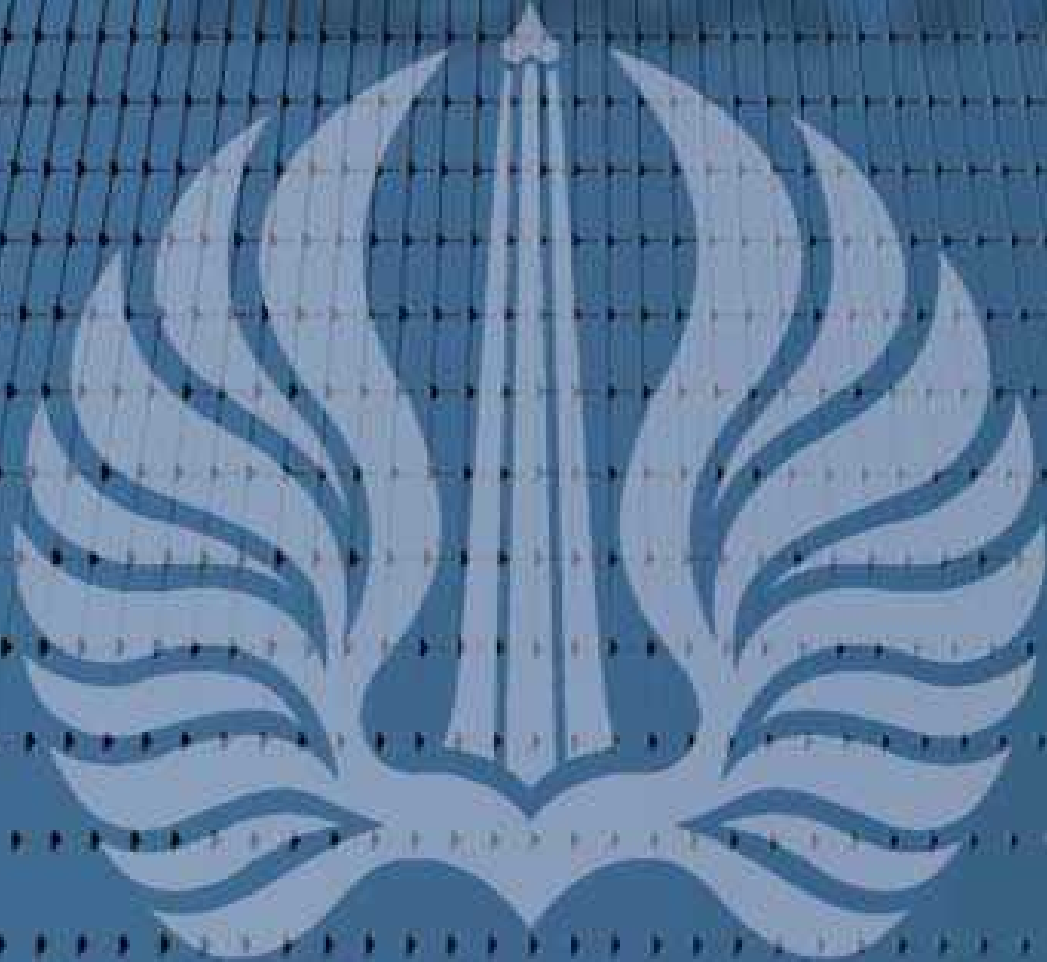


JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

# REKATS



## UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 03	NOMER: 03	HALAMAN: 242 - 251	SURABAYA: 2016	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	-----------------------	-------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

## TIM EJOURNAL

### Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

### Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

### Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

### Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

### Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: [tekniksipilunesa.org](http://tekniksipilunesa.org)

Email: [REKATS](mailto:REKATS)

## DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii

- Vol 3 Nomer 3/rekat/16 (2016)

PENGARUH PENAMBAHAN *SILICA FUME* PADA *POROUS CONCRETE BLOCK* TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS

*Eko Febrianto, Arie Wardhono, ..... 01 – 08*

PEMANFAATAN ABU TERBANG LIMBAH BATU BARA TERHADAP KUAT TEKAN DAN TINGKAT POROSITAS *PAVING STONE* BERPORI

*Firman Ganda Saputra, Arie Wardhono, ..... 09 – 12*

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN *ADMIXTURE* SIKACIM TERHADAP PENGUATAN KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS *PERMEACONCRETE PAVING STONE*

*Kukuh Ainnurdin, Arie Wardhono, ..... 13 – 22*

PENGARUH POLA ALIRAN PADA SALURAN PELIMPAH SAMPING AKIBAT DARI PENEMPATAN *SPLLOWAY* DENGAN TIPE MERCU OGEE WADUK WONOREJO

*Binti Hidayatul Ma'rifah, Kusnan, ..... 23 – 34*

ANALISIS HUBUNGAN TEMPERATUR DAN KUAT TEKAN BETON PADA PEKERJAAN BETON MASSA (*MASS CONCRETE*) DENGAN METODE *PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)* DAN *U.S. BUREAU OF RECLAMATION*

*Sandy Sahrawani, Mochamad Firmansyah S, ..... 35 – 44*

ANALISA KAPASITAS SALURAN SEBAGAI PENGENDALI BANJIR DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS PADA DRAINASE SUB DAS GULOMANTUNG KECAMATAN KEBOMAS, KABUPATEN GRESIK

*Ahmad Rifky Saputra, Nurhayati Aritonang, ..... 45 – 54*

ANALISA FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KINERJA WAKTU  
PELAKSANAAN PROYEK KONSTRUKSI DI WILAYAH SURABAYA

*Hendrita Abraham Angga Purnomo, Mas Suryanto H.S, ..... 55 – 63*

PENGARUH PEMILIHAN JARAK PANDANG DALAM MENENTUKAN PANJANG  
LENGKUNG VERTIKAL CEMBUNG TERHADAP BIAYA PELAKSANAAN JALAN BARU

*Arthur Diaz Mickael Devisi, Ari Widayanti, Anita Susanti, ..... 64 – 70*

PENGEMBANGAN DISTIBUSI AIR BERSIH SUMBER DLUNDUNG DESA TRAWAS  
KECAMATAN TRAWAS KABUPATEN MOJOKERTO

*Mochammad Zainal Abidin, Djoni Irianto, ..... 71 – 79*

STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN GANDA TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK  
BETON BERTULANG

*Mohamad Mesranto, Bambang Sabariman, ..... 80 – 87*

ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE *CAMEL  
BACK TRUSS*

*Ria Dewi Sugiyono, Sutikno, ..... 88 – 93*

PENGARUH PENGOPTIMASISASI PEMASANGAN LETAK BAUT DENGAN JARAK TEPI  
PADA SAMBUNGAN PELAT TARIK

*Donna Monika Fembrianto, Arie Wardhono, ..... 94 – 101*

STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN GANDA DENGAN LETAK DI ATAS GARIS NETRAL  
TERHADAP KAPASITAS GESER BALOK BETON BERTULANG

*Siswo, Bambang Sabariman, ..... 102 – 111*

ANALISIS KEHILANGAN TINGGI TEKAN PADA JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR  
BERSIH PDAM KECAMATAN DRIYOREJO, KABUPATEN GRESIK

*Amilina Kartika Permatasari, Nurhayati Aritonang, ..... 112 – 120*

ANALISIS DESAIN JEMBATAN KOMPOSIT GELAGAR BAJA MENGGUNAKAN STRUKTUR NON-PRISMATIK

*Anneke Jayanti Anggraini, Karyoto,.....121 – 129*

PENGARUH PANJANG LEWATAN (*ld*) DENGAN SAMBUNGAN MEKANIS PERSEGI ENAM TERHADAP KUAT TARIK BAJA TULANGAN

*Sandi Andika Surya Putra, Andang Wijaya, ..... 130 – 137*

STUDI PENGGUNAAN *CATALYST*, *MONOMER*, DAN KAPUR SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN BETON RINGAN SELULER

*Muhammad Fadhlurrahman Hazim, Krisna Dwi Handayani, Yogie Risdianto, .....138 – 149*

STUDI DETAIL PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN *OPENFRAME* TANPA *RIGID FLOOR* DIAFRAGMA DAN *OPENFRAME* DENGAN *RIGID FLOOR* DIAFRAGMA BERDASARKAN SNI 1726:2002 DAN SNI 2847:2013

*Devi Arsyana, Sutikno, Yogie Risdianto,.....150 – 161*

STUDI DETAIL PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN *OPENFRAME* TANPA *RIGID FLOOR* DIAFRAGMA DAN *OPENFRAME* DENGAN *RIGID FLOOR* DIAFRAGMA BERDASARKAN SNI 1726:2012 DAN SNI 2847:2013

*Lina Andriyani, Sutikno, Yogie Risdianto, .....162 – 171*

STUDI PENGGUNAAN *CATALYST*, *MONOMER*, DAN *FLY ASH* SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN BETON RINGAN SELULAR

*Gatot Setyo Utomo, Krisna Dwi Handayani, Yogie Risdianto, .....172 – 179*

PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT NON-PRISMATIS JEMBATAN *UNDERPASS* KERETA API PADA PROYEK PEMBANGUNAN TOL SURABAYA-MOJOKERTO JAWA TIMUR

*Febri Junaidi, Karyoto, .....180 – 192*

ANALISA DAN STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN TUNGGAL DI ATAS GARIS TENGAH PENAMPANG TERHADAP KEKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG

*Sigit Triwibowo, Bambang Sabariman, .....193 – 200*

ANALISIS KINERJA BIAYA DAN WAKTU PELAKSANAAN PEMBANGUNAN *MY TOWER HOTEL & APARTMENT PROJECT* MENGGUNAKAN METODE NILAI HASIL (*EARNED VALUE*)

*Merry Mareta, Krisna Dwi Handayani, .....201 – 210*

PENGARUH PENAMBAHAN *CATCHMENT AREA* TERHADAP DEBIT ALIRAN PADA SISTEM DRAINASE PERKOTAAN PERUMAHAN PURI SURYA JAYA *CLUSTER VALENCIA SPRING* DI KECAMATAN GEDANGAN KABUPATEN SIDOARJO

*Tati Rachmawati, Kusnan, .....211 – 220*

PERENCANAAN ULANG GEDUNG *FAVE HOTEL KALI RUNGKUT SURABAYA* DENGAN STRUKTUR BAJA BETON KOMPOSIT

*Abdul Halim, Andang Widjaja, .....221 – 227*

PENGARUH PENAMBAHAN KERAK TANUR TINGGI *SLAG* TERHADAP POROSITAS DAN PERMEABILITAS BETON *GEOPOLYMER* BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN NAOH 10 MOLAR

*M. Nur Fahmi Fauzi, Arie Wardhono, .....228 – 235*

PERENCANAAN DINDING GESER BERDASARKAN TATA CARA SNI 03-2847-2002 PADA GEDUNG FMIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

*Mandra Tri Asoma, Arie Wardhono, .....236 – 241*

STUDI PENGARUH VARIASI BENTANG KOLOM TERHADAP *STRONG COLUMN WEAK BEAM* PADA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM) PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU F-MIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

*Santo Evendi Simanjuntak, Arie Wardhono, .....242 – 251*

UNESA  
Universitas Negeri Surabaya

## STUDI PENGARUH VARIASI BENTANG KOLOM TERHADAP *STRONG COLUMN WEAK BEAM* PADA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM) PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU F-MIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

Santo Evendi Simanjuntak

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[qianno@gmail.com](mailto:qianno@gmail.com)

### Abstrak

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, struktur direncanakan agar memiliki pola keruntuhan yang aman, diharapkan balok mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum kolom. Oleh sebab itu kolom direncanakan lebih kuat daripada balok yang dikenal dengan konsep *strong column weak beam*. Pembangunan gedung laboratorium terpadu F-MIPA Universitas Negeri Surabaya terdiri dari 4 lantai direncanakan ulang menjadi 8 lantai. Dalam studi ini dibuat sebuah model struktur 2D dengan desain variasi bentang kolom 5m, 6m, 5m; 6m, 4m, 6m; 4m, 8m, 4m dengan ketinggian 32 m. Hasil studi menunjukkan bahwa ketiga bangunan memenuhi persyaratan batas layan dimana portal 5m, 6m, 5m memiliki simpangan terkecil dari ketentuan yang disyaratkan senilai 77%. Dimensi penulangan balok induk pada portal 6m, 4m, 6m, dan 4m, 8m, 4m lebih besar daripada portal 5m, 6m, 5m, jumlah tulangan longitudinal lebih banyak, serta jarak sengkang pada balok tepi lebih rapat. Faktor variasi bentang kolom mempengaruhi nilai momen dalam perencanaan beton bertulang. Perhitungan nilai momen didapat dari hasil kali jarak dengan gaya maka jika jarak bentang kolom semakin pendek akan didapatkan nilai momen yang semakin kecil juga. Portal 4m, 8m, 4m berbahaya bagi keamanan gedung karena tidak memenuhi konsep *strong column weak beam*. Portal 5m, 6m, 5m memiliki perbandingan rasio SCWB terbesar senilai 13,6 % memenuhi konsep SCWB dan batas layan sehingga paling efisien dan aman bagi keamanan gedung dan pengguna gedung.

**Kata Kunci:** SRPMM, Strong Column Weak Beam, SNI 2847:2013, Sni1726:2012.

### Abstract

In the planning of earthquake-resistant structures, structures are designed to have a secure pattern collapse, expected in beam collapse before the column. Therefore the planned field is stronger than the beam, known as the concept of strong column weak beam. Construction of the F-MIPA State University of Surabaya integrated laboratory building consists of 4 floors rearranged into 8 floors. In this study created a model of a 2D structure with design variations of span column 5m, 6m, 5m; 6m, 4m, 6m; 4m, 8m, 4m with a height of 32 m. The study shows that a third of the building meets the requirements of serviceability limit where the portal 5m, 6m, 5m has the smallest deviation from the requirements amounting to 77%. Dimensional reinforcement beam on the portal 6m, 4m, 6m and 4m, 8m, 4m more than a portal 5m, 6m, 5m, the amount of longitudinal reinforcement more, as well as the distance of stirrups at the edge of the beam more tightly. The variations moments of span column factors affecting the torque value for reinforced concrete design. Torque value calculation results obtained from the distance and force, therefore if the distance span column is getting shorter it will get the smaller torque value. Portal 4m, 8m, 4m risk for the security of the building because it did not fit the concept of strong column weak beam. Portal 5m, 6m, 5m has a ratio of 13.6% amounting biggest SCWB conform SCWB concept and serviceability limit so that the most efficient and safe for safety buildings and building users.

**Keywords:** SRPMM, Strong Column Weak Beam, SNI 2847:2013, Sni1726:2012.

### PENDAHULUAN

Kapasitas desain dalam rangka penahan momen menengah konsep kolom kuat balok lemah digunakan untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi. Konsep mekanis keruntuhan ini disebut mekanisme pergoyangan balok. Kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat, sedangkan balok hanya elemen struktur yang menopang dan mendistribusikan beban-beban dilantai

tersebut menuju ke kolom-kolom Sehingga jika kolom runtuh, maka semua sistem struktur yang ada di atasnya ikut runtuh juga. Tapi jika balok yang mengalami keruntuhan lebih dulu maka kerusakan hanya terjadi pada bagian balok itu kemudian menjalar ke elemen balok yang lainnya sampai struktur benar-benar runtuh total saat beban yang bekerja tidak lagi mampu ditahan keseluruhan struktur.

Beban yang ditumpu kolom dari balok berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi), hal ini juga dipengaruhi oleh panjang balok. Adapun tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini yaitu: (1) Untuk mengetahui pengaruh variasi bentang kolom terhadap persyaratan kolom kuat balok lemah pada perencanaan ulang gedung F-MIPA Unesa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah. (2) Untuk mengetahui pengaruh variasi bentang kolom pada ketahanan bangunan terhadap gempa pada SRPMM. (3) Untuk mengetahui pengaruh variasi bentang kolom terhadap kebutuhan penulangan serta mendapatkan dimensi struktur yang paling efektif yang memenuhi syarat SNI dengan memperhatikan konsep Strong Column Weak Beam.

Perencanaan merupakan suatu kegiatan yang sangat penting sebelum dilaksanakannya suatu proyek. Kesalahan pemasangan ataupun urutan proses yang tidak benar dapat menyebabkan terjadinya kerugian. Perencanaan yang matang sebelum dimulainya suatu pekerjaan tidak hanya menghemat biaya tetapi juga dapat menghemat waktu dan tenaga. Terdapat tiga hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan struktur antara lain beban, kekuatan bahan dan keamanan. Pada tahap perencanaan alternatif struktur gedung F-MIPA ini, perlu dilakukan studi pustaka untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional gedung dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping itu juga diharapkan mampu menghasilkan suatu tahap pengerjaan struktur yang efektif dan efisien.

**Beton Bertulang**

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (workability), durabilitas dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, 2004:1).

Kekuatan beton tergantung dari beberapa faktor antara lain campuran, kondisi temperatur dan kelembaban tempat dimana beton akan mengeras, untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu dilakukan perawatan/curing, dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu.

**Kolom**

Menurut Edward G. Nawi (1998:306), mengatakan bahwa kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok.

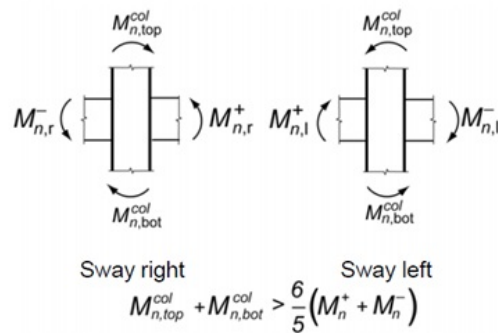
Kolom meneruskan. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan collapse (runtuhnya) lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh bats total (ultimate total sollapse) seluruh strukturnya.

**Desain Strong Column Weak Beam**

Pola keruntuhan yang diharapkan terjadi saat bangunan dikenai beban gempa adalah *side sway mechanism*. Pola keruntuhan ini mensyaratkan sendi-sendi plastis hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok, ujung bawah kolom lantai terbawah, dan ujung kolom lantai teratas. Untuk mencapai pola keruntuhan tersebut, kolom harus didesain lebih kuat daripada balok-balok yang merangkainya atau yang biasa dikenal dengan istilah strong colum weak beam.

Konsep Strong Column Weak Beam mensyaratkan  $\sum Mc > 6/5 \sum Mg$ . Dalam hal ini  $Mc$  merupakan gaya aksial terfaktor kolom diharuskan lebih besar dari enam per lima gaya lateral terfaktor dari balok.

Menurut SNI 1726-2012 dalam pasal 2.2, Panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa, yang memanjang tidak kurang dari jarak  $h$  dari penampang kritis dimana pelelehan lentur berawal.



**Gambar 1** Strong Column Weak Beam

**Pembebanan**

Beban-beban pada struktur gedung terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, beban air, beban khusus lainnya seperti beban getaran mesin, beban kejut listrik, dan lain- lain. Beban yang direncanakan akan bekerja dalam struktur gedung tergantung dari fungsi ruangan, lokasi, bentuk, kekakuan, massa, dan ketinggian gedung itu sendiri.

a) **Beban Mati (DL)**

Beban mati adalah beban yang berasal dari material yang digunakan pada struktur dan beban mati



tambahan yang bekerja pada struktur. Beban tersebut harus disesuaikan dengan volume elemen struktur yang akan digunakan. Karena analisis akan dilakukan dengan program SAP 2000, maka berat sendiri akan dihitung secara langsung.

b) Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah berat dari penghuni dan atau barang-barang yang dapat berpindah, yang bukan merupakan bagian dari bangunan. Sedangkan pada atap, beban hidup termasuk air hujan yang menggenang (Benny, 1996).

Di dalam peraturan pembebanan telah ditetapkan bahwa fungsi suatu ruangan di dalam gedung akan membuat beban berbeda. Beban hidup yang direncanakan adalah sebagai berikut:

- 1) Beban Hidup Pada Lantai Gedung Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 250 kg/m<sup>2</sup>.
- 2) Beban Hidup Pada Atap Gedung
- 3) Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 100 kg/m<sup>2</sup>.

c) Beban Gempa (E)

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut faultzone. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan.

**Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**

a) Detail Penulangan

Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi ( $A_g f_c / 10$ ). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen melebihi ( $A_g f_c / 10$ ), maka 2.11.4 harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan

b) Kuat Geser

Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:

- 1) Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor.

- 2) Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E, dimana E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa

c) Balok

- 1) Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.

- 2) Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- $d/4$ ;
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil;
- 24 kali diameter sengkang;
- 300 mm

- 3) Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi  $d/2$ .

d) Kolom

- 1) Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $I_0$  dari muka hubungan balok-kolom adalah  $s_0$ . Spasi  $s_0$  tersebut tidak boleh melebihi:
  - Delapan kali diameter sengkang ikat,
  - 24 kali diameter sengkang ikat,
  - Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
  - 300 mm.

Panjang  $L_0$  tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- Seperenam tinggi bersih kolom,
- Dimensi terbesar penampang kolom,
- 500 mm.

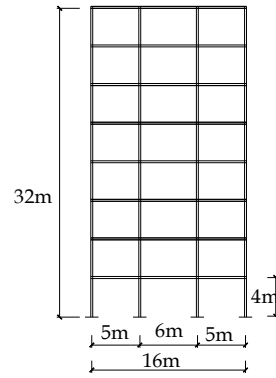
- 2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5s_0$  dari muka hubungan balok-kolom.

- 3) Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi: Pada sambungan-sambungan elemen portal ke kolom harus disediakan tulangan lateral dengan luas tidak kurang daripada yang diisyaratkan dalam persamaan dan dipasang di dalam kolom sejauh tidak kurang dari tinggi bagian sambungan tinggi dari elemen portal. yang

**METODE PENELITIAN**

Desain rencana struktur untuk pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu F-MIPA Universitas Negeri Surabaya dapat dijabarkan di bawah ini:

- Jenis bangunan = Laboratorium
- Lebar bangunan = 33 meter
- Panjang bangunan = 37,5 meter
- Tinggi tiap lantai = 4 meter
- Jumlah Lantai = 8 lantai
- Tinggi bangunan = 32 meter
- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
- Mutu baja ulir ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Mutu baja polos ( $f_y$ ) = 240MPa



**Gambar 3** Variasi Bentang Kolom 2

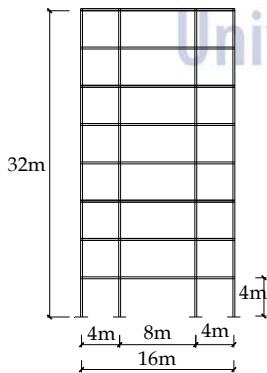
**Analisis Data**

Analisis data untuk beban gempa statik ekuivalen yaitu dengan meninjau beban-beban statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 2 dimensi, sehingga respon dinamikanya praktis hanya ditentukan oleh respon ragamnya yang pertama dan ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen. Faktor pembebanan yang digunakan yaitu:

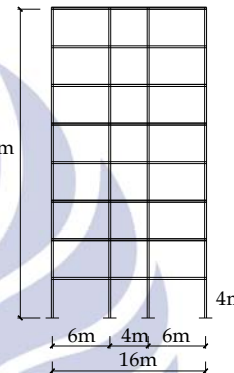
- 1,4 DL;
- 1,2 DL + 1,6 LL;
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,4 E
- 1,2 DL + 1,0 LL - 1,4 E
- 0,9 DL + 1,4 E
- 0,9 DL - 1,4 E

Variasi Bentang kolom yang akan direncanakan antara lain

- 1) 4m, 8m, 4m. (Gambar a)
- 2) 5m, 6m, 5m. (Gambar b)
- 3) 6m, 4m, 6m. (Gambar c)

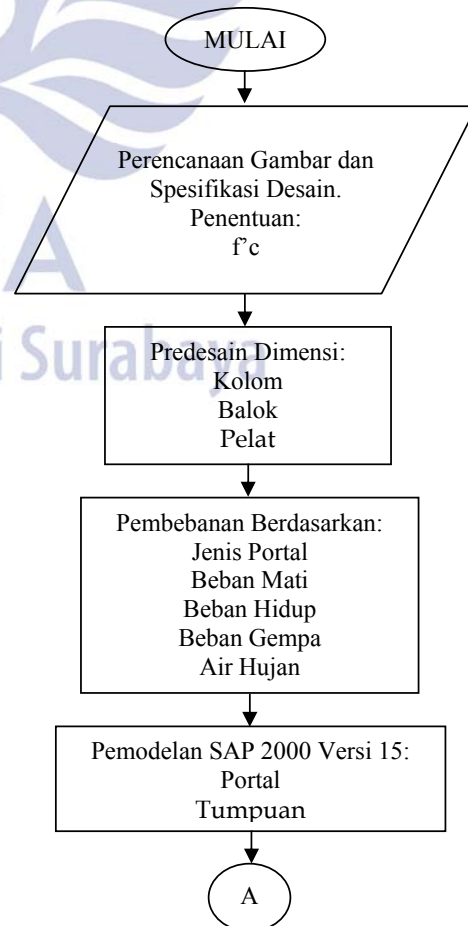


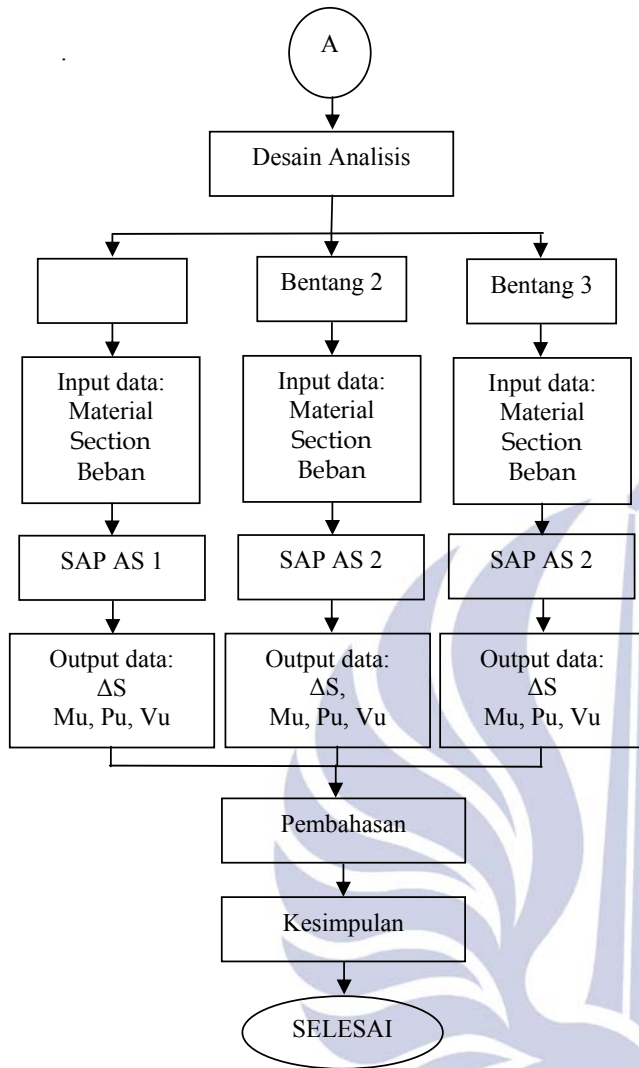
**Gambar 2** Variasi Bentang Kolom 1



**Gambar 4** Variasi Bentang Kolom 3

**Diagram Alir Penelitian**





**Tabel 1.** Rekapitulasi Massa Bangunan Per Lantai

Tingkat	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)	Beban Total (kg)
9	393.921	50.688	444.609
8	518.743	211.200	722.943
7	518.743	211.200	722.943
6	518.743	211.200	722.943
5	518.743	211.200	722.943
4	518.743	211.200	722.943
3	518.743	211.200	722.943
2	518.743	211.200	722.943
Total			5.554.210

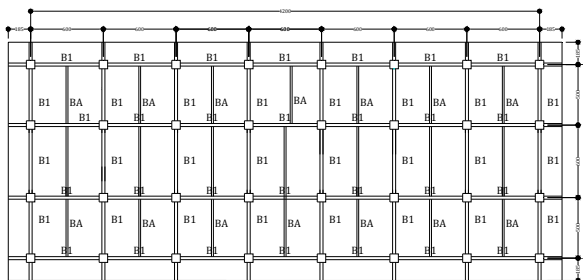
**Perhitungan Gaya Gempa**

Perhitungan spektrum gempa dapat menggunakan bantuan software Desain Spektra Indonesia di [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id) dengan memasukkan koordinat lokasi bangunan. Berikut data perencanaan sesuai dengan ketentuan dalam peraturan gempa SNI 1726:2012.  
 Kategori risiko = 4  
 Faktor keutamaan = 1,5  
 Kategori desain seismik C dapat menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)  
 $R_a = 5$   
 $\Omega_0g = 3$   
 $C_{db} = 4,5$

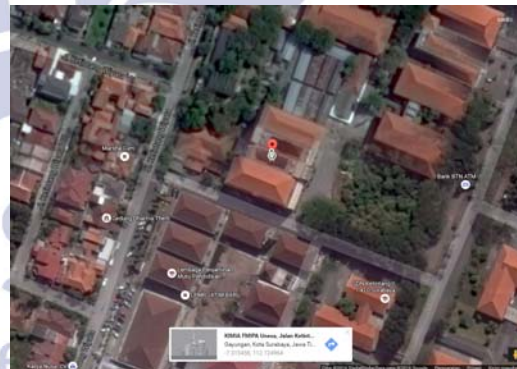
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Perencanaan struktur maupun redesign gedung secara keseluruhan harus dimulai dari data gambar baik dengan tata ruang dan instalasinya. Acuan perencanaan bangunan gedung struktur beton bertulang yang dipakai sesuai dengan SNI 2847:2013 dan tata cara perhitungan struktur tahan gempa mengikuti acuan peraturan gempa SNI 1726:2012.

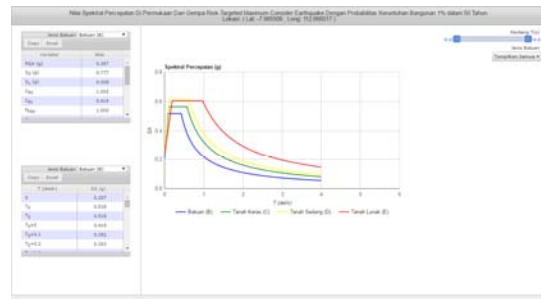
Dimensi balok: B1: 35/50; B2: 25/35  
 Dimensi kolom: K1: 70/70



**Gambar 6.** Denah Balok dan Kolom



**Gambar 7.** Koordinat Lokasi Perencanaan



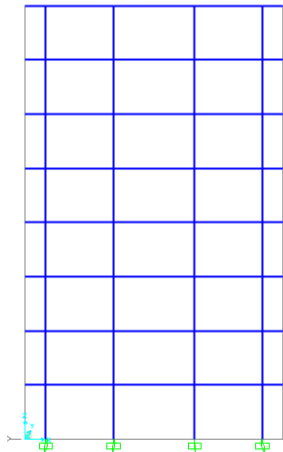
**Gambar 8.** Tabel dan Grafik Hasil Spektrum Percepatan

**Tabel 2.** Distribusi Gempa Pada Portal Melintang

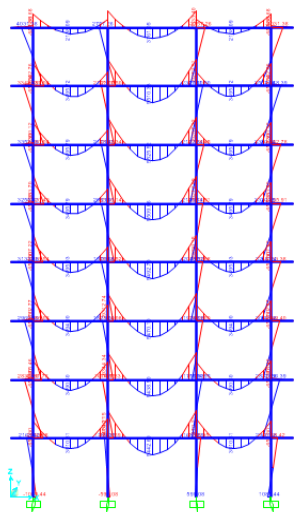
	Wi	hi	Wi · hi	Cvx	Fi	30%Fi
Atap	444.609	32	14.096.604,5	0,1783	13.737	4,121
Lantai 8	722.943	28	14.829.103,5	0,2054	15.829	4,749
Lantai 7	722.943	24	12.710.660,2	0,1761	13.568	4,070
Lantai 6	722.943	20	10.592.216,8	0,1467	11.306	3,392
Lantai 5	722.943	16	8.473.773,4	0,1174	9.045	2,714
Lantai 4	722.943	12	6.355.330,1	0,0880	6.784	2,035
Lantai 3	722.943	8	4.236.886,7	0,0587	4.523	1,357
Lantai 2	722.943	4	2.118.443,4	0,0293	2.261	678
			<b>73.413.018,6</b>	<b>1</b>		

**Perhitungan SAP**

Pada penelitian ini digunakan aplikasi SAP 2000 versi 15



**Gambar 9.** Struktur Gedung Pada SAP



**Gambar 10.** Diagram Momen

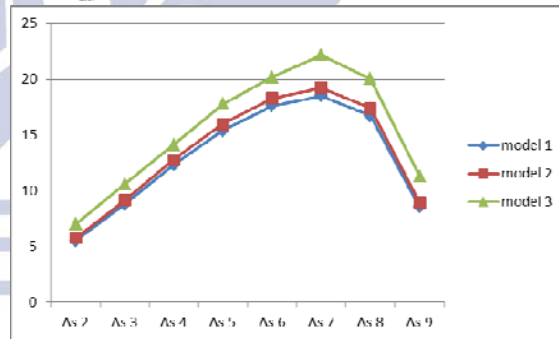
**Kontrol Drift**

Kinerja batas layan ( $\Delta_s$ ) struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non struktural dan ketidaknyamanan penghuni. simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pengaruh gempa nominal yang sudah dikali faktor skala.

Menurut SNI 1726 pasal 8.1.2 simpangan antar lantai tidak boleh melampaui :

$$\Delta_s < \frac{0,08}{R} \cdot h_i \text{ atau } 30 \text{ mm (yang terkecil)}$$

$$\Delta_s < \frac{0,08}{R} \cdot 4000 = 24 \text{ mm atau } 30 \text{ mm}$$



**Gambar 9.** Simpangan Antar Lantai

Dari gambar 9 terlihat bahwa simpangan antar lantai (*inter-story drift*) tidak ada yang melampaui batasan dengan ketentuan maksimum 24 mm sehingga syarat untuk membatasi pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan pada struktur bangunan dapat terpenuhi.

**Perhitungan Pelat, Balok, Kolom**

Dari hasil perhitungan analisis SAP diperoleh momen, gaya aksial dan gaya geser untuk menghitung desain balok dan kolom. Mulai dari dimensi dan jumlah tulangan yang dibutuhkan. Hasil perhitungan sebagai berikut:

**Tabel 3.** Perhitungan Tulangan Pelat

		Mu (N-mm)	Mn (N-mm)	Cek rasio	$\rho$ pakai	As (mm <sup>2</sup> )	Tulangan Terpasang	As (mm <sup>2</sup> )
Arah X	Tump	10598656	13248320	pakai rho	0.00504	479.06	d10-150	524
	Lap	5020416	6275520	pakai rho	0.00235	223.28	d10-175	449
Arah Y	Tump	7948992	9936240	pakai rho	0.00471	400.77	d10-150	524
	Lap	2370752	2963440	pakai rho min	0.00235	199.78	d10-175	449

**Tabel 4.** Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Balok

Model	Dimensi	Hasil SAP	Hasil Penulangan		
			Tarik	Tekan	Geser
5-6-5	Balok B1 35/50	M <sub>tump</sub> = 389024 K N-mm M <sub>lap</sub> = 24620 KN-mm V <sub>u</sub> = 246 KN-mm	12D19	6D19	Ø 10-100
	Balok B2 20/30	M <sub>tump</sub> = 5572 KN-mm M <sub>lap</sub> = 2786 KN-mm V <sub>u</sub> = 251 KN	2D16	2D16	Ø 10-100
6-4-6	Balok B1 35/30	M <sub>tump</sub> = 413260 KN-mm M <sub>lap</sub> = 15496 N-mm V <sub>u</sub> = 405920N	12D22	6D22	Ø 10-100
	Balok B2 20/30	M <sub>tump</sub> = 5572 N-mm M <sub>lap</sub> = 2786 N-mm V <sub>u</sub> = 251178 N	2D16	2D16	Ø 10-100
4-8-4	Balok B1 35/50	M <sub>tump</sub> = 414388 KN-mm M <sub>lap</sub> = 12091 KN-mm V <sub>u</sub> = 310928 N	12D22	6D22	Ø 10-100
	Balok B2 20/30	M <sub>tump</sub> = 5572 KN-mm M <sub>lap</sub> = 2786 KN-mm V <sub>u</sub> = 251178 N	2D16	2D16	Ø 10-100

Tampak pada tabel 4 penulangan balok 35/50 model 1 dengan variasi bentang kolom 5-6-5 didapatkan momen pada tumpuan senilai 389024 K N-mm, dan pada lapangan senilai 24620 KN-mm; model 2 dengan variasi bentang kolom 6-4-6 didapatkan momen pada tumpuan senilai 413260 KN-mm, dan pada lapangan senilai 15496 N-mm; model 3 dengan variasi bentang kolom 4-8-4 didapatkan momen pada tumpuan senilai 414388 KN-mm, dan pada lapangan senilai 12091. Didapatkan Model 1 merupakan variasi dengan nilai momen terkecil pada tumpuan sedangkan model 3 merupakan variasi dengan nilai momen terbesar.

Faktor variasi bentang kolom mempengaruhi nilai momen dalam perencanaan beton bertulang. Karena nilai momen didapat dari hasil kali jarak dengan gaya maka jika jarak bentang kolom semakin pendek akan didapatkan nilai momen yang semakin kecil juga. Nilai rasio penulangan juga ditentukan besarnya nilai momen perlu balok untuk selanjutnya digunakan dalam menentukan luas tulangan yang diperlukan. Model 2 dan 3 membutuhkan penulangan utama dengan spesifikasi D22 dimana lebih besar dari kebutuhan penulangan D19 yang dibutuhkan pada model 1.

Penambahan jarak kolom didapatkan penambahan nilai luas tulangan yang dibutuhkan, maka variasi bentang kolom juga mempengaruhi kebutuhan penulangan.

**Tabel 5** Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Kolom

Model	Dimensi	Hasil SAP	Hasil Penulangan	
			Lentur	Geser
5-6-5	Kolom K1 55/55	Mu= 580574K N-mm Pu= 81132 N-mm Vu= 129858N	18D22	Ø 10-150
6-4-6	Kolom K1 55/55	Mu= 634077 KN-mm Pu= 524910 N-mm Vu= 173606N	18D22	Ø 10-150
4-8-4	Kolom K1 55/55	Mu= 760738176 N-mm Pu= 3555970 N-mm Vu= 363074N	18D22	Ø 10-150

Tampak pada tabel 5 penulangan kolom 70/70 model 1 dengan variasi bentang kolom 5-6-5 didapatkan momen senilai 580574K N-mm, dan aksial senilai 81132 N-mm; model 2 dengan variasi bentang kolom 6-4-6 didapatkan momen senilai 634077 KN-mm, dan aksial senilai 524910 N-mm; model 3 dengan variasi bentang kolom 4-8-4 didapatkan momen senilai 760738176 N-mm, dan aksial senilai 3555970. Didapatkan Model 1 merupakan variasi dengan nilai momen terkecil, sedangkan model 3 merupakan variasi dengan nilai momen terbesar. Faktor variasi bentang kolom mempengaruhi nilai momen dalam perencanaan beton bertulang. Karena nilai momen didapat dari hasil kali jarak dengan gaya maka jika jarak bentang kolom semakin pendek akan didapatkan nilai momen yang semakin kecil juga.

**Strong Column Weak Beam**

Mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok-balok lebih dikehendaki daripada mekanisme dengan pembentukan sendi plastis yang terpusat hanya pada ujung-ujung kolom suatu lantai. maka perlu dipastikan kapasitas momen kolom lebih besar daripada balok - balok yang merangka kedalam kolom, sehingga muncul persamaan  $M_c > 6/5 M_g$ , dimana  $M_c$  merupakan momen kolom dimana, dan  $M_g$  merupakan momen girder atau balok induk.

**Tabel 6.** Kontrol SCWB Model 6-4-6

Join	$\sum M_c > 6/5 \sum M_g$		Kontrol	
	$\sum$ Momen Kolom (Kg-m)	$6/5$ $\sum$ Momen Balok (Kg-m)		
1	35627	>	22743,4	ok
2	54281	>	51430	ok
3	25599	>	25301,6	ok
4	69093	>	62676	ok
5	25679	>	25434	ok
6	68696	>	62770	ok
7	22994	>	22686	ok
8	62821	>	56151	ok
9	18642	>	18305	ok
10	59385	>	54902,4	ok
11	19217	>	15501	ok
12	51677	>	39612	ok
13	19919	>	8591	ok
14	33078	>	23684,4	ok
15	4284	>	3948	ok
16	14738	>	11256	ok

**Tabel 7.** Kontrol SCWB Model 4-8-4

Join	$\sum M_c > 6/5 \sum M_g$		Kontrol	
	$\sum$ Momen Kolom (Kg-m)	$6/5$ $\sum$ Momen Balok (Kg-m)		
1	46195	>	25879	ok
2	49782	>	37503	ok
3	37847	<	38236	not ok
4	61064	<	61333	not ok
5	38612	<	38767	not ok
6	62668	>	61333	not ok
7	34998	<	35334	not ok
8	57951	>	57590	ok
9	29292	<	29664	not ok
10	49767	$\leq$	49767	ok
11	22791	<	22700	ok
12	39446	<	39494	not ok
13	22808	>	15376	ok
14	28844	<	28877	not ok
15	9395	<	9732	not ok
16	19861	>	19860	ok

**Tabel 8.** Kontrol SCWB Model 5-6-5

Join	$\sum M_c > 6/5 \sum M_g$		Kontrol	
	$\sum$ Momen Kolom (Kg-m)	$6/5$ $\sum$ Momen Balok (Kg-m)		
1	48296.94	>	26771.92	ok
2	52044.25	>	45167.45	ok
3	51703.83	>	42768.96	ok
4	47676.23	>	21754.82	ok
5	36235.7	>	34759.3	ok
6	59922.82	>	52744.49	ok
7	57244.49	>	57244.48	ok
8	29790.34	>	29454.19	ok
9	35137.58	>	32045	ok
10	32058.21	>	30599	ok
11	58637.48	>	29048.77	ok
12	30315.6	>	9136.23	ok
13	32255.22	>	31092	ok
14	42227.58	>	39363.33	ok
15	53502.34	>	49541	ok
16	27275.81	>	10088.69	ok
17	27322.88	>	25098	ok
18	36847.77	>	34281.08	ok
19	44646.11	>	42707.63	ok
20	22220.92	>	21884.78	ok
21	23710.4	>	22343.22	ok
22	36847.77	>	36618.33	ok
23	33621.92	>	32698.01	ok
24	23701.54	>	5377.06	ok
25	18799.85	>	20529.6	ok
26	37315.23	>	38501.7	ok
27	22882.23	>	21776	ok
28	16627.51	>	8058.08	ok
29	9823.55	>	7973.2	ok
30	22178.42	>	16308.14	ok
31	8952.11	>	8911.47	ok
32	5714.58	>	5378.43	ok

Hasil perencanaan struktur dengan perbedaan variasi bentang perlu diukur tingkat kinerjanya. Pada Tabel 4.9 dapat diamati perilaku tiap struktur yang telah diolah dengan analisa gempa analisis statik ekuivalen menggunakan SAP 2D terhadap kesesuaian syarat strong colum weak beam.

Jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom harus

paling sedikit 1,20 kali lebih besar dari jumlah momen pada pusat hubung balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada kolom tersebut.

Hasil dari perhitungan strong column weak beam dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Pemodelan variasi bentang kolom dengan jarak 5m, 6m, 5m pada perhitungan struktur dihasilkan dimensi antara lain: balok B1 35/50 dengan tulangan longitudinal 12D19 untuk tumpuan tarik, 6D19 untuk tumpuan tekan; balok B2 20/30 dengan tulangan longitudinal 2D16 untuk tumpuan tarik, 2D16 untuk tumpuan tekan; kolom K1 70/70 dengan tulangan longitudinal 20D22 dengan tulangan geser  $\phi$ 10-100. Pemeriksaan kesesuaian syarat disajikan dalam Tabel 9 terlihat bahwa jumlah 1,2 kali dari momen balok tidak ada yang melampaui jumlah momen pada kolom sehingga struktur bangunan telah memenuhi persyaratan SCWB dengan perbandingan sebesar 13,6 %
- 2) Pemodelan variasi bentang kolom dengan jarak 6m, 5m, 6m pada perhitungan struktur dihasilkan dimensi antara lain: balok B1 35/50 dengan tulangan longitudinal 12D22 untuk tumpuan tarik, 6D22 untuk tumpuan tekan; balok B2 20/30 dengan tulangan longitudinal 2D16 untuk tumpuan tarik, 2D16 untuk tumpuan tekan; kolom K1 70/70 dengan tulangan longitudinal 20D22 dengan tulangan geser  $\phi$ 10-100. Pemeriksaan kesesuaian syarat disajikan dalam Tabel 7. Terlihat bahwa jumlah 1,2 kali dari momen balok tidak ada yang melampaui jumlah momen pada kolom sehingga struktur bangunan telah memenuhi persyaratan SCWB dengan perbandingan sebesar 10,2 %
- 3) Pemodelan variasi bentang kolom dengan jarak 4m, 8m, 4m pada perhitungan struktur dihasilkan dimensi antara lain: balok B1 35/50 dengan tulangan longitudinal 12D22 untuk tumpuan tarik, 6D22 untuk tumpuan tekan; balok B2 20/30 dengan tulangan longitudinal 2D16 untuk tumpuan tarik, 2D16 untuk tumpuan tekan; kolom K1 70/70 dengan tulangan longitudinal 20D22 dengan tulangan geser  $\phi$ 10-100. Pemeriksaan kesesuaian syarat disajikan dalam Tabel 8. Terlihat bahwa jumlah 1,2 kali dari momen balok ada yang melampaui jumlah momen pada kolom sehingga struktur bangunan tidak memenuhi persyaratan SCWB.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil evaluasi pengaruh variasi bentang kolom terhadap persyaratan strong column weak beam pada sistem rangka pemikul momen menengah

perencanaan ulang struktur laboratorium F-Mipa Universitas Negeri Surabaya secara umum dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pada variasi bentang kolom dengan jarak 5m, 6m, 5m, didapatkan momen pada balok B1 sebesar 389024 KN-mm sehingga dibutuhkan tulangan longitudinal 12D19 untuk tumpuan tarik, 6D19 untuk tumpuan tekan. Pada variasi bentang kolom dengan jarak 6m, 4m, 6m, didapatkan momen pada balok B1 sebesar 413260 KN-mm sehingga dibutuhkan tulangan longitudinal 12D19 untuk tumpuan tarik, 6D19 untuk tumpuan tekan. Pada variasi bentang kolom dengan jarak 4m, 8m, 4m, didapatkan momen pada balok B1 sebesar 414388 KN-mm sehingga dibutuhkan tulangan longitudinal 12D19 untuk tumpuan tarik, 6D19 untuk tumpuan tekan. Dapat disimpulkan perbedaan panjang bentang kolom mempengaruhi pembesaran momen. Dapat dilihat pada variasi bentang 8m didapatkan momen paling besar dari pemodelan lainnya.
- 2) Keseluruhan pemodelan telah memenuhi persyaratan batas layan. Tidak terdapat simpangan antar lantai (inter-story drift) yang melampaui batasan maksimum sebesar 24 mm. Untuk pemodelan 5m,6m,5m simpangan terbesar masih terdapat selisih 23% dari batas maksimum, pada pemodelan 6m,5m,6m simpangan terbesar selisih 20% dari batas maksimum. Untuk pemodelan 4m,8m,4m didapatkan selisih sebesar 16% dari batas maksimum.
- 3) Pemilihan bangunan didasari untuk memperoleh desain yang paling efektif, efisien dan aman terhadap gempa pada wilayah yang disyaratkan pada pemikul momen menengah dan memenuhi kesesuaian strong column weak beam. Pemodelan 4m,8m,4m dalam analisa diketahui tidak memenuhi persyaratan strong column weak beam, dan didasarkan pada kebutuhan tulangan balok yang paling efisien yaitu 12d19 pada tulangan tarik serta portal dengan nilai rasio SCWB terbesar dengan nilai 13,6% maka dapat diambil perencanaan struktur desain 5m, 6m, 5m.

### Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, penulis merokemendasikan untuk penelitian pengembangan lebih lanjut antara lain:

1. Penggunaan analisis beban gempa statik memberikan keterbatasan dalam desain model yang dianalisis, terutama dalam hal tinggi bangunan. Untuk pengembangan studi lebih lanjut dapat digunakan analisis statik dinamik untuk struktur yang lebih tinggi
2. Sangat penting memperhitungkan pengaruh gempa pada suatu perencanaan bangunan gedung dan

pengaplikasiannya pada daerah yang rawan gempa tersebut.

3. Dalam pendistribusian momen balok ke kolom, sebaiknya dipakai kapasitas penampang yang terpasang agar dapat dipastikan *struktur strong column weak beam*, dan untuk menghindari adanya *overdesign* maupun *underdesign* pada balok yang nantinya akan berpengaruh pada kolom.

#### DAFTAR PUSTAKA

- SNI 1726-2012. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah
- SNI 03-2487-2013. 2002. *Persyaratan Beton Struktural Untuk bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- PPIUG 1983. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Direktorat Penyelidikan Masalah Gedung.
- Asroni, Ali. 2010. *Kolom Pondasi & Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Asroni, Ali. 2010. *Balok Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Gideon, Kusuma dan Takim, Andriano. 1993. *Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa*. Jakarta: Erlangga.
- Gurki, J. Tambah Sembiring. 2010. *Beton Bertulang*. Edisi Revisi. Bandung: Rekayasa Sains.
- Harianti, Erny dan Pamungkas, Anugrah. 2009. *Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITS Press.
- Istimawan, Diphusodo. 2001. *Analisis Struktur*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Istimawan, Diphusodo. 1993. *Analisis Perencanaan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Erlangga.
- Kusuma, Beny (Ed), Nawy, G. Edward, dan Tavio (Ed). 2010. *Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar*, Surabaya: ITS Press.
- Purwono, Rachmat. 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITS Press.
- W.C, Vis dan Gideon, Kusuma. 1993. *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- W.C, Vis dan Gideon, Kusuma. 1993. *Grafik dan Tabel (Berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03)*. Jakarta: Erlangga.