

## **PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RADIOTERAPY DAN ONKOLOGY CENTRE RSUP Dr. KARIADI SEMARANG**

Tintus Triubekti , Anindita Hapsari, Himawan Indarto<sup>\*)</sup>, Muhrozi<sup>\*)</sup>

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

### **ABSTRAK**

*Perencanaan struktur gedung Radioterapy dan Onkology Centre RSUP Dr. Kariadi Semarang mengacu pada tiga standard: (1) standard beban minimum untuk gedung (SNI 1727-2013), (2) standar ketahanan gempa untuk gedung (SNI 1726-2013), dan (3) persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013). Gedung yang direncanakan ini termasuk kategori gedung Risiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sebesar 1,5 dan berada di atas tanah berjenis sedang. Analisis akibat beban gempa pada gedung ini menggunakan metode respon spektrum. Berdasarkan kriteria seismik, gedung pada perencanaan ini termasuk tipe D dengan risiko kegempaan ringgi. Maka, perencanaannya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dimana saat terjadi gempa kuat diharapkan akan terjadi sendi plastis pada balok. Prinsip SRPMK bertujuan untuk mencapai kapasitas kolom yang lebih besar daripada baloknya atau Strong Column Weak Beam. Kondisi tersebut mensyaratkan bahwa hubungan balok-kolom seharusnya didesain dengan baik agar tidak terjadi keruntuhan saat balok sedang mengalami sendi plastis. Kedalaman tanah keras pada lokasi pelaksanaan adalah 4 m dan 9 m, jenis tanah termasuk dalam kategori tanah sedang. Lokasi perencanaan bangunan berdekatan dengan bangunan eksisting, sehingga untuk memperkecil getaran pemancangan digunakan pondasi tiang pancang ukuran (30 x 30) cm.*

**kata kunci** : perencanaan gedung, RSUP Dr. Kariadi, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

### **ABSTRACT**

*Structural design of buildings Hospital Radiotherapy and Oncology Centre of Public Hospital Dr. Kariadi Semarang, refers to three standards: (1) minimum loads for buildings (SNI 1727-2013), (2) Earthquake resistance standard for buildings (SNI 1726-2013), and (3) standard of concrete for structural buildings (SNI 2847-2013). This building design is categorised as Building Risk IV, which has value factor virtue of earthquake ( $I_e$ ) about 1.5 and located on the medium soil types. The Earthquake loads analysis of this building using the spectrum response. Based upon the seismic criteria, this building is included as Building Type D with high risk of seismic level. Therefore, the building design uses Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) to reach the greater performance of column capacity upon the beam or Strong Column Weak Beam. These conditions require the beam-column joint should be well designed in order to avoid collapse when the beams are*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*undergoing plastic hinge. The depth of the hard ground at the site of implementation is 4 m and 9 m, type of land included in the category of land under. The location is adjacent with the existing building, so for minimize the vibration of pile foundation erection used size (30 x 30) cm.*

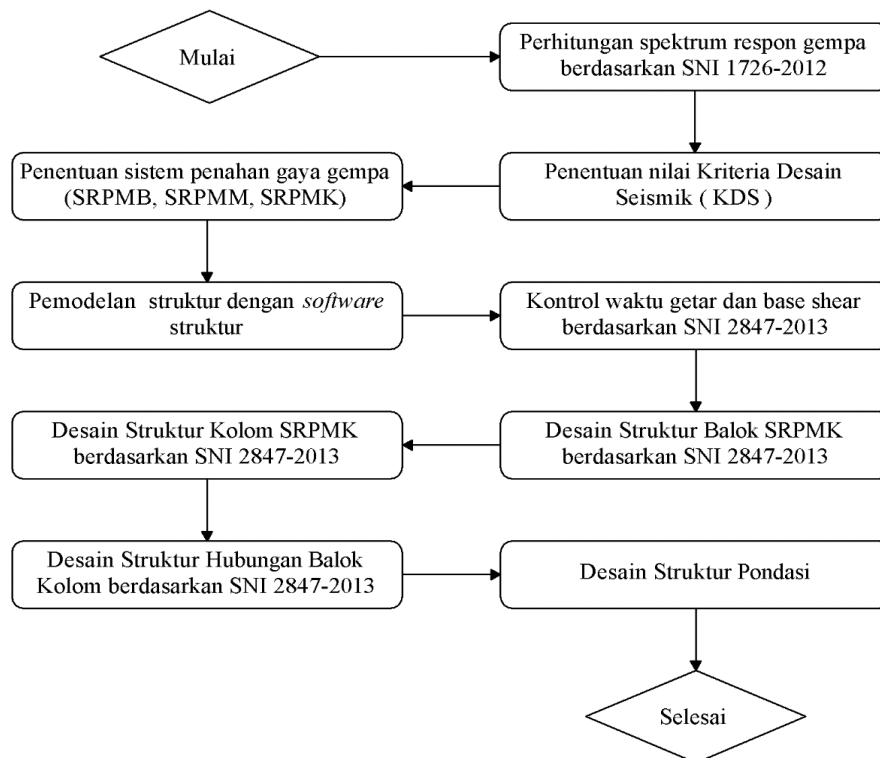
**keywords:** *building design, RSUP Dr. Kariadi, Special Moment Resisting Frame System (SMRFS)*

**PENDAHULUAN**

RSUP Dr. Kariadi berupaya membuat suatu prasarana yaitu Gedung Radioterapi dan Pusat Kanker. Gedung ini dimaksudkan sebagai pusat pengobatan serta pusat kesehatan yang mampu memberikan pelayanan, pemeriksaan, pengobatan dan perawatan pada penyakit khususnya kanker di Semarang. Untuk menempatkan seluruh kegiatan yang dapat menunjang proses penyembuhan dan pemulihan kondisi kesehatan pasien penderita kanker secara efektif maka gedung Radioterapi dan Pusat kanker RSUP Dr. Kariadi dibangun agar masyarakat mendapatkan pelayanan terbaik dalam kebutuhan akan fasilitas kesehatan khususnya dalam penyakit kanker. Gedung ini berlokasi di Jalan Dr. Sutomo No. 16, Bubutan, Semarang. Gedung ini direncanakan untuk 3 lantai dan 6 lantai.

**METODOLOGI**

Langkah – langkah perencanaan struktur berdasarkan sistem penahan gaya gempa SRPMK disajikan dalam *flowchart* berikut:



Gambar 1. *Flowchart* Perencanaan Struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

## **ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR**

Dalam perencanaan struktur gedung rumah sakit ini, pedoman peraturan serta acuan yang digunakan antara lain:

- a. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
- b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726:2012)
- c. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)

### **Mutu Bahan**

Bangunan rumah sakit ini direncanakan dengan menggunakan struktur beton bertulang dengan mutu material sebagai berikut:

- Beton ( $f'c$ )
  - Struktur atas = 25 MPa
  - Struktur bawah = 25 MPa
- Baja ( $f_y$ )
  - BJTD-40  $f_y = 400$  MPa (Tulangan Ulir).

### **Pembebanan Struktur**

Pembebanan yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung rumah sakit ini adalah sebagai berikut:

- Beban mati yang digunakan mengacu pada (SNI 1727:2013) adapun pembebanan untuk lantai 1 sampai dengan lantai 5 sebesar  $75 \text{ kg/m}^2$  sedangkan untuk lantai 6 sebesar  $50 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup yang digunakan mengacu pada (SNI 1727:2013) adapun pembebanan untuk lantai 1 sampai dengan lantai 5 sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$  sedangkan untuk lantai 6 sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$
- Beban gempa yang digunakan mengacu pada (SNI 03-1726-2012)

### **Kombinasi Beban**

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perhitungan dan analisis perencanaan Struktur Gedung Radioterapy dan Onkology Centre RSUP Dr. Kariadi Semarang mengacu pada peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013) dan standar ketahanan gempa untuk gedung (SNI 1726-2012), kombinasi yang digunakan yaitu:

- a. 1,4D
- b. 1,2D + 1,6L
- c. (1,2D + 0,2 SDS) D + 100%  $\rho Ex$  + 30%  $\rho Ey$  + L
- d. (1,2D + 0,2 SDS) D + 30%  $\rho Ex$  + 100%  $\rho Ey$  + L
- e. 1D + 1 L

dimana:

- D = Beban mati
- L = Beban hidup

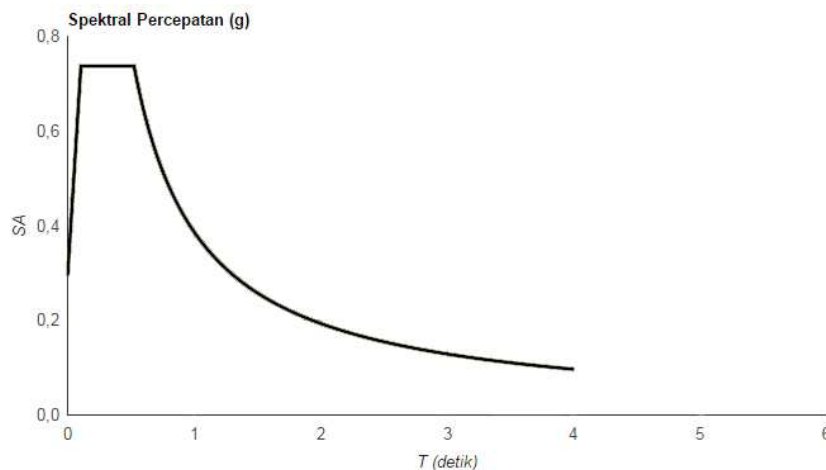
- SDS = Percepatan respons spektral pada perioda pendek  
 $\rho$  = Faktor redundansi struktur  
 $E_x$  = Beban gempa arah x  
 $E_y$  = Beban gempa arah y

### Analisis Struktur Terhadap Gempa

Analisis struktur gedung tahan gempa ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan yang dikaitkan dengan jenis tanah dasar dan peta zonasi gempa sesuai dengan standar ketahanan gempa untuk gedung (SNI 1726:2012). Dengan data sebagai berikut:

- Lokasi bangunan = Semarang
- Kategori risiko = IV
- Faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1,5
- Koefisien respons ( $R$ ) = 8 (SRPMK)

Besarnya nilai respons spektral didapat dari *website* [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id), dan disesuaikan dengan jenis tanah yang telah didapat dari hasil pengujian tanah lokasi perencanaan. Besaran nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 2. Grafik Respon Spektrum Semarang (Tanah Sedang)

Dari grafik respon spektrum pada Gambar 1 didapatkan nilai parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek (SDS) dan perioda 1 (SD1) detik sebagai berikut:

- SDS = 0,737 g.
- SD1 = 0,387 g.

### Perhitungan Struktur Atas

#### Perencanaan Balok

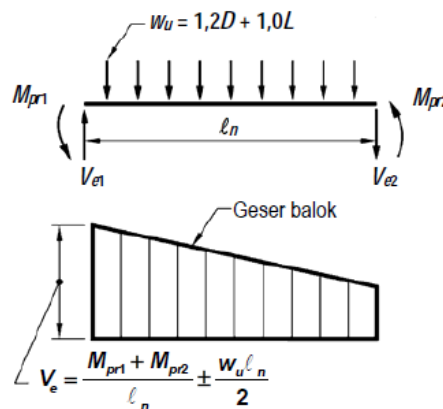
Balok adalah suatu bagian dari elemen struktur portal yang berfungsi menahan gaya geser dan momen lentur. Beban-beban yang berpengaruh terhadap struktur balok antara lain akibat penyaluran beban yang berasal dari plat, serta beban struktur tangga. Hal ini berkaitan dengan fungsi balok yaitu sebagai penerima beban yang dialami oleh plat

kemudian untuk selanjutnya disalurkan ke kolom serta akan diteruskan lagi ke bagian pondasi.

Beberapa tahapan dalam perencanaan struktur balok yaitu:

- a. Menentukan momen maksimum pada balok berdasarkan pemodelan pada software struktur.
- b. Pemeriksaan terhadap syarat-syarat komponen struktur balok berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.5.1:
  - Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi  $A_g f_c / 10$ .
  - Bentang bersih untuk komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
  - Lebar komponen struktur tidak boleh kurang dari 0,3h atau 250 mm.
  - Lebar komponen struktur tidak boleh melebihi komponen struktur penumpu (kolom).
- c. Perhitungan tulangan longitudinal
- d. Perhitungan momen kapasitas balok ( $M_{Pr1}$  dan  $M_{Pr2}$ )
 

$M_{Pr}$  : kekuatan mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka *joint* yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit  $1,25 f_y$  dan faktor reduksi kekuatan  $\phi$  sebesar 1,0 N.mm.
- e. Perhitungan tulangan geser. Tulangan geser balok di desain berdasarkan besarnya jumlah nilai  $M_{Pr1}$  dan  $M_{Pr2}$  dibagi dengan panjang bersih bentang balok dan ditambah gaya geser akibat beban luar dengan kombinasi 1,2 kali beban mati ditambah 1 kali beban hidup seperti terlihat pada Gambar2. Nilai  $M_{Pr}$  balok ( $M_{Pr1}$  dan  $M_{Pr2}$ ) sendiri didapatkan dari perhitungan kapasitas momen tahanan balok sesuai dengan tulangan memanjang yang terpasang pada penampang balok.



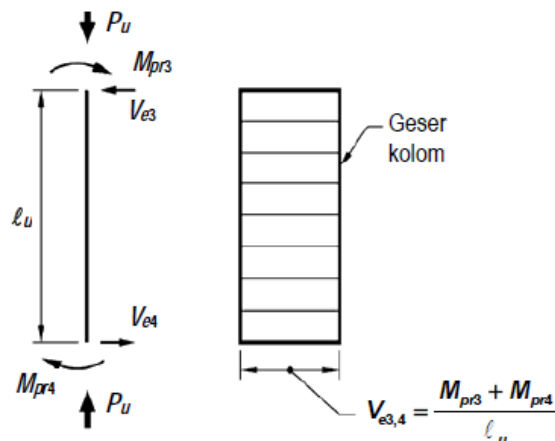
Gambar 3. Gaya Geser Desain untuk Balok

### **Perencanaan Kolom**

Kolom adalah suatu elemen struktur pemikul gaya tekan. Kolom merupakan komponen yang mempunyai fungsi utama dalam menyalurkan beban plat lantai yang diterima balok ke struktur bawah yaitu pondasi. Dalam perencanaan Struktur Gedung *Radioterapy* dan *Onkology Centre* RSUP Dr. Kariadi Semarang, kolom didesain sedemikian rupa agar memenuhi kriteria *strong column weak beam*.

Tahapan perhitungan perencanaan kolom adalah sebagai berikut:

- a. Pemeriksaan terhadap syarat komponen struktur kolom berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.1:
  - Gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada kolom melebihi  $0,1.A_g.f'_c$
  - Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
  - Rasio penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.
- b. Menghitung konfigurasi diameter penulangan dan jumlah tulangan yang akan digunakan dengan ketentuan  $0,01 < \rho < 0,06$
- c. Menghitung besarnya momen kapasitas kolom dengan Diagram Interaksi.
- d. Kontrol terhadap kekuatan kolom, dengan ketentuan kolom yang didesain harus memenuhi  $\Sigma M_{Pr\_kolom} \geq 1,2.\Sigma M_{Pr\_balok}$  pada hubungan balok-kolom.
- e. Perhitungan tulangan geser. Tulangan geser kolom di desain berdasarkan besarnya jumlah nilai  $M_{pr3}$  dan  $M_{pr4}$  dibagi dengan panjang bersih bentang seperti terlihat pada Gambar 3. Nilai  $M_{pr}$  kolom ( $M_{pr3}$  dan  $M_{pr4}$ ) sendiri didapatkan dari perhitungan kapasitas momen tahanan kolom berdasarkan diagram interaksi sesuai dengan tulangan memanjang yang terpasang pada penampang kolom.



Gambar 4. Gaya Geser Desain untuk Kolom

### **Perencanaan Hubungan Balok Kolom**

Perencanaan struktur hubungan balok kolom harus direncanakan sebaik mungkin pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dimana pada konsep desain SRPMK, kolom dan hubungan balok kolom harus mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada balok, sehingga kegagalan struktur pada kolom dan joint dapat dicegah dengan merencanakan titik lemah (sendi plastis) pada balok struktur.

### **Perhitungan Pondasi**

#### **Lokasi Lahan dan Pemilihan Jenis Pondasi**

Lokasi rumah sakit dibangun berdekatan dengan gedung rumah sakit yang telah beroperasi sebelumnya. Oleh karena itu untuk menghindari getaran yang terlalu besar terhadap gedung yang sudah ada, maka pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang

dengan ukuran (30 x 30) cm. Kedalaman tiang pancang yang direncanakan untuk gedung rumah sakit adalah 6 m dan 10 m karena disesuaikan dengan data tanah dimana kedalaman tanah keras berada pada kedalaman 4 m dan 9 m.

**Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal**

a. Berdasarkan hasil uji sondir, menggunakan metode *Bagemann*:

$$Q_{all} = \frac{q_c \times A_b}{3} + \frac{JHP \times O}{5} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- $Q_{all}$  = Daya dukung tiang pancang tunggal
- $A_b$  = Luas permukaan ujung tiang
- $O$  = Keliling tiang pancang
- $q_c$  = Tahanan ujung kerucut statis pada dasar tiang
- JHP = Jumlah hambatan pelekak
- SF = *Safety Factor* (3 dan 5)

b. Berdasarkan Hasil Bor Log (N-SPT)

Perhitungan daya dukung ijin pondasi berdasarkan hasil data Uji Bor atau *Standart Penetration Test* (SPT) didapat nilai N-SPT dengan menggunakan metode Meyerhoff adalah sebagai berikut:

- Harga  $N_{rt}$  pada tiang

$$\bar{N}_{rt} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- $N_{rt}$  = nilai N-SPT rata – rata pada tiang
- $N_{1,2, n}$  = Harga N pada tiap kedalaman

- Harga  $Q_{ult}$  satu tiang

$$Q_{ult} = 40.N_b.A_b + 0,2.N_{rt}.A_s \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- $Q_{ult}$  = daya dukung batas pondasi tiang pancang (ton)
- $N_b$  = nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang
- $A_b$  = luas penampang dasar tiang ( $m^2$ )
- $N_{rt}$  = nilai N-SPT rata-rata
- $A_s$  = luas selimut tiang ( $m^2$ )

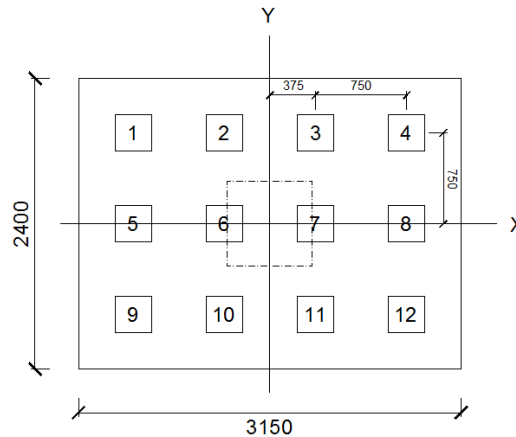
Untuk mendapatkan daya dukung 1 tiang pancang, maka daya dukung batas pondasi tiang pancang harus dibagi dengan angka keamanan (*safety factor*) yang bernilai 2 ~ 3

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

- $Q_{all}$  = Daya dukung 1 tiang pancang
- SF = *Safety Factor*

**Kontrol Beban Maksimum (Pmaks) yang Terjadi Akibat Pembebanan**



Gambar 5. Konfigurasi Letak Pondasi Tiang Pancang pada Pile cap

Berdasarkan Gambar 4, gaya Pmaks pada tiang pondasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{maks} = \frac{P_v}{n} \pm \frac{M_x \cdot y}{b \cdot \sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{a \cdot \sum x^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$P_{maks} < P_{ijin}$$

dimana:

- P<sub>maks</sub> = Gaya maksimum pada tiang
- P<sub>ijin</sub> = Daya dukung 1 tiang pancang yang telah kalikan dengan efisiensi
- n = Jumlah tiang dalam 1 pile cap
- M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub> = Momen ke arah x dan y pada tumpuan
- b = Jumlah tiang dalam 1 baris (4 buah)
- a = Jumlah tiang dalam 1 kolom (3 buah)
- x, y = Jarak tiang ke arah x dan y

**Kontrol Gaya Lateral (Metode Broms)**

Perhitungan gaya lateral untuk pondasi tiang pancang menggunakan metode Broms, dengan urutan pengerjaan sebagai berikut:

a. Mencari momen inersia tiang pancang:

$$I_p = 1/12 \times b \times h^3 \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

- I<sub>p</sub> = Momen inersia tiang pancang
- b, h = Panjang dan lebar sisi penampang tiang pancang

b. Mencari modulus elastisitas:

$$E_p = 4700\sqrt{f'c} \text{ MPa} \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

- E<sub>p</sub> = Modulus Elastisitas tiang pancang
- f'c = Kekuatan tekan beton (MPa)

- c. Mencari modulus reaksi subgrade ( $n_h$ ) berdasarkan buku dari Shamsheer Prakash dan Hari D. Sharma (1990) yang berjudul *Pile foundations in engineering practice*.

Tabel 1. Estimasi Nilai  $n_h$

Soil Type	Values
Granular	$n_h$ range from 1,5 to 200 lb/in <sup>3</sup> , is generally in the range from 10 to 100 lb/in <sup>3</sup> , and approximately propotional to relative density.
Normally loaded organic silt	$n_h$ range from 0,4 to 3,0 lb/in <sup>3</sup>
peat	$n_h$ is approximately 0,2 lb/in <sup>3</sup>
cohesive soils	$n_h$ is approximately $67S_U$ , where $S_U$ is undrained shear strength of the soil

\*After Davisson,1970.

Note: the effects of group action and repeated loading are not included in these estimates

- d. Faktor kekakuan

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I}{n_h}} \dots\dots\dots (8)$$

- e. Menentukan jenis tiang pancang:

Untuk penentuan grafik dari metode Broms perlu ditentukan apakah jenis pondasi masuk dalam kategori pondasi pendek atau panjang. Penentuan jenis pondasi dapat dibedakan dengan:

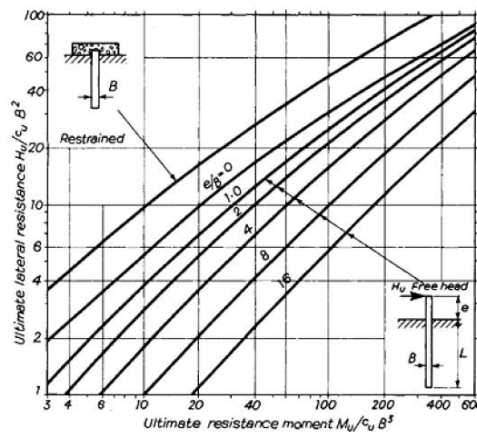
- Tiang pancang dengan panjang (L) kurang dari 2 kali faktor kekakuan (T), tiang dianggap pendek dan bebas.
- Tiang pancang dengan panjang (L) lebih besar atau sama dengan 2 kali faktor kekakuan (T), tiang dianggap tiang panjang dan jepit.

dimana:

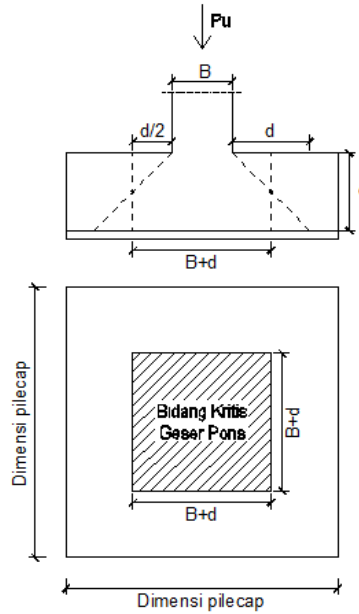
T = Faktor kekakuan

L = Panjang kedalaman tiang pancang

- f. Mencari gaya lateral ijin dengan menggunakan grafik Broms



Gambar 6. Grafik Broms Ultimate Lateral Resistance



Gambar 7. Bidang kritis geser pons

### Kontrol Gaya Geser Pons

Agar dapat menahan gaya geser pons harus memenuhi persyaratan berikut:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} \dots\dots\dots (9)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{12} \dots\dots\dots (10)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \dots\dots\dots (11)$$

$$d = h - p \dots\dots\dots (12)$$

$$b_o = 4 \times (B + d) \dots\dots\dots (13)$$

dimana:

$P_u$  = Beban vertikal kolom akibat beban luar yang bekerja.

$V_c$  = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton  
(diambil nilai  $V_c$  minimum dari ketiga perumusan diatas)

$\beta_c$  = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek penampang kolom

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada *pile cap*

$\alpha$  = 40, untuk kolom tengah

Kontrol terhadap syarat:

$$P_u < \phi V_c \text{ dimana nilai } \phi = 0,75$$

### Perhitungan Tulangan Pile Cap

Perhitungan tulangan *pile cap* dihitung berdasarkan pada momen yang dihasilkan dari analisis. Dari hasil analisis didapatkan bahwa rasio tulangan *pile cap* lebih kecil dari rasio

tulangan minimum, sehingga tulangan yang digunakan adalah D22-125 untuk ke arah x maupun ke arah y.

## **KESIMPULAN**

Dari hasil perencanaan Struktur Gedung Radioterapy dan Onkology Centre RSUP Dr. Kariadi Semarang dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Struktur Gedung Radioterapy dan Onkology Centre RSUP Dr. Kariadi Semarang di desain dengan perencanaan gempa menggunakan metode Analisis Dinamik Respon Spektral.
- b. Menurut SNI 03-1726-2012 didapatkan bahwa struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan demikian diharapkan saat terjadi gempa struktur dapat berperilaku daktail dengan memencarkan energi gempa.
- c. Berdasarkan hasil pengujian tanah pada lokasi perencanaan struktur didapatkan bahwa tanah pada lokasi memiliki jenis tanah sedang. Letak tanah keras pada kedalaman 4 m dan 9 m. Lokasi perencanaan merupakan lokasi dengan kepadatan bangunan eksisting yang sangat berdekatan dengan bangunan yang akan dibangun, oleh karena itu pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang ukuran (30 x 30) cm.

## **SARAN**

Dari hasil perencanaan Struktur Gedung Radioterapy dan Onkology Centre RSUP Dr. Kariadi Semarang diperoleh beberapa saran untuk perencanaan struktur, diantaranya:

- a. Agar struktur dapat berperilaku daktail maka struktur harus direncanakan memiliki sendi-sendi plastis yang letaknya hanya berada pada balok dan ujung kolom bagian bawah struktur. Dengan demikian perencanaan kolom harus dedesain sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.
- b. Untuk memudahkan pekerjaan struktur bawah dan agar bangunan eksisting tidak terganggu akibat getaran pemancangan khususnya pondasi, sebaiknya digunakan pondasi tiang panjang ukuran ( 30x30 ) cm dengan alat Hydraulic Static Pile Driver (HSPD).

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Standardisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Braja M. Das, 2007. *Principles of Foundation Engineering Sixt Edition*, Nelson, Canada.
- Shamsher Prakash dan Hari D. Sharma, 1990. *Pile foundations in engineering practice*, John Wiley & Sons, Inc, Canada.