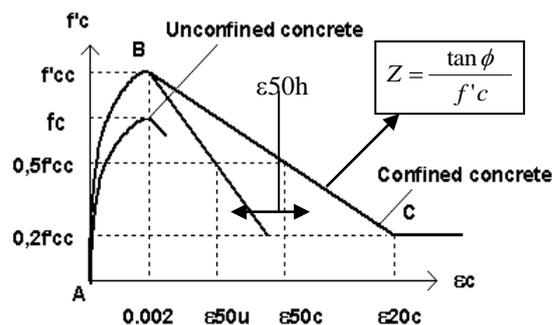


Gambar 10. Histeresis Loop

Hasil perhitungan harus disajikan dalam bentuk *histeresis loop* ini, karena dari bentuk yang tersaji dapat terlihat perilaku daktil struktur dan sekaligus redaman struktur dapat dihitung dari luasan disipasinya. Selanjutnya perilaku daktil ini dihitung daktilitas strukturnya dengan cara menggunakan persamaan 3.

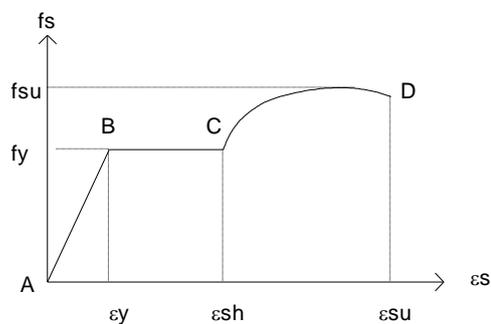
Pendetailan struktur juga dapat dilakukan dengan meningkatkan f_c beton, dan menyeimbangkan mutu baja. Untuk meningkatkan f_c beton, dapat dilakukan

dengan *confinement* beton. Selanjutnya juga dapat dicari lokasi pemancaran energi yang efektif yaitu terletak pada sendi plastis khususnya struktur tahan gempa untuk menjamin *strong column weak beam*. Oleh karena itu, penelitian yang dikembangkan ini sangat memperhatikan faktor pendetailan tersebut. Contohnya untuk material beton dipakai tegangan beton *confinement* seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Stress-Strain Curve for Concrete Confined by Rectangular Hoop (Kent and Park, 1990)

Mutu beton meningkat menjadi f'_{cc} , ini disebabkan beton telah *diconfine*, peningkatan mutu beton berakhir hingga beton mengalami regangan maksimum ϵ_{20c} . Sedangkan untuk material baja, digunakan tegangan ultimit yang memberikan daktilitas persyaratan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

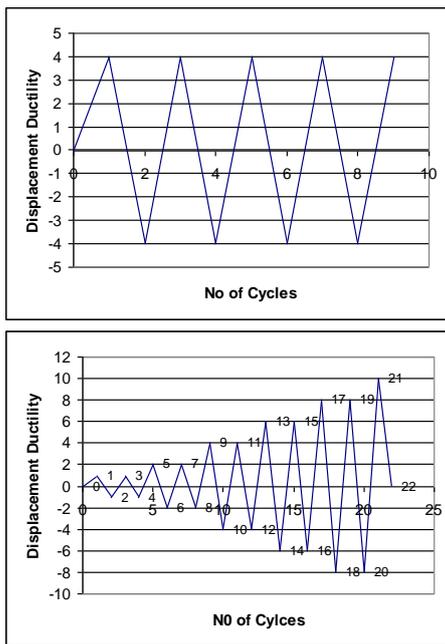


Gambar 12. Stress-Strain Curve for Steel

Dilihat dari Gambar 12 tersebut, untuk memperhitungkan kekuatan struktur diambil pada daerah C-D dimana baja

pada kekuatan utimit tapi dibatasi pada daerah keruntuhan. Perhitungan konstruksi merupakan gabungan dari dua material baja dan beton pada kekuatan ultimit dalam katagori rancangan *full ductile* dengan memenuhi daktilitas yang disyaratkan.

Untuk mengetahui apakah rekayasa perhitungan konstruksi sesuai dengan asumsi hitungan dilakukan uji konstruksi lapangan. Persyaratan yang digunakan untuk menguji kehandalan struktur *precast* dalam penelitian ini dipakai kriteria Newzealand, dimana salah satunya harus diuji dengan *peseu dynamic*. Berdasarkan kriteria ini struktur dinyatakan handal apabila diuji dengan *loading cyclic* sampai mencapai 4 kali daktilas yang diinginkan masing-masing dua siklus.



Gambar 13. Load Histories and Comulative Ductilities used Performance Test

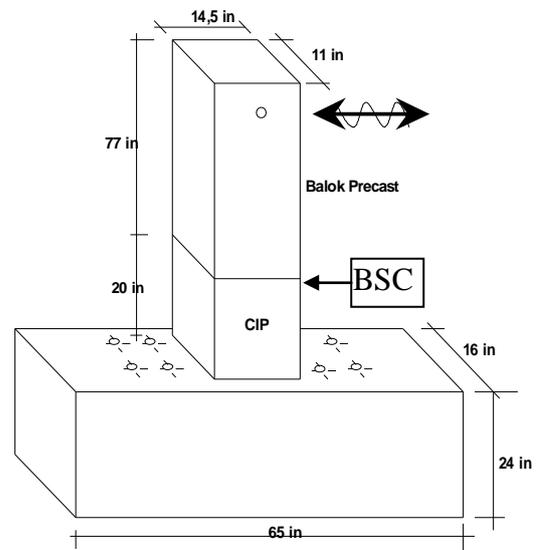
Karya tulis ini bertujuan menunjukkan bahwa hasil penelitian dan pengujian dari sambungan *Block set connection* pada beton *precast* dapat memberikan sumbangan metode dan karya ilmiah berupa alat sambung BSC dengan tingkat daktilitas tinggi. Selanjutnya, penelitian

ini bertujuan untuk memberikan masukan pada dunia konstruksi khususnya konstruksi beton *precast* untuk dapat menggunakan sambungan BSC ini pada beton *precast* untuk daerah gempa dengan tingkat efesiensi pelaksanaan konstruksi mencapai 50–70% dari penggunaan bertulang biasa yang dilakukan cor di tempat.

METODE

Objek

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen menggunakan benda uji *Typical Beam Coloum T-Specimen*. Sambungan BSC dipasang pada konstruksi balok kantilever seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Typical Beam-Coloum T-Specimen

Dalam penelitian ini digunakan benda uji balok dan kolom 2 buah dengan skala 1:1 dan 2 buah BSC yang dipasang pada masing-masing benda uji.

Bahan dan Alat

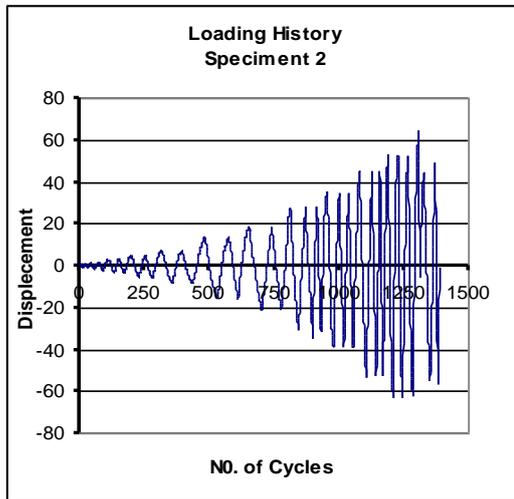
Penelitian ini menggunakan benda uji terbuat dari elemen beton bertulang dengan $f_c = 30$ MPa, $f_y = 370$ MPa disambung dengan BSC dengan $f_y = 370$. Untuk mendapatkan data regangan pada daerah yang disambung digunakan *strain*

gauge tipe FLA-3-11 yang dipasang pada setiap tulangan yang sambungan dengan BSC. Sedangkan alat uji utama yang digunakan pada pengujian benda uji ini adalah *actuator* yang diberikan beban siklik seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Alat Uji Siklik (*Actuator*)

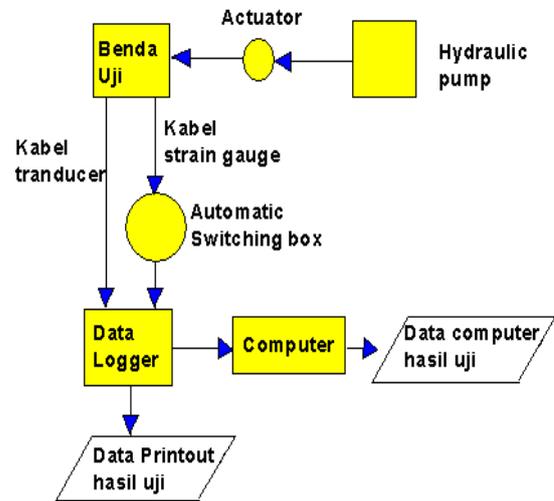
Benda uji dibebani dengan *loading history* seperti Gambar 16.



Gambar 16. *Loading History* untuk Kedua Benda Uji

Prosedur

Pengujian benda uji menggunakan *actuator* dengan beban dari *hydraulic pump* yang dihubungkan dengan kabel *transducer* dan diterima oleh kabel *strain gauge*. Alur atau skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 17.



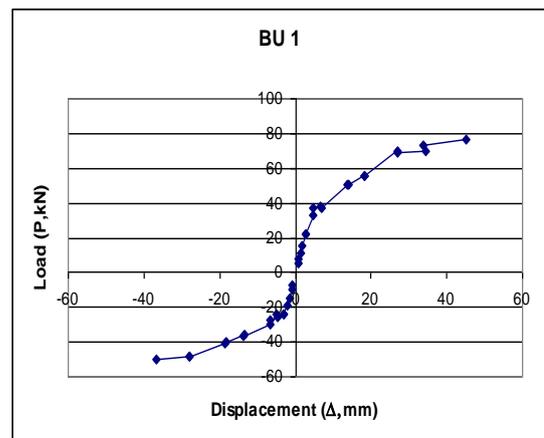
Gambar 17. Skema Pengujian

HASIL

Pengujian ini menggunakan *control displacement*. Hasil uji lapangan dapat ditunjukkan dengan *hysteresis loop*. Selanjutnya melalui *hysteresis loop* ini dapat diolah untuk beberapa kepentingan analisa.

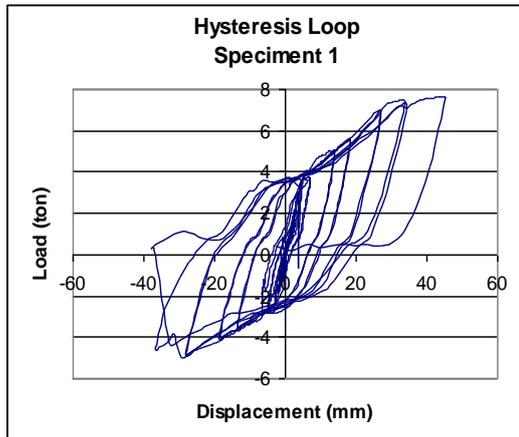
Daktilitas

Setelah dilakukan pengujian perubahan *displacement* pada benda uji terjadi seperti Gambar 18.



Gambar 18. Hubungan Beban puncak dengan *Displacement*

Selain itu, Gambar 18 dapat terekam dalam bentuk *hysteresis loop* seperti pada Gambar 19.

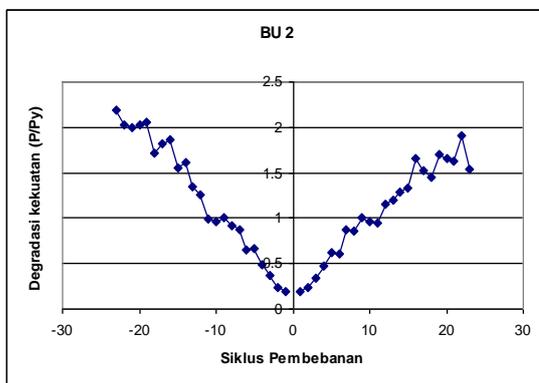


Gambar 19. Kurva Hysteresis Beban-Displacement

Dari Gambar 18 dan 19 dapat dianalisa melalui tabel-tabel data dan hasilnya menunjukkan daktilitas benda uji mencapai $\mu = 6,51$.

Degradasi Kekuatan

Setelah dilakukan pengujian, dapat dilihat kemampuan benda uji sampai keruntuhan seperti Gambar 20.

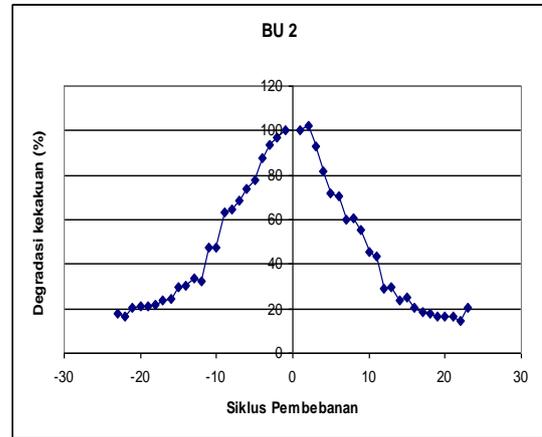


Gambar 20. Degradasi Kekuatan Benda Uji

Dari Gambar 20 yang sudah ditabelkan dan dianalisis, dapat dilihat penurunan kekuatan setiap siklus melebihi 20%, berarti benda uji stabil kekuatannya selama pengujian.

Degradasi Kekakuan

Selama dilakukan pembebanan terhadap benda uji, kekakuan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 21.

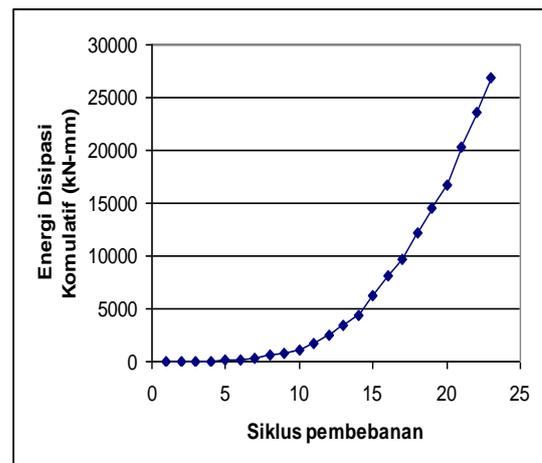


Gambar 21. Degradasi Kekakuan Benda Uji

Analisa degradasi kekakuan diambil dari Gambar 19, 20, dan 21. Setelah dianalisa, diperoleh hasil kekakuan konstruksi yaitu faktor kekakuan $p = 0,9$ pada kondisi elastis dan $p = 0,82$ pada kondisi inelastis. Hal ini berarti konstruksi penyambungan elemen memiliki perilaku sama dengan konstruksi monolit.

Disipasi Energi

Pengujian disipasi energi dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Disipasi Energi Komulatif

Gambar 19 dan 22 sebagai dasar analisa disipasi energi dengan hasil analisa disipasi energi dilihat dari bentuk *loop*-nya memiliki bentuk yang besar berarti sangat bagus menyerap energi.

PEMBAHASAN

Hysteresis loop yang ditunjukkan pada Gambar 19, dengan dukungan Gambar 22 menunjukkan berbentuk gemuk (luas) tidak adanya *finching effect* ini menunjukkan penyerapan energi yang baik, berarti pula disipasi energinya baik dengan harga redaman pada kondisi elastis 4,8% dan pada daerah inelastis 9,12%.

Dengan data tersebut dan diolah dengan tabel perhitungan dapat diperoleh daktilitas konstruksi mempunyai nilai rerata $\mu = 6,45$. Nilai daktilitas ini mempunyai arti bahwa konstruksi sangat daktil dan dapat digunakan untuk perhitungan *full ductile* yang mensyaratkan nilai daktilitas $\mu = 5,3$.

Pada Gambar 20, dari data yang telah diolah menunjukkan konstruksi yang stabil menerima peningkatan beban siklik, dimana penurunan kekuatan pada setiap penambahan beban tidak melebihi 20%. Maka konstruksi dinyatakan memiliki kekuatan menahan beban.

Pada Gambar 19, 20, dan 21 menunjukkan bahwa kekakuan konstruksi dengan faktor kekakuan konstruksi mencapai nilai rerata 0,95. Nilai ini berarti alat sambung BSC memiliki kekakuan sama dengan konstruksi monolit. Pola runtuh konstruksi beton *precast* menggunakan alat sambung BSC memiliki kesamaan dengan pola runtuh beton monolit, berarti memenuhi syarat konstruksi.

Dari hasil pengujian, alat sambung BSC dalam penelitian ini sebagai alat menyambung beton *precast* dapat digunakan dengan keunggulan pada redaman, kekakuan pemancar energi dan daktilitas tinggi, sehingga BSC ini dapat digunakan untuk menyambung beton *precast* untuk wilayah gempa beresiko tinggi dengan metode perhitungan konstruksi *full ductile*.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasar hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sambungan tipe BSC

memiliki: (1) daktilitas $\mu = 6,45$; (2) kekuatan yang stabil pada pembebanan; (3) kekakuan konstruksi 0,95 yang menyamai konstruksi monolit; (4) disipasi energi yang mampu menyerap energi pada sambungan; dan (4) pola runtuh konstruksi yang sama dengan pola runtuh konstruksi monolit. Berdasarkan simpulan tersebut, sambungan BSC ini dapat digunakan sebagai alat sambung pada beton *precast* untuk wilayah gempa dengan kekuatan gempa tinggi.

Dari proses penelitian yang dilakukan dan simpulan penelitian, dapat disarankan: (1) *grouting* antara elemen harus sempurna dengan menggunakan bahan yang sama dengan elemen konstruksi atau bahan *grouting* dari bahan lain yang homogen; (2) penelitian ini dapat dilanjutkan dengan jumlah *block set* lebih dari dua atau dengan tipe BSC yang berbeda; (3) dapat dilanjutkan penelitian BSC dengan kualitas baja lebih rendah dari kualitas tulangan yang disambung; dan (4) lokasi tempat sambungan dapat bergeser di daerah sendi plastis.

DAFTAR RUJUKAN

- Kent, D.C and Park, R. 1990 "Flexural Members with Confined Concrete", *Journal of the Struktural Division*, ASCE, Vol. 97. ST7, July 1971, pp 1969-1990.
- Nugraha, Hari Nurjaman. 2002. *Penentuan Model dan Parameter untuk Analisa dan Perencanaan Tahan Gempa Struktur Pracetak Rangka Beton*. ITB.
- SNI 1726-2002. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. PU.
- UBC. 1997. *Uniform Building Code*. USA.

