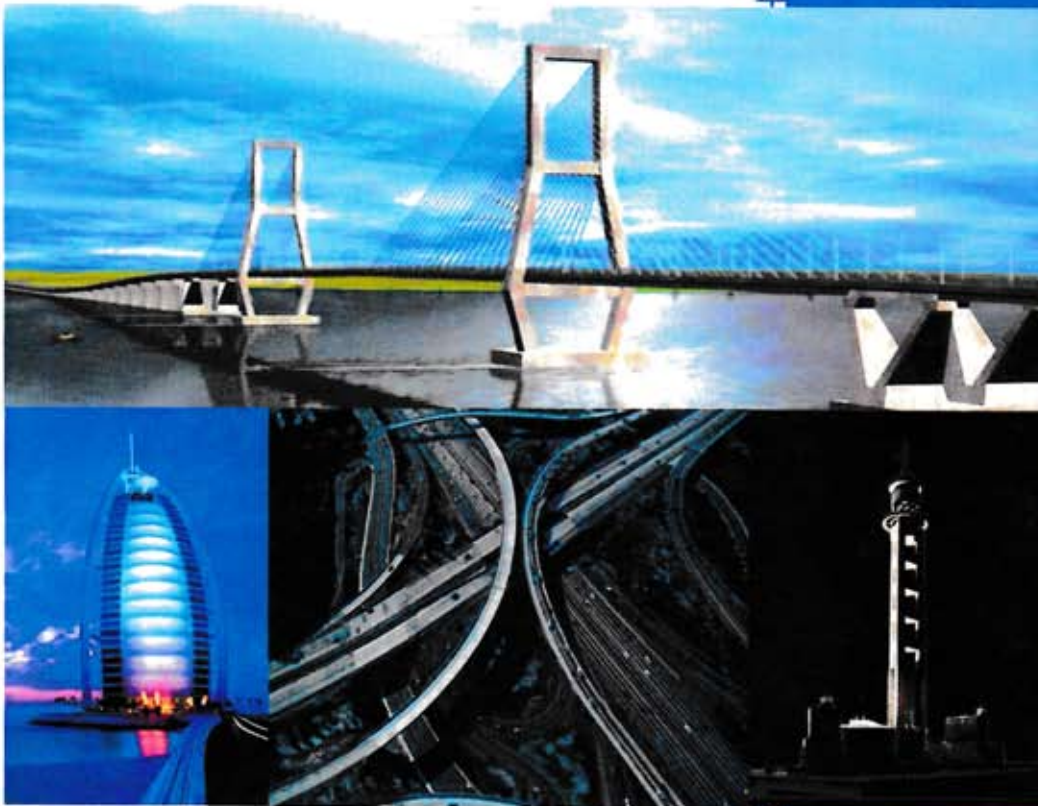


PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR

DALAM MENUNJANG
PEMBANGUNAN EKONOMI NASIONAL

Volume I



WYKA BETON

adhi
Beyond Construction

Suara
Surabaya
FM 100

GEOSISTEM

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS SURABAYA

Surabaya, 27 Januari 2010



PROSIDING
SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL
VI-2010

ISBN 978 - 979 - 99327 - 5 - 4

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR
DALAM MENUNJANG PEMBANGUNAN
EKONOMI NASIONAL
Volume I

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

**SUSUNAN PANITIA SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL VI-2010
PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK SIPIL FTSP-ITS**

Pelindung	: Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., M.S. Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS A. Agung Gde Kartika, S.T. M.Sc. Sekjur I Teknik Sipil FTSP-ITS Budi Suswanto, S.T. M.T. Ph.D. Sekjur II Teknik Sipil FTSP-ITS Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng. Koordinator Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil FTSP-ITS
Ketua I	: Ir. Soetoyo, M.Sc.
Ketua II	: Data Iranata, S.T. M.T. Ph.D.
Sekretaris I	: Mahendra Andiek Maulana, S.T. M.T.
Sekretaris II	: Bambang Picesa, S.T. M.T.
Bendahara	: Ir. Retno Indryani, M.T.
Sia Publikasi dan Dokumentasi	: Cahyono Bintang Nurcahyo, S.T. M.T. Harun Alrasyid, S.T. M.T.
Sie Acara	: Farida Rahmawati, S.T. M.T. Dr. Ir. Edijatno
Sie Perlengkapan	: Istiar, S.T. M.T. Arif Rohman, S.T. M.E
Sie Konsumsi	: Yusronia Eka Putri, S.T. M.T. Butiliastri, S.T. M.T.
Koord. Sie Editor	: Dr.Tech. Pujo Aji, S.T. M.T.
Wakil Koord. Sie Editor	: Trihanindio Rendy Satria, S.T. M.T.
Sie Editor	: Tavio, S.T. M.T. Ph.D. Prof. Dr. Ir. Indarto Ir. I Putu Artama W., M.T. Ph.D. Dr. Ir. Muhammad Taufik Dr. Ir. Edijatno Ir. Wahyu Herjanto, M.T. Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng.
Sie Dana	: Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc. Endah Wahyuni, S.T. M.T. Ph.D. Ir. Hera Widiastuti, M.T. Ir. Suwarno, M.Sc. Ir. Mudji Irmawan, M.S. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi
Backup Force	: Robin Achmad Fauzi Debby Lusy F. T. H., S.E. Zu'is Erwanto Aulia Tirtamarina Siti Maryam Muhamr.ad Hafizh Imaduddin

DAFTAR ISI

Halaman Judul

Susunan Panitia

Kata Pengantar

Sambutan Dekan FTSP-ITS

Sambutan dan Ketua Panitia

Daftar Isi

STRUKTUR

- Pengaruh Diameter Maksimum Agregat Terhadap Kokoh Tekan Dan Pengaruh Variasi Dimensi Benda Uji Rasio Tinggi Dan Diameter (L/D) Terhadap Kokoh Tekan Hancur Beton A-1
Aman Subakti
- Pengaruh Getaran Akibat Kendaraan Di Jalan Tol Terhadap Lingkungan Sekitarnya A-13
Ananta sigit Sidharta, Triwulan dan Widya Utama
- Balok Beton Komposit *Lips Channel* A-23
Andang Widjaja dan Nuroji
- Pemodelan Struktur Dinding Beton Ringan Pracetak Untuk Rumah Tinggal Sederhana Tahan Gempa Dan Cepat Bangun A-35
Andaryati, Data Iranata dan Tavio
- Studi Variasi Sudut Datang Gempa Pada Struktur Gedung A-47
Anis Rosyidah, Desi Ariani Sutiyono dan Rachmawaty Asri
- Studi Eksperimental Besaran Mekanis Beton Mutu Normal Pada Suhu Tinggi A-57
Antonius, Himawan Indarto dan Trisni Bayuasri
- Pemanfaatan Abu Terbang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batako A-67
Arie Wardhono
- Pengembangan Model Struktur Beton Bertulangan Bambu Tahan Gempa Sistem Ganda Untuk Pembangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa Pada Wilayah Gempa ZONA 6 di Indonesia A-77
B. Sri Umniati, Karyadi dan Nindyawati
- Effect Of Confined Concrete On Rectangular Concrete Filled Steel Tube (CFT) to The P-M Interaction* A-91
Budi Suswanto

**PENGEMBANGAN MODEL STRUKTUR BETON BERTULANGAN BAMBU
TAHAN GEMPA SISTEM GANDA UNTUK PEMBANGUNAN RUMAH
SEDERHANA TAHAN GEMPA PADA WILAYAH GEMPA ZONA 6 DI
INDONESIA**

B. Sri Umniati¹, Karyadi², dan Nindyawati³

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang, Telp 0341-551312, email:
sriumniati@gmail.com

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang, Telp 0341-551312, email:
karyadilensmith@yahoo.com

³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang, Telp 0341-551312, email:
snindyawati@yahoo.co.id

Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah untuk meneliti bambu sebagai bahan tulangan alternatif pada struktur portal beton bertulang tahan gempa yang terkekang menggantikan tulangan baja yang harganya jauh lebih mahal dari pada tulangan bambu. Adapun target khusus dari penelitian ini yang merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan peneliti adalah: (1) terbentuknya model struktur beton bertulangan bambu tahan gempa dengan sistem ganda; (2) terpilihnya model struktur beton bertulangan bambu tahan gempa sistem ganda untuk dibuat sebagai prototipe model rumah sederhana tahan gempa sistem ganda. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil UM dan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil UB. Sejumlah empatbelas buah benda uji portal sistem ganda bertulangan bambu yang terbagi dalam tujuh kelompok benda uji di uji secara eksperimental dengan mengaplikasikan beban siklis lateral pada setiap benda uji. Untuk setiap kenaikan beban pada setiap siklus dicatat beban, simpangan portal, regangan pada bambu, dan regangan pada beton. Hasilnya disajikan dalam grafik *hysteresis loop* portal uji. Dari hasil penelitian dipilih satu model terbaik untuk dibuat prototipenya. Model penulangan struktur beton bertulangan bambu tahan gempa sistem ganda ini akan digunakan sebagai bahan rekomendasi pembangunan rumah murah sederhana tahan gempa dengan sistem ganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas beban lateral yang paling besar terdapat pada portal sistem ganda yang dikekang di jalur gaya tekannya (pengekangan Kotsovos dan Kotsovos modifikasi) dengan dinding geser di bentang tengah yaitu sebesar 4,860 ton. Sedangkan pada portal sistem ganda yang dikekang di lokasi sendi plastis potensial dengan dinding geser di tengah bentang kapasitas beban lateral maksimumnya adalah 2,835 ton dan pengekangan di sendi plastis dinding geser tepi sebesar 4,050 ton. Kapasitas beban lateral terendah terdapat pada portal sistem ganda Kotsovos modifikasi dinding geser tepi yaitu sebesar 1,512 ton. Dengan kapasitas beban lateral yang tinggi ini maka disimpulkan bahwa semua model portal sistem ganda pada penelitian ini dapat digunakan untuk struktur tahan gempa di zona 6. Dan yang dipilih untuk dijadikan prototipe adalah portal sistem ganda dengan pengekangan Kotsovos modifikasi dinding geser di bentang tengah.

Kata kunci : sistem ganda, struktur tahan gempa, tulangan bambu

1. PENDAHULUAN

Bambu sebagai alternatif pengganti bahan tulangan baja sangat menarik untuk diteliti karena memiliki beberapa keuntungan. Dari segi kekuatan, kuat tarik bambu jenis galah sebesar 253 Mpa menyamai kuat tarik baja tulangan yang berkisar antara 240 Mpa hingga lebih dari 400 MPa [13]. Dari segi ekonomi, harga bambu jauh lebih murah dibandingkan tulangan baja untuk tingkat kekuatan yang sama. Sedangkan dari segi ketersediaannya, bambu merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui.

Untuk dapat menggantikan baja sebagai tulangan pada beton, maka diperlukan metode rekayasa struktur pada pemanfaatan bambu sebagai tulangan pokok pada struktur beton bertulang. Metode pada rekayasa struktur disini adalah menggunakan pengekang yang dipasang pada jalur gaya tekan struktur. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti [7], pemasangan pengekang di jalur gaya tekan balok beton bertulang dapat meningkatkan kapasitas beban lentur balok sebesar 23,76%. Pembangunan rumah sederhana tahan gempa merupakan kebutuhan yang mendesak bagi rakyat Indonesia mengingat wilayah Indonesia sebagian besar berada di atas titik-titik pusat gempa. Titik-titik pusat gempa itu tersebar dari lautan Selatan-Barat Aceh, Selatan Sumatera, Jawa, NTB, NTT, Maluku, dan Papua bagian Utara-Barat. Hanya Kalimantan Barat dan Selatan saja yang "bebas" dari gempa [18]. Masih jelas di ingatan, gempa bumi berkekuatan 9,3 skala richter dan tsunami di Aceh yang menewaskan sekitar 129.498 orang dan 37.606 lainnya hilang dan sekitar 517.000 orang kehilangan tempat tinggal [25]; gempa bumi di Jogja berkekuatan 5,9 skala richter yang menewaskan 6.234 jiwa, dan walaupun korban jiwa tidak sebanyak di Aceh tapi mampu meluluhlantakkan gedung, jalan dan jembatan serta rumah-rumah penduduk. Di Kabupaten Bantul 7.057 rumah rubuh, di Kecamatan Jetis 70 % rumah rata dengan tanah [25].

2. DASAR TEORI

Penelitian-Penelitian Terdahulu

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan peneliti. Pada penelitian tersebut tulangan longitudinal balok menggunakan tulangan baja dengan bentuk pengekang sengkang segiempat tertutup (*hoop*) dengan tambahan kaki sengkang/sengkang terbuka (*cross ties*) dibagian tengah sengkang (*hoop*). Hasil penelitian menunjukkan secara signifikan (dengan taraf signifikansi penolakan $\alpha=5\%$) terdapat peningkatan pada kapasitas beban maksimum sebesar rata-rata 11,27 % [23]. Sedangkan jarak optimal pengekang segiempat pada balok beton bertulangan baja adalah 50 mm [14]. Penelitian ini juga merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti. Pada penelitian tersebut, balok beton bertulangan bambu yang dikekang di jalur gaya tekannya pada rasio tulangan 5 % yaitu rasio maksimum tulangan bambu beton tidak dikekang [6] dan rasio 6 %. Bentuk pengekang yang digunakan ada dua macam yaitu bentuk segiempat dan bentuk spiral. Beban yang diaplikasikan adalah beban gravitasi. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas beban pada balok dengan rasio tulangan 5% yang tidak dikekang rata-rata 7,03 ton dan pada balok dengan rasio tulangan 6% yang dikekang rata-rata 8,7 ton. Ini berarti terdapat peningkatan kapasitas lentur yang signifikan sebesar 23,76% (dengan taraf signifikansi penolakan $\alpha=5\%$) pada balok terkekang dengan rasio tulangan 6%

dibandingkan balok rasio 5% yang tidak dikekang di jalur gaya tekannya. Pada rasio tulangan dan tahap pembebanan ultimitnya ini perilaku balok masih tetap daktail/liat. Sedangkan dalam hal pengaruh bentuk pengekang terhadap kapasitas lentur balok, kapasitas beban rata-rata pada rasio tulangan 6% berpengekang spiral 8,93 ton sedangkan pada pengekang segiempat kapasitas beban rata-rata 8,47 ton. Meskipun terdapat peningkatan kapasitas beban sebesar 0,46 ton (5,43%) pada bentuk pengekang spiral, tetapi setelah diuji statistik peningkatan ini tidak signifikan [7].

Penelitian-penelitian mengenai beton bertulangan bambu yang tidak dikekang telah banyak dilakukan, antara lain yang dijadikan pustaka untuk penelitian ini yaitu pada [6] menyebutkan bahwa sebelum digunakan sebagai tulangan maka bambu terlebih dahulu harus dilapisi dengan lapisan waterproof, pada [22] meneliti tentang MOE dan MOR dari bambu yang dilubangi dan dililiti kawat dan tanpa lubang, dan pada [16] menggunakan bamboo pilinan sebagai tulangan beton. Sedangkan untuk penelitian mengenai beton yang dikekang juga telah lebih banyak lagi dilakukan. Penelitian Kent dan Park (1971) mengusulkan model tegangan-regangan beton yang dikekang oleh tulangan sengkang persegi [15]. Hasil penelitian tentang pengaruh pengekangan pada jalur tekan terhadap kekuatan geser dan lentur balok beton bertulangan dengan penampang bulat dan persegi menunjukkan bahwa beton yang tidak mengalami retak pada daerah tekan yang dikekang akan memberikan kontribusi yang besar dalam menahan geser bila dibandingkan dengan kemampuan menahan geser tanpa pengekangan. Kapasitas momen lentur dan daktilitas balok yang dikekang pada jalur tekan akan lebih tinggi dibandingkan dengan pengekangan tradisional, yaitu pengekangan dengan pemasangan sengkang yang sama pada sepanjang bentang balok [26] dan [27]. Pada penelitian balok beton mutu tinggi bertulangan rangkap dan pada balok dengan penulangan overreinforced yang dikekang di jalur gaya tekan Kotsovos dan dibebani dengan beban statis [1] dan [28], semua balok uji menampakkan perilaku yang liat/daktail dengan daktilitas kurvatur $\mu_{\phi} > 16$. Pada [21] yaitu penelitian tentang pengaruh jarak spasi sengkang di daerah sendi plastis terhadap daktilitas lentur kolom membuktikan bahwa pengekangan sengkang dengan jarak spasi 2 cm di daerah sendi plastis kolom dapat meningkatkan daktilitas perpindahan kolom sebesar 60,59 % dibandingkan dengan spasi 4 cm.

Rasio Simpangan (*Drift Ratio*) Kolom

Drift ratio adalah perbandingan antara defleksi lateral yang terjadi akibat beban lateral pada kolom terhadap ketinggian kolom total. *Drift ratio* umumnya dinyatakan dalam prosentase. Dapat dirumuskan sebagai Δ/L (%) dimana Δ adalah besarnya perpindahan dan L adalah tinggi kolom. Agar struktur kolom tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba maka besarnya *drift ratio* ini $\geq 1,5$ %.

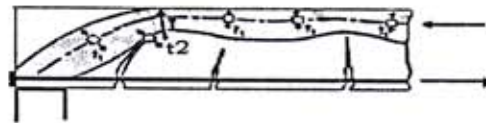
Sezen (2002) dalam [2] mengemukakan, (dari data-data yang dikumpulkan dari hasil pengujian beberapa peneliti) kolom dengan beban aksial yang tinggi akan menghasilkan *drift ratio* yang lebih kecil saat runtuh geser dibandingkan dengan kolom dengan beban aksial yang rendah. Selanjutnya juga disimpulkan bahwa kolom-kolom dengan rasio penulangan transversal yang lebih tinggi cenderung mencapai *drift* yang lebih besar saat runtuh geser dibanding dengan kolom dengan rasio penulangan transversal yang lebih rendah.

Struktur Sistem Ganda

Struktur sistem ganda (*dual system*) adalah gabungan sistem rangka portal (*frame*) dan sistem dinding (*wall*). Sistem ini dapat mengkombinasikan kelebihan-kelebihan dari elemen unsur pokoknya yaitu *frame* dan *wall*. Rangka portal yang daktail yang berinteraksi dengan dinding geser dapat menyediakan sejumlah energi dissipasi yang signifikan ketika dibutuhkan. Di sisi lain, akibat dari kekakuan yang besar dari dinding maka kontrol penyimpangan tingkat selama gempa dapat dicapai. Di samping itu pengembangan dari mekanisme-mekanisme tingkat yang meliputi pembentukan sendi-sendi plastis pada kolom dapat segera dicegah.

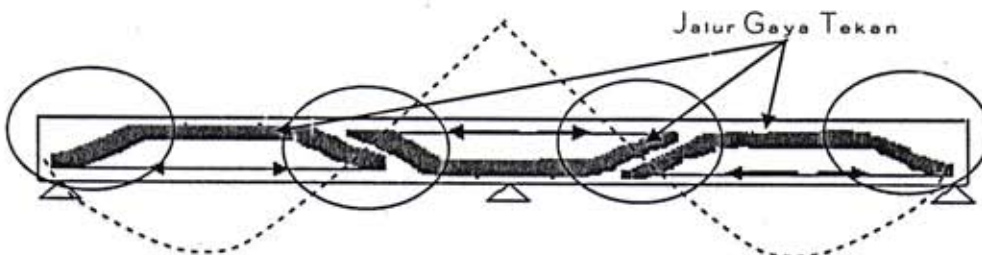
Jalur Gaya Tekan Balok dan Kolom

Penyebab keruntuhan balok berkaitan dengan peningkatan tegangan tarik dalam daerah jalur tekan yang disalurkan ke tumpuan. Berdasarkan hal tersebut, Kotsvos dalam [8], [9], [10] memperkenalkan konsep Jalur Gaya Tekan (*Compression Force Path Concept*). Pada balok beton bertulang pada keadaan batas ultimitnya, gaya tekan pada penampang melintang di tengah disalurkan ke tumpuan dengan mengikuti sebuah jalur yang berupa garis bilinear seperti gambar di bawah ini.



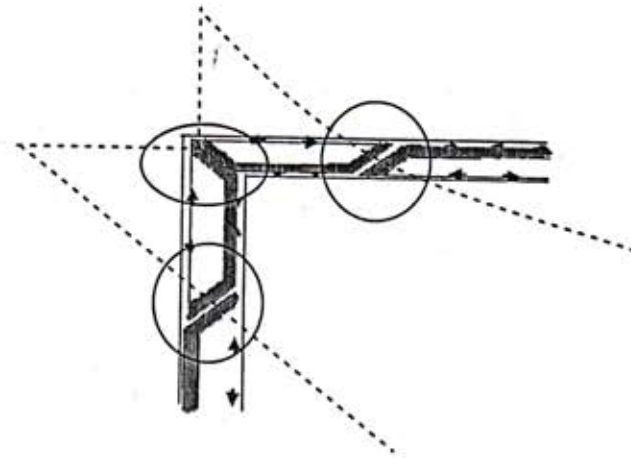
Gambar 1. Detail Jalur Gaya Tekan.

Pada balok yang menahan momen lentur positif dan negatif, misalnya pada balok menerus atau balok dengan kantilever atau pada balok sederhana yang menahan beban gravitasi dan beban dinamis, maka jalur gaya tekannya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Jalur Gaya Tekan pada Balok Menerus

Jalur gaya tekan pada balok menerus akan berbelok pada daerah dengan momen lentur sama dengan nol. Demikian juga halnya dengan jalur gaya tekan balok-kolom/portal seperti gambar 6 di bawah ini. Jalur gaya tekan pada struktur portal akan berbelok pada daerah di mana momen lenturnya sama dengan nol.



Gambar 3. Jalur Gaya Tekan pada Balok-Kolom/Portal

3. METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah menggunakan penyelesaian numerik dan kerja eksperimental. Penyelesaian numerik bukan metode utama yang dipakai tetapi metode ini hanya untuk memprediksi perilaku lentur sistem ganda pada beban gempa. Penyelesaian Numerik digunakan dengan bantuan program komputer untuk analisis struktur yaitu Program SAP2000. Sedangkan metode eksperimental merupakan metode utama dalam penelitian ini. Uji eksperimental ini akan menghasilkan karakteristik struktur sistem ganda pada beban gempa dalam hal kapasitas beban, besar deformasi/perpindahan, dan model keruntuhan. Rancangan penelitian didasarkan pada variabel-variabel pada elemen struktur sistem ganda yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 1. Rencana Kegiatan Penelitian

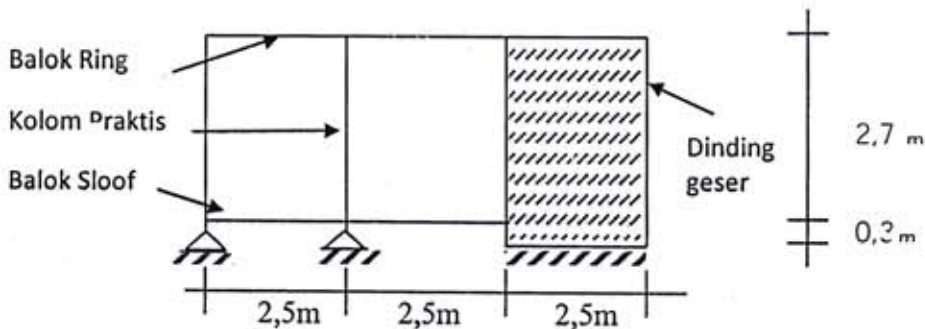
KEGIATAN	BALOK		KOLOM		JUMLAH BENTANG	LETAK DINDING
	A	B	C	D		
PEMODELAN	A1,A2,A3	B1	C1,C2,C3	D1	E1,E2	F1,F2

Variabel Penelitian

Variabel-variabel pada balok yaitu model pengekanan di lokasi sendi plastis potensial (A1), model pengekanan di jalur gaya tekan Kotsovovs (A2), dan model pengekanan di jalur gaya tekan Kotsovovs yang dimodifikasi (A3). Rasio tulangan balok digunakan 6,61% (B1). Variabel-variabel pada kolom yaitu model pengekanan di lokasi sendi plastis potensial (C1), model pengekanan di jalur gaya tekan Kotsovovs (C2), dan model pengekanan di jalur gaya tekan Kotsovovs yang dimodifikasi (C3). Rasio tulangan kolom 9,375% (D1). Variabel jumlah bentang yaitu portal sistim ganda tiga bentang (E1) dan dua bentang (E2). Variabel-variabel pada dinding geser yaitu konfigurasi/letak dinding geser yaitu 1 buah dinding dibentang tepi (F1) dan di bentang tengah (F2). Rasio tulangan dinding digunakan 4%. Tumpuan sendi, pondasi telapak.

Obyek Penelitian

Obyek penelitian adalah struktur sistem ganda dari rumah sederhana dengan potongan melintang sebagai berikut:



Gambar 4. Potongan Melintang Struktur sistem ganda

Skala benda uji untuk pemodelan diambil 1:2,5. Mutu beton menggunakan $f_c' = 28,68$ MPa. Tulangan memanjang (tulangan pokok) dari bambu jenis ori dengan rasio tulangan 6,61% untuk balok, 9,375% untuk kolom, 4 % untuk dinding. Tulangan pengekang dan angker /dowel menggunakan besi tulangan $f_y = 400$ MPa, dengan diameter 4,5mm.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Material Penelitian (Bambu, Baja, dan Beton)

Pemeriksaan mutu bambu & baja pengekang bertujuan untuk mendapatkan tegangan leleh, tegangan ultimit, dan regangan dari bambu & baja yang digunakan. Bambu yang digunakan dari jenis bambu ori/berduri (*Bambusa Blumeana*). Batang bambu yang digunakan mulai dari 1m diatas tanah karena bagian terbawah bambu (\varnothing -1m dari permukaan tanah) penuh duri sehingga menyulitkan penebangan bambu dan umumnya agak bengkok. Dari uji tarik bambu didapat nilai rata-rata $f_y = f_u = 149,67$ Mpa. Sedangkan untuk tulangan pengekang $f_y = 718,88$ MPa. Dari hasil uji kuat tekan silinder beton sebanyak 10 buah didapatkan kuat tekan rata-rata = 28,68 MPa. Untuk analisis sebagaimana yang dikerjakan dalam penelitian ini, digunakan hasil kuat tekan aktual yaitu f_c rata-rata = 28,68 MPa. Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton didapatkan nilai modulus elastisitas beton = 60507,0311 MPa.

Pengujian Model Portal Dengan Beban Siklis

Pada pengujian ini model portal beton tulangan bambu dibebani oleh beban siklis lateral. Interval beban yang digunakan disesuaikan dengan proving ring yang digunakan. Untuk kondisi dorong menggunakan proving ring kapasitas 10 ton dimana setiap 1 strip besarnya samadengan 54 kg. Interval pembacaan dalam setiap siklus = 3×135 kg atau 4,05kN. Untuk kondisi tarik menggunakan proving ring kapasitas 25 ton dimana setiap 1 strip besarnya sama dengan 132 kg. Interval pembacaan dalam setiap siklus = 3×132 kg atau 3,96 kN setiap satu siklus beban. Dari data hasil uji portal dengan beban siklis ini dibuat grafik hysteresis loop hubungan antara beban dengan deformasi pada portal uji. Tetapi karena tempat yang tersedia tidak mencukupi, maka grafik hysteresis loop tidak bisa ditampilkan pada naskah ini.

Dari grafik hysteresis loop portal uji didapat beban lateral maksimum, simpangan maksimum, dan drift rasio untuk kondisi dorong dan tarik seperti tabel berikut:

Tabel 2. Beban lateral maksimum, simpangan maksimum, dan drift rasio

No.	Kode Portal	Gaya Geser Horizontal Vmaks	Gaya Geser Horizontal Vmaks	Simpangan Kanan (mm)	Simpangan Kanan (mm)	Drift Ratio (%)	Drift Ratio (%)
		Dorong (kg)	Tarik (kg)	Dorong	Tarik	Dorong	Tarik
1	SP.DTepi1	4050	3960	13.279	6.657	1.475	0.740
2	SP.DTepi2	4050	1980	26.483	6.07	2.943	0.674
3	SP.DTengah1	2835	2772	21.054	12.244	2.339	1.360
4	SP.DTengah2	2025	1980	7.19	10.646	0.799	1.183
5	KM.DTepi1	1980	1512	29.862	36.658	3.318	4.073
6	KM.DTepi2	1566	1584	16.911	5.339	1.879	0.593
7	KM.DTengah1	2150	1980	15.966	7.233	1.774	0.804
8	KM.DTengah2	4860	2376	5.423	27.72	0.603	3.080
9	Kot.DTengah1	4860	2376	30.583	7.441	3.398	0.827
10	Kot.DTengah2	2025	1584	11.903	10.866	1.323	1.207
11	Kot.DTepi1	2025	1980	15.969	13.639	1.774	1.515
12	Kot.DTepi2	2025	1980	4.204	30.443	0.467	3.383
13	Kot.2Bentang1	3240	2640	16.789	27.348	1.865	3.039
14	Kot.2Bentang2	2835	2244	14.094	33.773	1.566	3.753

Tabel 3. Perhitungan besar gaya lateral maksimum pada zone 6 untuk model portal uji

ZONA	Jenis Tanah	C	I	μ	R	Wt (kg)	V (kg)	f	Vm (kg)
6	Keras	0.42	1	2	3.2	728.0454	95.55595	1	95.55595
	Sedang	0.54	1	2	3.2	728.0454	122.8577	1	122.8577
	Lunak	0.95	1	2	3.2	728.0454	216.1385	1	216.1385
	Keras	0.42	1	5.3	8.5	728.0454	35.97401	2.8	100.7272
	Sedang	0.54	1	5.3	8.5	728.0454	46.2523	2.8	129.5064
	Lunak	0.95	1	5.3	8.5	728.0454	81.36978	2.8	227.8354

Tabel 4. Daktilitas regangan balok

No.	Kode Portal	Regangan Leleh $\times 10^{-6}$	Regangan Maks. $\times 10^{-6}$	Daktilitas
1	SP.DTepi1	2510	1019	0.41
2	SP.DTepi2	2510	1474	0.59
3	SP.DTengah1	2510	2835	1.13
4	SP.DTengah2	2510	796	0.32
5	KM.DTepi1	2510	3138	1.25
6	KM.DTepi2	2510	368	0.15
7	KM.DTengah1	2510	8550	3.41
8	KM.DTengah2	2510	1505	0.60
9	Kot.DTengah1	2510	5750	2.29
10	Kot.DTengah2	2510	7275	2.90
11	Kot.DTepi1	2510	2405	0.96
12	Kot.DTepi2	2510	542	0.22
13	Kot.2Bentang1	2510	3785	1.51
14	Kot.2Bentang2	2510	17500	6.97

5. PEMBAHASAN

Dari grafik hubungan beban-regangan balok portal uji [24] terlihat bahwa regangan lentur yang terjadi pada balok secara umum masih sangat kecil walaupun pada tingkat pembebanan yang sudah besar. Atau dengan kata lain beban lateral yang diaplikasikan ke portal uji tidak menyebabkan peningkatan tegangan lentur yang besar pada balok. Hal ini mengindikasikan bahwa elemen balok pada portal uji masih sangat kuat terhadap lentur walaupun pada tingkat pembebanan gempa yang besar. Dari tabel 4 ditunjukkan bahwa elemen balok pada portal SP.Dtepi 1&2, SP.Dtengah 2, KM.Dtepi 2, KM.Dtengah 2, dan Kot.Dtengah 1&2, masih berada pada tingkat daktilitas struktur elastis penuh ($daktilitas \leq 1$). Sedangkan pada portal SP.Dtengah 1, KM.Dtepi1, KM.Dtengah 1, Kot. Dtengah 1&2, dan Kot.2Bentang1 elemen balok berada pada tingkat struktur daktail parsial ($daktilitas 1,5-5,0$). Dan pada portal Kot.2Bentang2 elemen balok berada pada struktur dengan tingkat daktilitas penuh ($daktilitas \geq 5,3$). Banyaknya jumlah portal uji yang elemen baloknya memiliki tingkat daktilitas yang rendah dapat dimengerti karena kombinasi dari beban gravitasi yang tidak terlalu besar sehingga yang dominan pada pembebanan adalah beban lateral yang merupakan idealisasi dari beban gempa. Dengan diaplikasikannya beban lateral dengan intensitas yang tinggi pada portal maka menyebabkan timbulnya tegangan geser yang besar khususnya didaerah tumpuan/sambungan balok kolom. Tegangan geser pada daerah tumpuan/sambungan balok kolom inilah yang lebih berperan sebagai penyebab keruntuhan portal uji. Ini dapat ditunjukkan dengan adanya retak-retak disekitar daerah tumpuan/join. Dari gambar retak portal uji yaitu gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.7 [24] retak banyak dijumpai di daerah muka kolom/dinding. Hal ini menunjukkan bahwa didaerah sambungan balok kolom terjadi tegangan geser yang sangat besar akibat beban luar. Tegangan geser yang besar pada intensitas beban lateral siklis/bolak balik yang semakin tinggi akan menyebabkan kekuatan geser inti beton terlampaui sehingga timbul retak-retak didaerah depan kolom/dinding. Retak-retak geser yang semakin banyak menyebabkan berkurangnya kekuatan dan kekakuan geser dari elemen struktur. Dan pada tingkat tertentu dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur yaitu keruntuhan geser. Adapun retak pada balok yang terjadi di depan dinding geser bisa juga disebabkan oleh penjepitan yang tidak sempurna pada pondasi sehingga mengakibatkan terangkatnya pondasi termasuk juga balok. Karena perbedaan kekakuan dan berat massa yang besar antara dinding dengan balok maka deformasi pada pondasi akan mengakibatkan retak yang semakin banyak pada balok di depan dinding. Dari grafik hysteresis loop portal uji [24] ditunjukkan bahwa beban terbesar dicapai oleh portal dengan siklus terbanyak. Dari seluruh portal uji beban maksimum terbesar dicapai oleh portal uji KM.Dtengah2 dan Kot.Dtengah1 yaitu sebesar 4,860 ton. Dari perhitungan besar gaya gempa pada model portal (terskala) untuk Zona 6 yaitu pada tabel 4.4 didapat besar gaya gempa maksimal untuk struktur daktail penuh adalah 227,83 kg untuk tanah lunak. Sedangkan berdasarkan tabel 3 ditunjukkan bahwa seluruh portal uji memiliki kapasitas gaya geser maksimum jauh diatas nilai 227,83 kg ini. Ini berarti bahwa seluruh portal uji dapat digunakan sebagai struktur portal tahan gempa pada zona 6. Karena itu bisa disimpulkan bahwa berdasarkan Tabel 3 dan tabel 4 diatas maka disimpulkan bahwa seluruh benda uji portal bisa digunakan di zona gempa 6, dan portal uji yang mempunyai kapasitas gaya gempa terbesar adalah portal KM.DTengah (Kotsovos Modifikasi Dengan Dinding Geser Di Tengah) yaitu sebesar 4860 kg. Untuk pola keruntuhan portal uji dapat dilihat dari pola retak portal uji (pada laporan penelitian). Berdasarkan gambar tersebut retak banyak terjadi pada muka kolom, pada

pondasi di depan dinding dan pada balok di depan dinding. Retak pada kolom disebabkan oleh deformasi lentur bolak-balik dari kolom ketika menahan beban lateral. Ini juga ditunjukkan dengan tingkat daktilitas yang tinggi dari portal uji. Sedangkan retak pada pondasi disebabkan oleh penjepitan yang kurang sempurna dari pondasi sehingga pondasi terangkat dan untuk selanjutnya menimbulkan momen guling yang menyebabkan patahnya pondasi pada tingkat pembebanan tertinggi pada portal. Pada dinding sendiri tidak terdapat retak samasekali. Hal ini karena kekakuan dari dinding yang sangat besar sehingga mampu menahan gaya lateral pada tingkat yang tinggi.

6. KESIMPULAN

Dari pembahasan dan analisis data dapat disimpulkan bahwa: (1) Berdasarkan kapasitas gaya gempa benda uji, maka model struktur sistim ganda yang dikembangkan ini dapat digunakan pada daerah dengan zone gempa 6; (2) Dari daktilitas regangan pada elemen balok, menunjukkan bahwa elemen balok berada pada tingkat kinerja elemen struktur elastis penuh dengan tingkat daktilitas rata-rata <1 ; (3) Pola retak yang terjadi pada balok selain akibat tingginya tegangan geser di daerah tumpuan juga karena penjepitan yang kurang sempurna pada pondasi yang menyebabkan pondasi terangkat, juga pada balok; (4) Pola retak pada kolom menunjukkan bahwa keruntuhan pada kolom diakibatkan oleh keruntuhan lentur dari struktur akibat beban lateral siklis dengan tingkat pembebanan yang tinggi; (5) Tulangan bambu yang digunakan sebagai tulangan pokok portal uji menunjukkan kinerja yang bagus baik secara visual (lekatan antara bambu dengan beton masih kuat) maupun dari hasil uji portal.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Agustiar, Purwono,R., Tavio, dan Suprobo,P., 2000, *Daktilitas Tulangan Lebih (Over-Reinforced) Pada Balok Beton Mutu Tinggi Bertulangan Rangkap Dengan Pengekangan Daerah Tekan*, Majalah IPTEK ITS, Vol.11, No.2.
2. Aswatama, K.,2005, *Retrofit Kolom Beton Bertulang Persegi Dengan Metode Penyelubungan Beton*, Tesis tidak dipublikasikan. PPS Universitas Brawijaya Malang.
3. Baglin, P., S., dan Scott, R., H., 2000, *Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Beam-Column Connections*, ACI Structural Journal, November-December, pp.886-894.
4. Chul Chun, S., Bohwan,Oh, Ho Lee, S., Kang, T.,H.,K., dan Wallace, J., W., 2007, *Mechanical Anchorage In Eksterior Beam Column Joints Subjected to Cyclic Loading*, ACI Structural Journal, January-February, pp.102-111.
5. Gulec, C. K., Whitaker, A. S., dan Stojadinovic, B., 2008, *Shear Strength of Squat Rectangular Reinforced Concrete Walls*, ACI Structural Journal, July-August, pp.488-497.
6. Kankam, J. A.,George, M. Ben, dan Perry, S. H. 1988, *Bamboo Reinforced Concrete Beams Subjected to Third-Point Loading*, ACI Structural Journal, January-February, pp.61-67.
7. Karyadi, Umniati, B.S., dan Nindyawati, 2007, *Pengaruh Bentuk Pengekang di Jalur Gaya Tekan Penampang Balok Beton Bertulangan Bambu Terhadap Kapasitas Beban dan Lendutan Balok Pada Rasio Tulangan yang Berbeda*, Laporan Penelitian Fundamental, Dana DP2M.

8. Kotsovos, M.D. 1988, *Compressive Force Path Concept: Basis For Reinforced Concrete Ultimit Limit State Design*, ACI Structural Journal, January-February, pp.68-75.
9. Kotsovos, M.D., dan Bobrowski, J., 1993, *Design Model for Structural Concrete Based on the Concept of the Compressive Force Path*, ACI Structural Journal, January-February, pp.12-20.
10. Kotsovos, M.D., dan Michelis, P. 1996, *Behavior Of Structural Concrete Elements Designed To The Concept Of The Compressive Force Path*, ACI Structural Journal, July-August, pp.428-436.
11. Mander, B.J., Priestley, M.J.N., dan Park, R. 1988, *Observed Stress-Strain Model For Confined Concrete*, ASCE Journal, August, pp.1827-1849.
12. Mander, B.J., Priestley, M.J.N., dan Park, R. 1988, *Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete*, ASCE Journal, August, pp.1804-1826.
13. Morisco, 1999, *Rekayasa Bambu*, Yogyakarta, -
14. Nindyawati, 2001, *Rasio Tulangan Lebih Pada Balok Beton Bertulangan Tunggal Yang Terkekang*, Tesis tidak dipublikasikan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
15. Park, R. dan T. Paulay, 1975, *Reinforced Concrete Structures*, New York: John Wiley & Sons Inc.
16. Pathurrahman, Pajrin, J., dan Kusuma, D.A., 2003, *Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton*, Majalah Dimensi Teknik Sipil, Vol.5, No. 1.
17. Paulay, T., dan Priestley, M.J.N., 1992, *Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonry Building*, New York: John Wiley & Sons Inc.
18. Siddiq, S., 1999, *Struktur Gempa dan Precast*, Kumpulan Diktat Kuliah Kajian Teoritik dan Eksperimental Teknologi Bangunan.
19. SNI 03-1726-2002, *Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*.
20. SNI 03-2847-2002, *Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
21. Syamsudi, 2005, *Pengaruh Jarak Spasi Sengkang Di Daerah Sendi Plastis Terhadap Daktilitas Lentur Kolom*, Tesis tidak dipublikasikan. PPS Universitas Brawijaya Malang.
22. Surjokusumo, S., dan Nugroho, N., 1993, *Studi Penggunaan Bambu Sebagai Bahan Tulangan Beton*, Laporan Penelitian. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Maret.
23. Umniati, B.S., 2005, *Pengaruh Pengekangan Sengkang Tertutup (Hoop) Dan Tambahan Sengkang Vertikal (Crossties) Pada Jalur Gaya Tekan Kotsovos Terhadap Daktilitas Lentur Balok Beton Bertulang*, Tesis tidak dipublikasikan. PPS Universitas Brawijaya Malang.
24. Umniati, B.S., dan Karyadi, 2009, *Pengembangan Model Struktur Beton Bertulangan Bambu Tahan Gempa Sistim Ganda (Kombinasi Portal dan Dinding Geser) Untuk Pembangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa pada Wilayah Gempa Tertinggi (Zona 6) di Indonesia*, Laporan Penelitian Hibah Strategis Nasional, Dana DP2M.
25. Wikipedia, 2008, *Gempa Bumi Yogyakarta Mei 2006*, April.
26. Ziara, M.M., Haldane, D., dan Kuttub, A.S. 1993, *Flexural Behavior Of Beams With Confinement*,. ACI Structural Journal, January-February, Vol.92, pp.103-114.

27. Ziara, M.M., Haldane, D., dan Kuttab, A.S. 1993, *Shear And Flexural Strengths Resulting From Confinement Of The Compression Regions In Circular Section Structural Concrete Beams*, Magazine Of Concrete Research, V.45 No.164 September, pp.211-219.
28. Zulfikar Dj., Purwono,R., dan Suprobo,P., 2000, *Balok Beton Mutu Tinggi Bertulangan Lebih Dapat Berperilaku Duktail*, Majalah IPTEK ITS, Vol.11, No.2.