ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN DIMENSI TERHADAP STRUKTUR KOLOM BETON BERTULANG PADA JEMBATAN KALI KENDENG

SKRIPSI
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Universitas Negeri Semarang

Oleh
Kandida Rahardian Dewantara
NIM 5113414028

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Kandida Rahandian Dewantara
NIM	: 5113414028
Pogram Studi	: Teknik Sipil, S1
Judul	: Analisa Pengaruh Bentuk Dan Dimensi Terhadap Struktur Kolom Beton Bertulang Pada Jembatan Kali Kendeng

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Sipil, S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Mei 2019

Pembimbing

Arie Yaveriyanto, S.T., M.T.

NIP. 196507222001121001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Dan Dimensi Terhadap Struktur Kolom Beton Bertulang Pada Jembatan Kali Kendeng telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada

Oleh

Nama : Kandida Rahardian Dewantara

NIM : 5113414028

Program Studi : Teknik Sipil, S1

Panitia :

Ketua	Sekretaris
Aris Widodo, S.Pd., M.T.	Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.
NIP.197102071999031001	NIP.197809212005012001

Penguji I	Penguji II	Penguji III/Pembimbing
Drs. Henry Apriyatno, M.T.	Dr. Adia Nurendra, S.T., M.T.	Arie Javeriyanto, S.T.,M.T.
NIP.195904091987021000	NIP.197705262005011004	NIP.196507222001121001

Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T. IPM.
NIP.196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Kandida Rahardian Dewantara
NIM	: 5113414028
Tempat Tanggal Lahir	: Semarang, 1 September 1996
Alamat	: Desa Penunjungan RT 01 RW 01, Kec.Bulakamba, Kab.Brebes

menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini adalah hasil jiplakan dari karya tulis orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Semarang, 13 Mei 2019

Kandida Rahardian Dewantara
NIM 5113414028

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- Daun yang gugur akan jatuh lalu mati tapi mereka jatuh bukan tanpa alasan. Mereka jadi nutrisi yang bagus bagi generasi yang masih segar dan menjadi jembatan sampai musim semi kembali melahirkan daun yang lebih segar begitu seterusnya. Dan saat itulah sebagai puncak dari semangat masa muda. (Farkhan Al Fadila)
- "Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya." (QS. Al Baqarah : 286)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur skripsi ini dipersembahkan kepada:

- Allah SWT
- Orangtua tercinta
- Adik-adikku tersayang
- Teman-teman Teknik Sipil 2014
- Teman-teman yang telah membantu
- Almamaterku Universitas Negeri Semarang

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Bentuk Variasi Penampang Kolom Beton Bertulang Pada Perencanaan Struktur Jembatan". Penyusunan skripsi ini tidak mungkin dapat diselesaikan dengan baik tanpa bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak, maka dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menimba ilmu di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan fasilitas dan kesempatan bagi penulis untuk mengikuti program S1 di fakultas teknik.
3. Aris Widodo, S.Pd., M.T. , Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan fasilitas dan pelayanan selama penulis menempuh pendidikan.
4. Dr. Rini Kusumawardhani, M.T., M.Sc., Koordinator Program Studi Teknik Sipil S1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan fasilitas dan pelayanan selama penulis menempuh pendidikan.
5. Drs. Henry Apriyatno, M.T., Dosen penguji I yang telah memberi saran dan masukan kepada penulis.
6. Dr. Alfa Narendra, S.T., M.T. Dosen penguji II yang telah memberikan masukan sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Arie Taveriyanto, S.T., M.T., Dosen pembimbing yang telah berkenan memberikan bimbingan, pengarahan, dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan bantuan

selama penulis menimba ilmu di Universitas Negeri Semarang.

9. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang telah membantu dalam proses perkuliahan.
10. Semua pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Semarang, 13 Mei 2019

Penulis

ABSTRAK

KANDIDA RAHARDIAN DEWANTARA
2019

ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN DIMENSI PADA STRUKTUR KOLOM BETON BERTULANG PADA JEMBATAN KALI KENDENG

ARIE TAVERIYANTO, S.T., M.T.
Drs. HENRY APRIYATNO, M.T.
Dr. ALFA NARENDRA, S.T., M.T.

TEKNIK SIPIL,S1

Abstrak - *Kolom persegi yaitu kolom segi empat yang mempunyai bentuk sengkang tunggal dan jarak antara yang besar. Sedangkan kolom bulat yaitu kolom berpenampang spiral dan memiliki jarak sengkang berdekatan atau jarak antara yang relatif lebih kecil. Parameter dalam perencanaan kolom antara lain syarat penulangan ,kelangsingan kolom, faktor tekuk, diagram interaksi, dan daktilitas.*

Penelitian ini menggunakan data kolom eksisting berbentuk persegi dengan dimensi 3,5x3,5 m dari Jembatan Kali Kendeng di Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Surakarta. Dari data tersebut dilakukan variasi bentuk kolom menjadi kolom bulat dengan menghitung momen inersia kedua penampang. Kemudian dilakukan variasi dimensi dengan menghitung syarat rasio penulangan. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan desain kolom yang efektif. Langkah pertama yaitu menganalisis pembebanan jembatan dengan SNI pembebanan gempa untuk jembatan 2833:2016 dan SNI pembebanan untuk jembatan 1725:2016. Setelah itu, melakukan perhitungan persyaratan kolom beton bertulang dan diperiksa melalui aplikasi SAP2000. Kemudian menganalisis output SAP2000, sehingga diperoleh gaya momen dan geser pada kolom persegi dan bulat.

Dengan bahan yang sama yaitu beton mutu 30 MPa dan baja mutu 390 MPa, didapatkan hasil angka kelangsingan, faktor tekuk dan jari-jari inersia antara kolom persegi dan bulat adalah sama. Nilai momen maksimal pada kolom persegi sebesar 60704.8718 kN-m dan geser maksimal sebesar 2358.14 kN. Sedangkan pada kolom bulat didapatkan momen maksimal sebesar 60685.1944 kN-m dan geser maksimal sebesar 2358.65 kN. Tinjauan dari segi daktilitas relatif sama antara kolom persegi maupun kolom bulat dan nilai daktilitas menunjukkan semakin berkurangnya luas penampang semakin kecil nilai daktilitas. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa kolom bulat lebih baik dalam hal menahan momen dan geser, daripada kolom berbentuk persegi.

Kata Kunci : *Kolom Persegi dan Bulat*

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING ..... **ii**
PENGESAHAN ..... **iii**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **iv**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
ABSTRAK ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xviii**
BAB I **1**
PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 2
1.3 Pembatasan Masalah 2
1.4 Rumusan Masalah 3
1.5 Tujuan 3
1.6 Manfaat 3
1.7 Sistematika Penulisan 3
TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Pengertian Kolom 5
2.1.1 Jenis – Jenis Kolom 5
2.1.2 Rasio Penulangan Kolom 9
2.2 Kelangsingan Kolom 11
2.2.1 Kolom Penampang Persegi 12
2.2.2 Kolom Penampang Bulat/Lingkaran 14
2.3 Diagram Interaksi Kolom 17
2.4 Tekuk Kolom 18
2.5 Daktilitas Struktur 22

2.6 Pembebanan 24
2.6.1 Beban Primer 25
2.6.2 Beban Lalu Lintas 26
2.6.3 Aksi Lingkungan 30
2.7 Kombinasi Pembebanan 42
BAB III 45
METODE PERENCANAAN 45
3.1 Umum 45
3.2 Diagram Alir 45
3.2.1 Pengumpulan Data dan Studi Literatur 47
3.2.2 Preliminary Desain 48
3.2.3 Analisa Pembebanan Struktur 49
3.2.4 Menghitung Luas Penampang 50
3.2.5 Perencanaan Kolom 50
3.2.6 Perhitungan Momen dan Geser 51
3.3 Permodelan Struktur 51
BAB IV 56
PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN 56
4.1 Data Teknis Jembatan 56
4.2 Pembebanan Plat Lantai 57
4.3 Analisa Penampang Balok 58
4.4 Pembebanan Balok 60
4.5 Perencanaan 72
4.6 Kelangsingan Kolom 77
4.6.1 Kolom Eksisting dimensi 3,5 x 3,5 m^2 77
4.6.2 Dimensi Kolom 3,45 x 3,45 m^2 79
4.6.3 Kolom Dimensi 3,4 x 3,4 m^2 80
4.6.4 Kolom Dimensi 3,3 x 3,3 m^2 82
4.7 Tekuk Kolom 83
4.7.1 Kolom Dimensi 3,5 x 3,5 m 83
4.7.2 Kolom Dimensi 3,45 x 3,45 m 88
4.7.3 Kolom Dimensi 3,4 x 3,4 m 91
4.7.4 Kolom Dimensi 3,3 x 3,3 m 94

4.8 Diagram Interaksi Kolom 97
4.9 Analisis Output SAP2000 103
BAB V 121
PENUTUP 121
5.1 Kesimpulan 121
5.2 Saran 122
DAFTAR PUSTAKA 123
DAFTAR LAMPIRAN 125

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Garis Lentur Akibat Tekuk Berdasarkan Jenis Perletakan 19

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati 26

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri 26

Tabel 2.4 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana 27

Tabel 2.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur "D" 28

Tabel 2.6 Faktor Beban untuk Beban "T" 29

Tabel 2.7 Faktor Kepadatan Lajur (m) 30

Tabel 2.8 Sifat Bahan Rata-Rata Akibat Pengaruh Temperatur 30

Tabel 2.9 Temperatur Rata – Rata Jembatan 31

Tabel 2.10 Nilai V0 dan Z0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu 32

Tabel 2.11 Penjelasan Peta Gempa 34

Tabel 2.12 Kelas Situs 35

Tabel 2. 13 Faktor Amplikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a) 36

Tabel 2.14 Besarnya nilai faktor amplikasi untuk periode 1 detik (F_v) 36

Tabel 2.15 Zona gempa 39

Tabel 2.16 Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah 40

Tabel 2.17 Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah 40

Tabel 2.18 Kombinasi Beban Berdasarkan SNI 1725:2016 43

Tabel 2.19 Kombinasi dan Faktor Beban 44

Tabel 4.1 Penampang Balok 58

Tabel 4.2 Data Tinggi I-Girder 58

Tabel 4.3 Data Lebar I-Girder 59

Tabel 4.4 Section Properties Balok Prategang 59

Tabel 4.5 Section Properties Balok Komposit 60

Tabel 4.6 Sifat Bahan Akibat Temperatur 65

Tabel 4.7 Komponen Percepatan Gempa 69

Tabel 4.8 Periode dan Percepatan Gempa 70

Tabel 4.9 Resume beban 70

Tabel 4.10 Persamaan Momen dan Gaya Geser 70

Tabel 4.11 Perhitungan Momen 71

Tabel 4.12 Perhitungan Lintang 71

Tabel 4.13 Nilai Tiap Beban 72

Tabel 4.14 Daftar Penulangan 76

Tabel 4.15 Pemeriksaan Rasio Penulangan 77

Tabel 4.16 Perhitungan faktor G tiap titik buhul 84

Tabel 4.17 Faktor Panjang Tekuk,k 84

Tabel 4.18 Perhitungan Faktor G Tiap Titik Buhul 86

Tabel 4.19 Faktor Panjang Tekuk,k 86

Tabel 4.20 Perhitungan faktor G tiap titik buhul 88

Tabel 4.21 Faktor Panjang Tekuk,k 89

Tabel 4.22 Perhitungan Faktor G Tiap Titik Buhul 90

Tabel 4.23 Faktor Panjang Tekuk,k 90

Tabel 4.24 Perhitungan faktor G tiap titik buhul 92

Tabel 4.25 Faktor Panjang Tekuk,k 92

Tabel 4.26 Perhitungan Faktor G Tiap Titik Buhul 93

Tabel 4.27 Faktor Panjang Tekuk,k 93

Tabel 4.28 Perhitungan faktor G tiap titik buhul..... 95

Tabel 4.29 Faktor Panjang Tekuk,k 95

Tabel 4.30 Perhitungan Faktor G Tiap Titik Buhul 96

Tabel 4.31 Faktor Panjang Tekuk,k 96

Tabel 4.32 Rekapitulasi Pemeriksaan Nilai Kelangsingan dan Tekuk Kolom 97

Tabel 4.33 Rekap Hasil Momen dan Geser pada Kolom 115

Tabel 4.34 Rekap Hasil Perhitungan 118

Tabel 4.35 Rekapitulasi Perhitungan Daktilitas Tegangan 118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-jenis Penampang Kolom Baja 8

Gambar 2.2 Jenis-jenis Kolom Komposit..... 8

Gambar 2.3 Jenis Kolom Berdasarkan Bahan Konstruksi 9

Gambar 2.4 Grafik Interaksi P dan M 18

Gambar 2.5 Grafik Hubungan Panjang Kolom dan Beban Tekuk 19

Gambar 2.6 Kolom dan Balok Portal 21

Gambar 2.7 Nomogram Faktor Panjang Tekuk Kolom Portal..... 22

Gambar 2.8 Beban Jalur "D" 28

Gambar 2.9 Faktor Beban Dinamis untuk Beban "T" untuk Pembebanan Lajur "D"..... 29

Gambar 2.10 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah..... 37

Gambar 3.1 Diagram Alir..... 46

Gambar 3.2 Lokasi Jembatan Kali Kendeng 47

Gambar 3.3 Bentuk Kolom Persegi..... 52

Gambar 3.4 Bentuk Kolom Bulat..... 53

Gambar 4.1 Balok I-Girder..... 58

Gambar 4.2 Balok I-Girder..... 60

Gambar 4.3 Pembebanan Truk “T” 62

Gambar 4.4 Pengaruh Pengereman dari Lalu Lintas..... 63

Gambar 4.5 Beban Angin Tambahan terhadap Kendaraan 64

Gambar 4.6 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun..... 67
Gambar 4.7 Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun..... 67
Gambar 4.8 Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun..... 68
Gambar 4.9 Nilai k untuk Kolom AB 85
Gambar 4.10 Nilai k untuk kolom AB 87
Gambar 4.11 Nilai k untuk Kolom AB 89
Gambar 4.12 Nilai k untuk kolom AB 91
Gambar 4.13 Nilai k untuk Kolom AB 92
Gambar 4.14 Nilai k untuk kolom AB 94
Gambar 4.15 Nilai k untuk Kolom AB 95
Gambar 4.16 Nilai k untuk kolom AB 97
Gambar 4.17 Diagram Interaksi Kolom bulat 102
Gambar 4.18 Grafik Interaksi Kolom Persegi 102
Gambar 4.19 Momen dan Geser maksimum Kolom..... 104
Gambar 4.20 Momen dan Geser Maksimum Kolom 104
Gambar 4.21 Momen dan Geser Maksimum Kolom 105
Gambar 4.22 Momen dan Geser Maksimum Kolom 106
Gambar 4.23 Momen dan Geser Maksimum Kolom 107
Gambar 4.24 Momen dan Geser Maksimum Kolom 107
Gambar 4.25 Momen dan Geser Maksimum Kolom 108

Gambar 4.26 Momen dan Geser Maksimum Kolom 109

Gambar 4.27 Momen dan Geser Maksimum Kolom 110

Gambar 4.28 Momen dan Geser Maksimum Kolom 110

Gambar 4.29 Momen dan Geser Maksimum Kolom 111

Gambar 4.30 Momen dan Geser Maksimum Kolom 112

Gambar 4.31 Momen dan Geser Maksimum Kolom 113

Gambar 4.32 Momen dan Geser Maksimum Kolom 113

Gambar 4.33 Momen dan Geser Maksimum Kolom 114

Gambar 4.34 Momen dan Geser Maksimum Kolom 115

Gambar 4.35 Bar Chart Momen Maksimum Kolom..... 116

Gambar 4.36 Bar Chart Geser Maksimum Kolom..... 116

Gambar 4.37 Grafik Momen Maksimum Kolom..... 117

Gambar 4.38 Grafik Geser Maksimum Kolom 117

Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Tegangan Kolom Persegi & Kolom Bulat 119

Gambar 4.40 Grafik Perbandingan Daktilitas Tegangan Kolom Persegi & Kolom Bulat..... 119

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah dan Potongan Memanjang Jembatan.....125

Lampiran 2. Diagram Hasil *PCA Coloumn* Kolom Persegi 3,3 x 3,3 m & Kolom Bulat Diameter 3,76 m 126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri.

Kolom beton bertulang merupakan komposit gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi adalah material yang tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan. Kolom jembatan mempunyai bentuk dan jenis yang bermacam-macam dalam penggunannya, tergantung lokasi, jenis tanah, dan waktu yang tersedia. Pada umumnya, kolom yang digunakan pada pilar jembatan berbentuk persegi. Keunggulan kolom berbentuk persegi yaitu pembuatannya lebih mudah dan perencanaanya yang lebih sederhana. Akan tetapi, terdapat beberapa bangunan jembatan yang menggunakan desain kolom lingkaran atau bulat.

Pembangunan jalan tol ruas Salatiga - Surakarta segmen jalan tol Semarang – Surakarta terdapat beberapa pembangunan jembatan antara lain jembatan Kali Kendeng yang berlokasi di Desa Pamotan, Kecamatan Susukan, Kabupaten Semarang. Jembatan mempunyai panjang total 493 m dan lebar jembatan 25,2 m yang dirancang dengan kolom eksisting penampang persegi 3,5 x 3,5 m dan terdapat 11 titik kolom. Panjang bentang antar kolom 40 m dan lebar antar kolom 8,1 m. Titik lembah terdalam yaitu 39,5 m sehingga memerlukan kolom yang panjang. Penulis ingin melakukan variasi desain kolom persegi dan bulat pada salah

satu kolom yang paling panjang yaitu pada titik P7 dengan tinggi 39,5 m. Kolom persegi dan kolom bulat masing - masing menghasilkan kapasitas penampang, gaya - gaya dalam seperti gaya aksial, gaya geser dan gaya momen yang berbeda sehingga dilakukan analisa perbandingan perhitungan keduanya serta dilakukan variasi dimensi kolom persegi 3,5 x 3,5 m^2, 3,45 x 3,45 m^2, 3,4 x 3,4 m^2, dan 3,3 x 3,3 m^2. Sedangkan kolom bulat diameter 3,99 m, 3,97 m, 3,87 m, 3,76 m. Kemudian melakukan peninjauan tingkat daktilitasnya yang dihubungkan dengan diagram interaksi kolom dan luas penampang.untuk mengetahui desain kolom yang lebih efisien.

1.2 Identifikasi Masalah

Struktur pada bangunan jembatan Kali Kendeng ini mempunyai panjang 493 m dan lebar 25,2 m. Dari data berikut dapat diartikan bentang jembatan termasuk panjang sehingga memerlukan jumlah kolom yang banyak pula yaitu berjumlah 11 titik. Kolom tertinggi berada pada titik P7 dengan tinggi 39,5 m dengan jarak antar kolom 8,1 m. Dengan kolom yang relatif tinggi maka sangat memungkinkan terjadinya kegagalan struktur karena tekuk dan kelangsingan kolom akibat beban yang bekerja.

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan dalam perencanaan struktur atas jembatan Kali Kendeng ini adalah:

1. Melakukan perencanaan variasi penampang kolom dengan penampang persegi dan bulat.
2. Melakukan variasi dimensi kolom persegi dengan ukuran 3,5 x 3,5 m^2, 3,45 x 3,45 m^2, 3,45 x 3,45 m^2, 3,3 x 3,3 m^2, dan kolom bulat dengan ukuran diameter 3,99 m, 3,97 m, 3,87 m, 3,76 m sesuai perhitungan momen inersia kolom.
3. Melakukan perhitungan daktilitas tegangan pada struktur kolom
4. Menganalisa gaya dalam yang bekerja yaitu momen dan geser pada struktur kolom.

1.4 Rumusan Masalah

Analisa dilakukan terhadap struktur kolom jembatan Kali Kendeng yang terletak di Kec. Susukan, Kab. Semarang dan spesifikasi pekerjaannya. Rumusan masalah skripsi adalah :

1. Bagaimana hubungan daktilitas tegangan dengan tingkat efisiensi struktur kolom jembatan Kali Kendeng
2. Bagaimana hasil analisa momen dan geser yang terjadi akibat variasi dimensi dan bentuk pada struktur kolom jembatan Kali Kendeng
3. Bagaimana pengaruh perubahan dimensi dan bentuk pada struktur kolom jembatan Kali Kendeng.

1.5 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah untuk merancang kolom jembatan dengan melakukan variasi bentuk, dimensi yang kemudian dilakukan analisa momen dan geser demi mencapai tingkat efisiensi yang diinginkan pada jembatan Kali Kendeng pada jalan Tol Semarang-Surakarta.

1.6 Manfaat

1. Memberikan wawasan dalam perencanaan struktur kolom jembatan Kali Kendeng
2. Memberikan pengetahuan dasar – dasar perencanaan kolom beton bertulang
3. Untuk memberikan alternatif desain struktur jembatan Kali Kendeng

1.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan Tugas Akhir terdiri dari lima bab, daftar isi dan lampiran-lampiran yang disertakan adapun rincian sistematika susunannya sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, perumusan masalah, identifikasi masalah, maksud dan tujuan, lokasi jembatan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas mengenai pengertian umum kolom beton bertulang, aspek-aspek perencanaan, aspek pendukung, metode perhitungan, dan rencana pembebanan.

BAB III Metode Perencanaan

Membahas mengenai metode pengumpulan data dan metode analisa.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Membahas tentang perhitungan struktur kolom beton bertulang jembatan dan analisa gaya dalam yang bekerja.

BAB V Penutup

Kesimpulan dan saran dari keseluruhan isi pembahasan analisa terhadap kolom jembatan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur.

SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

2.1.1 Jenis – Jenis Kolom

Menurut Wang (1986) dalam bukunya menjelaskan bahwa jenis-jenis kolom ada tiga, yaitu :

a. Kolom ikat (*tie column*).
b. Kolom spiral (*spiral column*).
c. Kolom komposit (*composite column*).

Dalam buku struktur beton bertulang (Istimawan Dipohusodo, 1994), ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu :

a. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
b. Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral

yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.

c. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

Kolom diklasifikasikan berdasarkan beberapa kondisi yang berdasarka pada berbagai hal meliputi berdasarkan jenis pemuatan, berdasarkan pada rasio kelangsingan, berdasarkan bentuk, berdasarkan pada bahan konstruksi.

1. Berdasarkan Jenis Pembebanan atau Letak Pemuatan
    - Kolom yang Dibebani secara Aksial

      Kolom yang dibebani secara aksial adalah kolom yang beban aksial vertikalnya bekerja di pusat gravitasi dari penampang kolom. Kolom bermuatan aksial mulai jarang dibuat dalam konstruksi bangunan karena beban vertikal yang bertepatan pada pusat gravitasi menjadikan penampang kolom tidak praktis. Kolom hias interior bangunan bertingkat dengan muatan simetris dari pelat lantai pada semua sisi adalah contoh dari jenis kolom ini.
    - Kolom dengan Memuat Eksentrik Uniaksial

      Kolom dengan memuat eksentrik uniaksial adalah kolom yang ketika beban vertikalnya tidak bertepatan dengan pusat gravitasi dari penampang kolom, tetapi bertindak secara eksentrik baik pada sumbu X atau Y dari penampang kolom. Kolom dengan pembebanan uniaksial umumnya ditemui dalam kasus kolom yang terhubung secara kaku dari satu sisi saja seperti kolom pada tepi bangunan.
    - Kolom dengan Pemuatan Eksentrik Biaksial

      Kolom dengan pemuatan eksentrik biaksial adala kolom yang ketika beban vertikal pada kolom tidak bertepatan dengan pusat gravitasi dari

penampang kolom dan tidak bekerja pada kedua sumbu (sumbu X dan Y). Kolom dengan pemuatan biaksial adalah jenis kolom yang umum di sudut bangunan dengan balok yang terhubung secara kaku pada sudut di bagian atas kolom.

2. Berdasarkan Rasio Kelangsingan

   Berdasarkan rasio kelangsingan, (panjang efektif / dimensi lateral), kolom dikategorikan sebagai berikut:

   - Kolom Pendek

     Kolom pendek adalah kolom yang jika rasio panjang efektif kolom ke dimensi lateral paling kecil adalah kurang dari 12. Kolom pendek gagal karena hancur (kegagalan kompresi murni).

   - Kolom Panjang

     Kolom pajang adalah kolom yang jika rasio panjang kolom efektif dengan dimensi lateral paling sedikit melebihi 12. Kolom panjang gagal karena tertekuk atau bengkok.

3. Berdasarkan Bentuk

   - Kolom Kotak atau Persegi Panjang

     Kolom kotak atau persegi pajang merupakan kolom yang paling sering digunakan dalam konstruksi bangunan. Akan jauh lebih mudah untuk membangun kolom persegi panjang atau persegi daripada yang melingkar karena kemudahan bekisting dan untuk menghndarkannya dari keruntuhan karena tekanan.

   - Kolom Sirkular atau Kolom Bulat

     Kolom sirkular adalah kolom yang dirancang khusus yang sebagian besar digunakan dalam tiang pancang dan ketinggian bangunan tertentu. Kolom sirkular dibuat dengan bekisting khusus yang lebih sulit.

   - Kolom Berbentuk L

     Kolom berbentuk L adalah kolom yang digunakan di sudut-sudut dinding bangunan dan memiliki karakteristik yang sama dari kolom

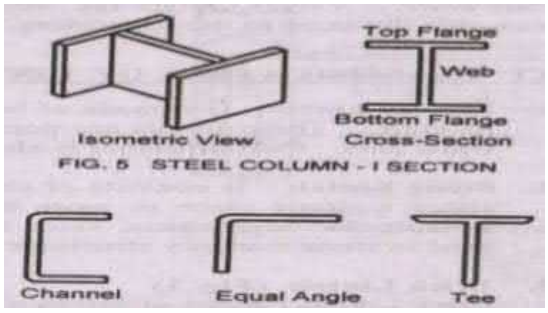
persegi panjang atau persegi. Kolom berbentuk L memiliki daya tahan lebih baik terhadap gaya lateral.

- Kolom Berbentuk T

  Kolom Berbentuk T ini digunakan berdasarkan persyaratan desain struktur. Kolom Berbentuk T banyak digunakan dalam pembangunan jembatan.

- Bentuk Kolom Baja

  Ada berbagai standar dan bentuk bangun kolom baja yang ditunjukkan pada Gambar berikut ini. Bentuk umum kolom baja termasuk H, I, dan T.



Gambar 2.1 Jenis-jenis Penampang Kolom Baja

- Bentuk Kolom Komposit

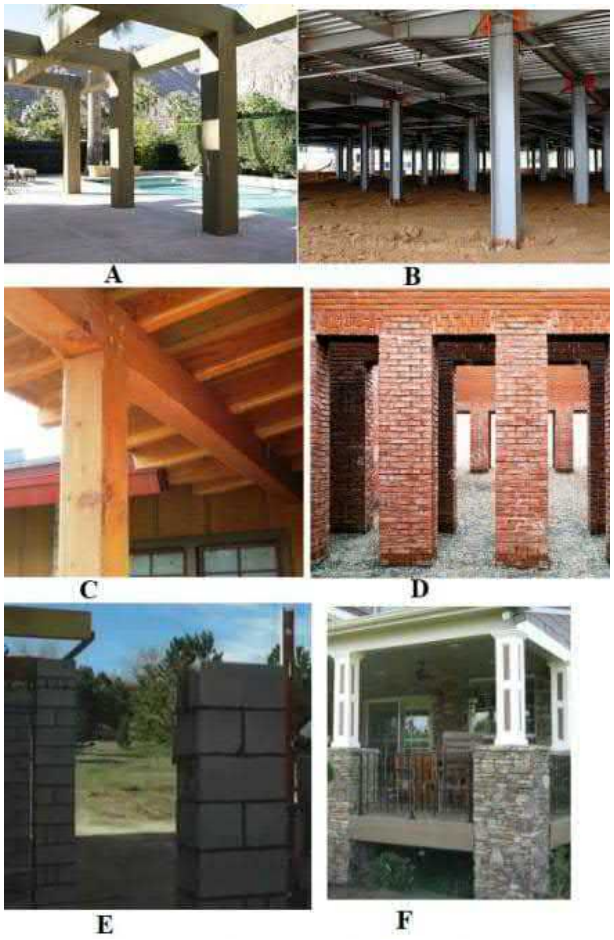
  Bentuk biasa dari kolom komposit ditunjukkan pada Gambar berikut. Kolom ini umumnya memiliki variasi bentuk penampang persegi, persegi panjang dan lingkaran.

Gambar 2.2 Jenis-jenis Kolom Komposit

4. Berdasarkan Bahan Konstruksi

   - Beton Bertulang, Baja, Kayu, Bata, Blok, dan Batu Kolom.

Gambar berikut menunjukkan berbagai bentuk kolom berdasarkan bahan konstruksinya yang meliputi kolom beton bertulang, baja, kayu, bata, blok, dan batu.



Gambar 2.3 Jenis Kolom Berdasarkan Bahan Konstruksi

2.1.2 Rasio Penulangan Kolom

Pembatasan jumlah tulangan komponen kolom agak sukar jika dibandingkan dengan komponen balok yang lebih mudah dikarenakan beban aksial tekan lebih dominan sehingga keruntuhan tekan sulit dihindari. Jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan ρg antara 0,01 dan 0,08. Penulangan yang lazim dilakukan diantara 1,5% sampai 3% dari luas penampang kolom.

Pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.6 menetapkan bahwa jarak bersih antara batang tulangan pokok memanjang kolom berpengikat sengkang atau spiral

tidak boleh kurang dari 1,5 db atau 40 mm. Persyaratan jarak tersebut juga harus dipertahankan di tempat – tempat sambungan lewatan batang tulangan. Tebal minimum selimut beton pelindung tulangan pokok memanjang untuk kolom berpengikat spiral maupun sengkang dalam SK SNI T-15-1991-03 ditetapkan tidak boleh kurang dari 40 mm.

Cek rasio penulangan memanjang dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini.

$$\rho g = Ast/Ag$$

$$0,01 < \rho g < 0,08$$

Dimana, ρg = rasio penulangan memanjang

Ast = luas total penampang penulangan memanjang (mm2)

Ag = luas kotor penampang lintang kolom (mm2)

Semua batang tulangan pokok harus dilingkup dengan sengkang dan kait pengikat lateral, paling sedikit dengan batang D10. Batasan minimum tersebut diberlakukan untuk kolom dengan tulangan pokok memanjang batang D32 atau lebih kecil, sedangkan untuk diameter tulangan pokok lebih besar lainnya, umumnya sengkang tidak kurang dari batang D12, dan untuk semuanya tidak menggunakan ukuran yang lebih besar dari batang D16. Jarak spasi tulangan sengkang p.k.p tidak lebih dari 16 kali diameter tulangan pokok memanjang, 48 kali diameter tulangan sengkang, dan dimensi lateral terkecil (lebar) kolom. Selanjutnya disyaratkan bahwa tulangan sengkang atau kait pengikat harus dipasang dan diatur sedemikian rupa sehingga sudut – sudutnya tidak dibengkokkan dengan sudut lebih dari 135O. Sengkang dan kait pengikat harus cukup untuk menopang batang tulangan pokok memanjang, baik yang letaknya di pojok maupun di sepanjang sisi ke arah lateral. Untuk itu batang tulangan pokok memanjang harus di pasang dengan jarak bersih antaranya tidak lebih dari 150 mm di sepanjang sisi kolom agar dukungan lateral dapat berlangsung dengan baik.

Persyaratan detail penulangan spiral tercantum pada SK SNI T-15-1991-03 dimana diameter minimum batang adalah D10, dan umumnya tidak menggunakan lebih besar dari batang D16. Jarak spasi bersih spiral tidak boleh lebih dari 80 mm dan tidak kurang dari 25 mm. Pada setiap ujjung kesatuan tulangan spiral harus

ditambahkan panjang penjangkaran 1,50 kali lilitan. Apabila memerlukan penyambungan, harus dilakukan dengan sambungan lewatan sepanjang 48 kali diameter dan tidak boleh kurang dari 300 mm, bila perlu diperkuat dengan menggunakan pengelasan. Keseluruhan penulangan spiral harus dilindungi dengan selimut beton paling tidak setebal 40 mm, yang di cor menyatu dengan beton bagian inti. Rasio penulangan spiral ρs tidak boleh lebih dari persamaan berikut ini.

ρs minimum = 0,45 (Ag/Ac-1) fc'/fy

dimana, ρs = volume tulangan spiral 1 putaran dibagi volume inti kolom setinggi s

S = Jarak spasi tulangan spiral p.k.p (pitch)

Ag = luas penampang lintang kotor dari kolom

Ac = luas penampang lintang inti kolom (tepi luar ke tepi luar spiral)

Fy = tegangan luluh tulangan baja spiral, tidak lebih dari 400 Mpa

2.2 Kelangsingan Kolom

Kolom beton bertulang sulit untuk dianalisis dan disesain karena sifat komposit pada materialnya, keadaan rumit tegangan yang diakibatkan beban aksial dan lentur, serta karena beban aksial tekan yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk. Ada dua jenis kolom beton bertulang, yaitu yang bertulangan spiral dan biasanya berpenampang lingkaran, dan yang bersengkang dan biasanya berpenampang persegi panjang. Spiral dan sengkang berfungsi memegang tulangan memanjang dan mencegah pemisahan dan tekuk tulangan itu sendiri. Kolom bertulangan spiral mempunyai perilaku yang lebih diinginkan pada keadaan yang dekat gagal, dan dalam memikul beban lateral, dibandingkan dengan yang bersengkang, meskipun yang disebut terakhir ini lebih murah dan mudah dibuat. Perilaku yang berbeda ini diwujudkan dengan penggunaan harga-harga f yang berbeda pada cara desain kekuatan batas. (Daniel L. Schodeck, 1999:285)

Selain itu kolom merupakan komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi tiga yang digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan (SNI 03-2847-2002). Kolom dibedakan menjadi dua, kolom dengan pengaku dan kolom tanpa pengaku. Bila dalam suatu bangunan selain portal terdapat dinding–dinding atau struktur inti yang memiliki gaya yang

relatif tinggi dibanding dengan portal, maka struktur demikian dikatakan struktur dengan pengaku.

Kolom dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu:

1. Kolom pendek (*short column*) yang kemampuannya dipengaruhi oleh kekuatan material dan bentuk geometri dari potongan melintang dan tidak dipengaruhi oleh panjang kolom karena defleksi lateral (lendutan ke samping) yang terjadi sangat kecil (tidak signifikan) dan bisa menerima beban mencapai leleh.
2. Kolom sedang yaitu kolom yang isoplastis. Artinya dapat berubah sesuai keadaan lingkungan.
3. Kolom langsing (*slender column*) yaitu kolom yang kekuatannya akan terkurangi dengan adanya defleksi lateral. Kolom langsing dapat menjadi kolom pendek bila dipasangi lateral bracing ataupun dipasangi diafragma. Kolom langsing akan rusak karena tekuk dan faktor tekuk sangat menentukan kekuatan kolom.

2.2.1 Kolom Penampang Persegi

a. Kolom dengan pengaku (Tidak bergoyang)

Pada perencanaan kolom, harus memperhitungkan faktor kelangsingan. Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, faktor kelangsingan boleh diabaikan apabila memenuhi persamaan :

$$\frac{k \times lu}{r} \leq (34-12) \times \frac{m1}{m2}$$

r = 0.3 h Untuk kolom bentuk persegi

Dalam hal ini: k = Faktor panjang

Lu = Panjang bersih kolom

r = Radius girasi

Perhitungan Nilai k

1) Perhitungan Momen Inersia Penampang Kolom

$$I = 1/12 * b * h^3$$

2) Perhitungan Modulus Elastisitas Beton

$$Ec = 4700 \times \sqrt{fc}$$

3) Perhitungan Rasio Beban Berfaktor

$$\beta_d = \frac{momen\ beban\ mati\ rencana}{momen\ total\ rencana} \leq 1$$

4) Perhitungan Kekakuan Lentur komponen struktur tekan

$$EI = \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

5) Perhitungan Rasio Kekakuan Balok dan Kolom

$$\psi A = \frac{EIkolom / L}{EIbalok / L}$$

6) Faktor Panjang Kolom

Nilai faktor panjang kolom diperoleh dari diagram nomogram SK SNI T-15-1991-03. Apabila nilai yang diperoleh dari nomogram tidak terpenuhi, maka faktor kelangsingan perlu diperhitungkan, dalam hal ini gaya momen hasil dari statika perlu dikoreksi (diperbesar). Pembesaran momen menurut SK SNI T-15-1991-03 dihitung menggunakan persamaan :

$$Mc = \delta ns\ M2$$

$$\delta ns = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0.75 \times Pc}} \geq 1.0$$

$$Pc = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times lu)^2}$$

$$Cm = 0.6 + 0.4 \frac{m1}{m2} \geq 0.4$$

$$M2\ min = Pu\ (0.6 + 0.03h)$$

b. Kolom tanpa pengaku (Bergoyang)

Faktor kelangsingan pada struktur kolom tanpa pengaku adalah :

$$\frac{k \times Lu}{r} < 22$$

Pembesaran momen pada kolom tanpa pengaku menggunakan persamaan :

$$Mc = M + \delta nsM$$

$$\delta ns = \frac{1}{(1-Q)}.$$

Untuk kolom tanpa pengaku, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap kestabilan kolom dengan menggunakan persamaan :

$$Q = ((1 + \beta d) \text{ x } Q1) \leq 0.6$$

Dalam hal ini: Mc = Momen koreksi

M2 = Momen terbesar hasil statika

δns = Faktor pembesar momen untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan ke samping

Cm = Faktor koreksi momen

Pc = Beban kritis

EI = Kekakuan lentur komponen struktur tekan

Pu = Beban aksial terfaktor

Q = Stabilitas Index

βd = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum

Ec = Modulus Elastisitas Beton

ψ = Rasio Kekakuan Balok dan Kolom

βd = Rasio Beban Berfaktor

2.2.2 Kolom Penampang Bulat/Lingkaran

a. Kolom dengan pengaku (Tidak bergoyang)

Pada perencanaan kolom, harus memperhitungkan faktor kelangsingan. Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, faktor kelangsingan boleh diabaikan apabila memenuhi persamaan :

$$\frac{k \times lu}{r} \leq (34-12) \times \frac{m1}{m2}$$

r = 0.25 D Untuk kolom bentuk lingkaran

Dalam hal ini: k = Faktor panjang kolom

Lu = Panjang bersih kolom

r = Radius girasi

Perhitungan Nilai k

1) Perhitungan Momen Inersia Penampang Balok dan Kolom berdasarkan SNI 2002 pasal 12.11

$$I = 1/64 * \pi * D^4$$

2) Perhitungan Modulus Elastisitas Beton berdasarkan SNI 2002 pasal

$$Ec = 4700 \times \sqrt{fc}$$

3) Perhitungan Rasio Beban Berfaktor

$$\beta_d = \frac{momen\ beban\ mati\ rencana}{momen\ total\ rencana} \leq 1$$

4) Perhitungan Kekakuan Lentur komponen struktur tekan

$$EI = \frac{0.4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

5) Perhitungan Rasio Kekakuan Balok dan Kolom

$$\psi A = \frac{EIkolom / L}{EIbalok / L}$$

6) Faktor Panjang Kolom

Nilai faktor panjang kolom diperoleh dari diagram nomogram SNI 03-2847-2002. Apabila nilai yang diperoleh tidak terpenuhi, maka faktor kelangsingan perlu diperhitungkan, dalam hal ini gaya momen hasil dari statika perlu dikoreksi (diperbesar). Pembesaran momen berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dihitung menggunakan persamaan :

$$Mc = \delta ns\ M2$$

$$\delta ns = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0.75 \times Pc}} \geq 1.0$$

$$Pc = \frac{\pi^2 \times EI}{k \times lu}$$

$$Cm = 0.6 + 0.4\ \frac{m1}{m2} \geq 0.4$$

$$M2\ min = Pu\ (0.6 + 0.03h)$$

b. Kolom tanpa pengaku (Bergoyang)

Faktor kelangsingan pada struktur kolom tanpa pengaku adalah :

$$\frac{k \times Lu}{r} < 22$$

Pembesaran momen pada kolom tanpa pengaku menggunakan persamaan :

$$Mc = M + \delta nsM$$

$$\delta ns = \frac{1}{(1 - Q)}$$

Untuk kolom tanpa pengaku, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap kestabilan kolom dengan menggunakan persamaan :

$$Q = ((\ 1 + \beta d\ )\ x\ Q1) \leq 0.6$$

Dalam hal ini: Mc = Momen koreksi

M2 = Momen terbesar hasil statika

Δns = Faktor pembesar momen untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan ke samping

Cm = Faktor koreksi momen

Pc = Beban kritis

EI = Kekakuan lentur komponen struktur tekan

Pu = Beban aksial terfaktor

Q = Stabilitas Index

βd = Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum

Ec = Modulus Elastisitas Beton

ψ = Rasio Kekakuan Balok dan Kolom

βd = Rasio Beban Berfaktor.

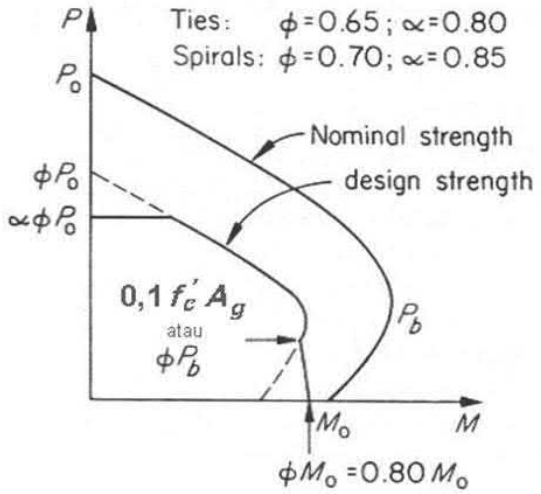
2.3 Diagram Interaksi Kolom

Beban yang bekerja pada kolom, biasanya berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang mampu ditahan oleh kolom bergantung pada ukuran/dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang ada atau terpasang pada kolom tersebut. Hubungan antara beban aksial dan momen lentur digambarkan dalam suatu diagram yang disebut diagram interaksi kolom M - N, yaitu dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Diagram interaksi kolom dibuat dengan pertolongan dua buah sumbu (yaitu sumbu vertikal dan sumbu horizontal) yang saling berpotongan dan tegak lurus sesamanya. Sumbu vertikal menggambarkan besar beban aksial P atau gaya normal N, sedangkan sumbu horizontal menggambarkan besar momen lentur M yang dapat ditahan oleh kolom. Prosedur pembuatan diagram interaksi kolom dilaksanakan dengan memperhitungkan kekuatan kolom berdasarkan 5 kondisi beban pada suatu penampang kolom dan juga untuk mempermudah dapat menggunakan program bantuan komputer yang dinamakan PCA Coloumn. Diagram interaksi kolom ini juga menghasilkan beban aksial nominal (Pn) dan beban momen nominal (Mn) yang mampu ditahan oleh kolom.

Desain maupun analisis pada kolom ditempuh dengan cara membuat suatu diagram interaksi antara momen pada ordinat dan gaya aksial pada aksis. Diagram interaksi menggambarkan interaksi antara momen dan aksial dalam berbagai variasi sehingga membentuk suatu grafik. Ada tiga titik utama pada diagram interaksi yaitu

1. Gaya aksial saja : harga momen nol dan harga aksial maksimum
2. Keadaan seimbang : kehancuran pada beton dan baja terjadi secara bersamaan
3. Lentur murni : harga aksial nol



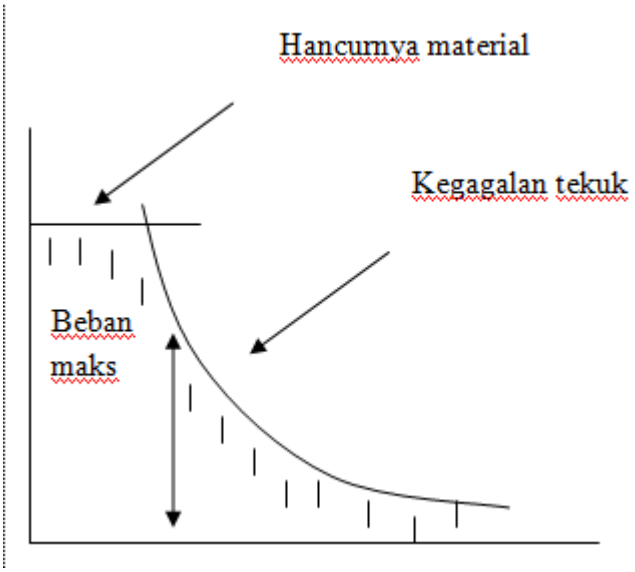
Gambar 2.4 Grafik Interaksi P dan M

Kolom dikatakan mampu menahan beban yang bekerja apabila nilai beban aksial perlu sebesar Pu dan beban momen perlu sebesar Mu yang sudah diplotkan pada sumbu diagram, titik potongnya berada di dalam diagram interaksi. Tetapi sebaliknya jika titik potongnya berada diluar diagram interaksi, maka kolom tersebut tidak mampu menahan beban yang bekerja. (Ali Asroni, 2010:17-18).

2.4 Tekuk Kolom

Kolom panjang yang mempunyai kekakuan lebih besar terhadap satu sumbu (sumbu kuat) dibandingkan dengan terhadap sumbu lainnya (sumbu lemah) akan menekuk terhadap sumbu lemah.

Kondisi ujung sangat mempengaruhi besar beban kritis. Apabila kedua kolom identik, hanya berbeda kondisi ujungnya, maka kolom yang mempunyai ujung jepit dapat memikul beban lebih besar daripada kolom yang berujung sendi. Hubungan umum antara panjang kolom dengan beban tekuk. Kegagalan pada kolom pendek adalah kehancuran material, sedangkan kegagalan pada kolom panjang adalah karena tekuk. Semakin panjang suatu kolom, semakin kecil kapasitas pikul bebannya.



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Panjang Kolom dan Beban Tekuk

- Leondhart Euler (1759) – batang dengan beban konsentris yang semula lurus dan semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi akan mengalami lengkungan yang kecil.
- Considere dan Esengger (1889) – kolom dengan panjang yang umum akan hancur akibat tekuk inelastic dan bukan akibat tekuk elastic
- Shanley (1946) – kolom masih mampu memikul beban aksial yang lebih besar walaupun telah melentur, tetapi kolom mulai melentur pada saat mencapai beban yang disebut beban tekuk

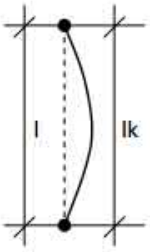
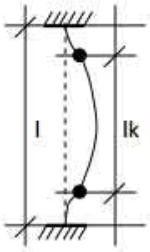
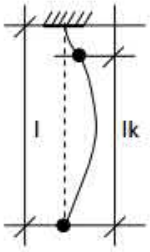
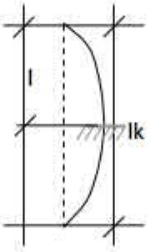
$$\sigma_{cr} = \frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E_t}{(KL/r)^2}$$

Dimana : $\sigma_{cr} = \frac{P}{A}$ = tegangan rata-rata pada penampang

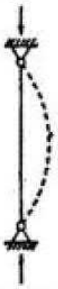
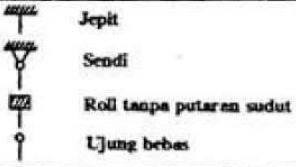
E t = modulus tangent pada P/A

KL/r = angka kelangsingan effektif (ujung sendi ekivalen)

Tabel 2.1 Garis Lentur Akibat Tekuk Berdasarkan Jenis Perletakan

Jenis	Sendi-Sendi	Jepit-Jepit	Jepit-Sendi	Bebas-Jepit
l				
lk	= l	= ½ l	= 0.7 l	= 2 l
P_{cr}	$\frac{\pi^2 . EI}{l^2}$	$\frac{\pi^2 . EI}{\left(\frac{1}{2}l\right)^2}$	$\frac{\pi^2 . EI}{(0{,}7l)^2}$	$\frac{\pi^2 . EI}{(2l)^2}$

Keterangan : l = panjang sistim
lk = panjang tekuk

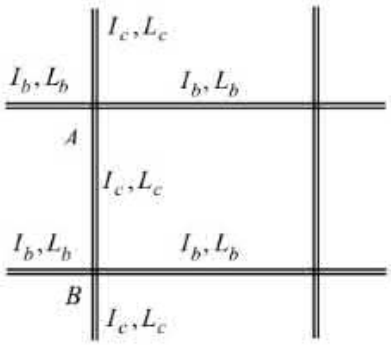
Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Nilai k_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai k_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

Untuk kolom pada struktur portal, faktor panjang tekuknya (k) dipengaruhi oleh nilai G pada ujung-ujung kolom. Nilai G pada salah satu ujung adalah ratio jumlah kekakuan semua kolom terhadap jumlah kekakuan semua balok yang bertemu di ujung tersebut yang ditulis dengan rumus :

$$G_A = \frac{\sum(I_{cA} / L_{cA})}{\sum(I_{bA} / L_{bA})}$$

$$G_B = \frac{\sum(I_{cB} / L_{cB})}{\sum(I_{bB} / L_{bB})}$$

$$Lk = k \, . \, L$$



Gambar 2.6 Kolom dan Balok Portal

I_{CA} = Momen inersia kolom yang bertemu di titik A

I_{CB} = Momen inersia kolom yang bertemu di titik B

L_{CA} = Panjang kolom yang bertemu di titik A

L_{CA} = Panjang kolom yang bertemu di titik B

I_{BA} = Momen inersia balok yang bertemu di titik A

I_{BB} = Momen inersia balok yang bertemu di titik B

L_{BA} = Panjang balok yang bertemu di titik A

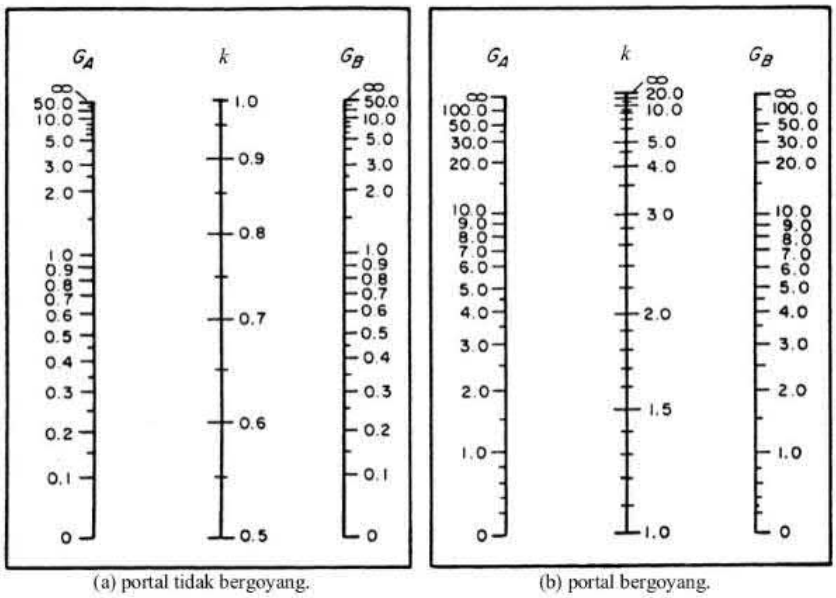
L_{BB} = Panjang balok yang bertemu di titik B

Untuk tumpuan jepit, nilai G = 1

Untuk tumpuan sendi, nilai G = 10

Faktor panjang tekuk (k) dihitung dengan memasukkan nilai G kedua ujung-ujungnya pada nomogram gambar dibawah ini. Dari kedua titik nilai G tersebut ditarik garis yang memotong garis skala k. Titik potong ini menunjukkan nilai k dari kolom tersebut. Perlu diperhatikan bahwa ada dua nomogram, yaitu untuk

struktur tak bergoyang dan untuk struktur bergoyang. Struktur tak bergoyang artinya jika ujung-ujung dari kolom yang ditinjau dapat berpindah kearah lateral.



Gambar 2.7 Nomogram Faktor Panjang Tekuk Kolom Portal

2.5 Daktilitas Struktur

Menurut Standar SK SNI T-15-1991-03 daktilitas suatu struktur pada hakekatnya adalah perbandingan antara simpangan maksimum rencana dengan simpangan luluh awal pada komponen struktur yang ditinjau. Standar ini menetapkan tingkatan daktilitas rencana untuk struktur beton bertulang , yang dibagi dalam tiga kelas sebagai berikut :

a. Tingkat daktilitas 1 :

Struktur beton bertulang diproporsikan sedemikian rupa sehingga ketentuan tambahan atas penyelesaian detail struktur hanya sedikit. Struktur sepenuhnya berperilaku elastis, $\mu = 1$ (dimana μ adalah daktilitas simpangan struktur). Beban gempa rencana harus dihitung berdasarkan faktor K = 4 (K adalah faktor jenis struktur, suatu konstanta yang menggambarkan kemampuan respons inelastik struktur akibat bekerjanya beban gempa. Merupakan fungsi tipe struktur dan kemampuan daktilitas bahan komponen yang bertugas sebagai pemencar energi. Semakin tinggi nilai K, semakin rendah kemapuan daktilitasnya).

b. Tingkat daktilitas 2 :

Struktur beton bertulang diproporsikan berdasarkan suatu ketentuan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respons inelastik terhadap beban siklis yang bekerja tanpa meengalami keruntuhan getas, μ = 2. Kondisi demikian dinamakan juga sebagai daktilitas terbatas. Dalam hal ini, beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai faktor K minimum = 2.

c. Tingkat daktilitas 3 :

Struktur beton bertulang diproporsikan berdasarkan suatu ketentuan penyelesaian detai khusus yang memungkinkan struktur memberikan respons inelastik terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme terbentuknya sendi – sendi plastis dengan kapasitas dispasi energi yang diperlukan tanpa mengalami keruntuhan, μ = 4. Kondisi ini dinamakan juga sebagai daktilitas penuh. Dalam hal demikian beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai faktor K minimum = 1. Struktur dengan tingkat daktilitas 3 , maka kuat lentur minimum kolom harus memenuhi persamaan berikut:

$M_{u,k} \geq 1{,}05 \left(M_{D,\,k} + M_{L,k} + \omega d \; K \; M_{E,\,k} \right)$

Gaya aksial rencana yang bekerja pada kolom sebagai berikut :

$N_{u,k} \geq 1{,}05 \left(N_{D,\,k} + N_{L,k} + \omega d \; K \; N_{E,\,k} \right)$

Pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis. Hal ini terjadi karena adanya beberapa pengertian yang timbul. Pengertian daktilitas dapat ditinjau dari tiga jenis metode perhitungan. Daktilitas dapat ditinjau dari segi tegangan (*strain*), Lengkungan (*curvature*), dan Lendutan (*displacement*).

a. Daktilitas Tegangan (*Strain Ductility*)

Pengertian dasar dari daktilitas adalah kemampuan dari material/ struktur untuk menahan tegangan plastis tanpa penurunan yang drastis dari tegangan. Daktilitas tegangan dapat diberikan dengan hubugan :

$$\mu_\varepsilon = \frac{\in}{\in y}$$

Dimana ∈ adalah total tegangan yang terjadi dan ∈y adalah tegangan pada saat leleh. Daktilitas yang sangat berpengaruh pada struktur dapat tercapai pada panjang tertentu pada salah satu bagian dari struktur tersebut. Jika tegangan inelastik

dibatasi dengan panjang yang sangat pendek, maka akan terjadi penambahan yang besar pada daktilitas tegangan. Daktilitas tegangan merupakan daktilitas yang dimiliki oleh material yang digunakan.

b. Daktilitas Lengkungan (*Curvature Ductility*)

Pada umumnya sumber yang paling berpengaruh dari lendutan struktur inelastis adalah rotasi pada sambungan plastis yang paling potensial. Sehingga, ini sangat berguna untuk menghubungkan rotasi per unit panjang (*curvature*) dengan moment bending ujung. Daktilitas lengkungan maksimum dapat ditunjukan sebagai berikut,

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi m}{\phi y}$$

Dimana ϕm adalah lengkungan maksimum yang akan timbul dan φy adalah lengkungan pada saat leleh. Daktilitas kurvatur ini merupakan daktilitas yang diberikan oleh penulangan struktur.

c. Daktilitas Lendutan (*Displacement Ductility*)

Daktilitas lendutan biasanya digunakan pada evaluasi struktur yang diberikan gaya gempa. Daktilitas lendutan didefinisikan oleh rasio dari total lendutan yang terjadi dengan lendutan pada awal titik leleh (*yield point*) u_y.

$$\mu_{\Delta} = \frac{u}{uy} > 1$$

Dimana u = uy + up . Lendutan pada titik leleh (uy) dan pada titik plastik (up) penuh adalah komponen-komponen dari total lendutan ujung lateral.

2.6 Pembebanan

Pada perencanaan jembatan ini, dipakai peraturan perencanaan teknik jembatan (SNI 1725:2016). Berdasarkan peraturan yang digunakan, sebuah struktur jembatan harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut :

1. Beban Primer
    a. Beban mati

b. Beban hidup

2. Beban Lalu Lintas
   a. Lajur lalu lintas rencana
   b. Beban lajur “D”
   c. Beban truk “T”
   d. Faktor beban dinamis
   e. Gaya rem
3. Aksi Lingkungan
   a. Pengaruh Temperatur
   b. Beban angin
   c. Pengaruh gempa

2.6.1 Beban Primer

Beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan **(SNI 1725:2016).**

2.6.1.1 Beban Mati

Semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m³)	Kerapatan massa (kg/m³)
1	Lapisan permukaan beraspal (*bituminous wearing surfaces*)	22,0	2245
2	Besi tuang (*cast iron*)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (*compacted sand, silt or clay*)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (*rolled gravel, macadam or ballast*)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (*asphalt concrete*)	22,0	2245
6	Beton ringan (*low density*)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0{,}022\ f'_c$	$2240 + 2{,}29\ f'_c$
8	Baja (*steel*)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (*hard wood*)	11,0	1125

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{MS})		Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{MS})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

2.6.1.2 Beban Hidup

Semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

2.6.2 Beban Lalu Lintas

Seluruh beban hidup, arah vertikal dan horizontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan.

2.6.2.1 Lajur Lalu Lintas Rencana

Secara umum, Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (*w*) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.15 Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.4 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (*n*)
Satu Lajur	3000 ≤ w < 5250	1
Dua Arah, tanpa Median	5250 ≤ w < 7500	2
	7500 ≤ w < 10,000	3
	10,000 ≤ w < 12,500	4
	12,500 ≤ w < 15,250	5
	w ≥ 15,250	6
Dua Arah, dengan Median	5500 ≤ w ≤ 8000	2
	8250 ≤ w ≤ 10,750	3
	11,000 ≤ w ≤ 13,500	4
	13,750 ≤ w ≤ 16,250	5
	w ≥ 16,500	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang. Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

Berdasarkan Tabel 2.15, bila lebar bersih jembatan berkisar antara 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

2.6.2.2 Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 24. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.16

Tabel 2.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^{S})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^{U})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut :

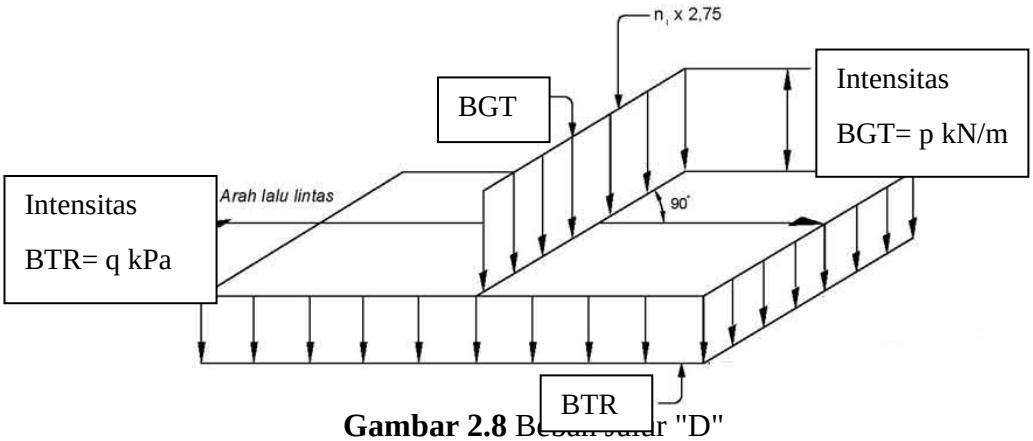
Jika $L \leq 30$ m, maka q = 9,0 kPa

Jika L > 30m, maka $q = 9{,}0\ (0{,}5 + \frac{15}{L})\ kPa$

Keterangan:

q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L adalah panjang jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 2.8 Beban lajur "D"

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan =tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

2.6.2.3 Beban Truk “T”

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Bebantruk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.17.

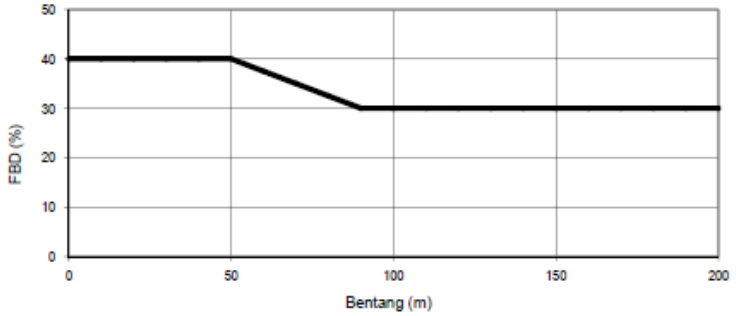
Tabel 2.6 Faktor Beban untuk Beban "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^{S})	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^{U})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

2.6.2.4 Faktor Beban Dinamis

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan.

Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.



Gambar 2.9 Faktor Beban Dinamis untuk Beban "T" untuk Pembebanan Lajur "D"

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada untuk menghitung gaya rem pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.7 Faktor Kepadatan Lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	Faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

2.6.3 Aksi Lingkungan

2.6.3.1 Pengaruh Temperatur

Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 8 Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.19 harus digunakan sebagai *Tmindesign* dan *Tmaxdesign.*

Tabel 2.8 Sifat Bahan Rata-Rata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12 x 10^{-6} per °C	200.000
Beton: Kuat tekan <30 MPa Kuat tekan >30 MPa	 10 x 10^{-6} per °C 11 x 10^{-6} per °C	 4700√fc' 4700√fc'

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut :

$$\Delta T = \alpha.L\ (T\text{max } design - T\text{min } design)$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/ºC)

Tabel 2.9 Temperatur Rata – Rata Jembatan

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum	Temperatur jembatan rata-rata
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

2.6.3.2 Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (*VB*) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap

arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, *VDZ*, harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2{,}5\,V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)$$

Keterangan :

VDZ adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V10 adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

VB adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti table dibawah

Z adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung (Z > 10000 mm)

Vo adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Zo adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 9 (mm)

V10 dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- survei angin pada lokasi jembatan, dan.
- jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa *V10* = *VB* = 90 s/d 126 km/jam.

Tabel 2.10 Nilai V0 dan Z0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z0 (mm)	70	1000	2500

2.6.3.3 Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (*Csm*) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (*Rd*) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respons elastik *Csm* diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu factor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan nonkonvensional.

Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan. Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong

persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan keadaan tanah (misalnya likuifaksi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2016 *Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.*

a. Bahaya Gempa

Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakterisasi dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai.

Respon spektra percepatan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum atau berdasarkan prosedur spesifik situs. Prosedur spesifik situs dilakukan jika terdapat kondisi sebagai berikut:

- Jembatan berada dalam jarak 10 km dari patahan aktif
- Situs termasuk dalam kategori situs kelas F sesuai tabel ..

Bila riwayat percepatan digunakan untuk karakterisasi bahaya gempa pada situs tertentu, maka riwayat percepatan tersebut harus sesuai dengan aturan riwayat waktu percepatan.

b. Prosedur umum

Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak batuan dasar (*PGA*) dan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili *level hazard* (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Penjelasan untuk masing – masing peta dapat dilihat pada Tabel 2.11

Tabel 2.11 Penjelasan Peta Gempa

No	Nomor Gambar	Level Gempa	Keterangan
1	Gambar 1	7 % dalam 75 tahun (gempa ≈ 1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 2		Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (Ss)
3	Gambar 3		Peta respons spektra percepatan 1,0 detik di batuan dasar (St)

c. Definisi kelas situs

Klasifikasi situs pada pasal ini ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium sesuai Tabel dibawah ini.

Tabel 2.12 Kelas Situs

Kelas Situs	$\overline{V}_s$ (m/s)	$\overline{N}$	$\overline{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\overline{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \overline{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \overline{V}_s \leq 750$	$\overline{N} > 50$	$\overline{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \overline{V}_s \leq 350$	$15 \leq \overline{N} \leq 50$	$50 \leq \overline{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\overline{V}_s < 175$	$\overline{N} < 15$	$\overline{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20, 2. Kadar air (w) ≥ 40%, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\overline{S}_u$ < 25 kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) - Plastisitas tinggi (ketebalan H > 7,5m dengan PI > 75) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan H > 35m		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

Disarankan menggunakan sedikitnya 2 jenis penyelidikan tanah yang berbeda dalam pengklasifikasian jenis tanah ini. Pada Tabel .. $\bar{V}$s, $\bar{N}$, dan $\bar{S}$u adalah nilai rata – rata berbobot cepat rambat gelombang geser, hasil uji penetrasi standar, dan kuat geser tak terdrainase dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya dan harus dihitung menurut persamaan – persamaan berikut ini.

Keterangan :

ti : tebal lapisan tanah ke i

Vsi : kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke i

Ni : nilai hasil ujinpenetrasi standar lapisan tanah ke i

Sui : kuat geser tak terdrainase lapisan tanah ke i

m : jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar

$\sum_{i=1}^{m} ti$: 30 m

d. Faktor Situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek (T=0,2 detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (Fv). Tabel 2.24 dan Tabel 2.25 menunjukan nilai – nilai F_{PGA}, F_a dan F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 2. 13 Faktor Amplikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 $S_s \leq 0.25$	PGA = 0,2 $S_s = 0.5$	PGA = 0,3 $S_s = 0.75$	PGA = 0,4 $S_s = 1.0$	PGA > 0,5 $S_s \geq 1.25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

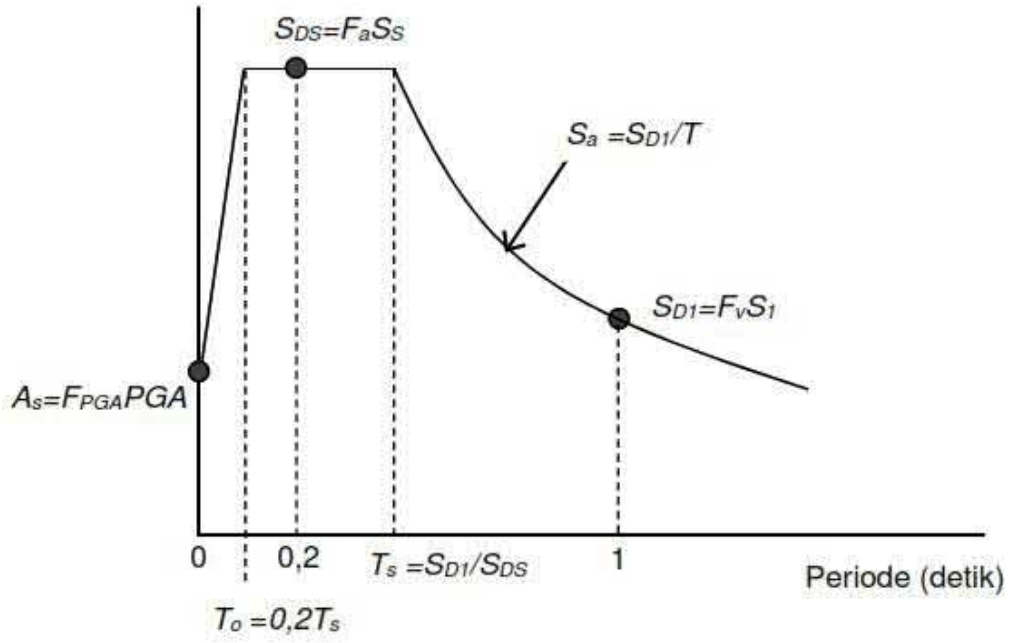
Tabel 2.14 Besarnya nilai faktor amplikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

e. Respon Spektra Rencana

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan **(Gambar 2.21)**



Gambar 2.10 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengaju pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PGA,Ss dan S_1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA}, Fa, Fv. Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut :

As = F_{PGA} x PGA

S_{DS} = Fa x Ss

S_{D1} = Fv x S_1

f. Koefisien Respon Gempa Elastik

- Untuk periode lebih kecil dari T_0, koefisien respons gempa elastik (Csm) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s)\frac{T}{T_0} + A_s$$

- Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0, dan lebih kecil atau sama dengan T_{s1} respons spektra percepatan, C_{sm} adalah sama dengan Sps.
- Untuk periode lebih besar dari Ts, koefisen respons gempa elastik.

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

S_{DS} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek (T=0,2 detik)

S_{D1} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

$T_0 = 0.2\ T_S$

$TS = \frac{SD1}{SDS}$

Penggunaan masing – masing persamaan dapat membentuk respons spektra di permukaan seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.10.**

g. Klasifikasi Operasional

Pemilik pekerjaan atau pihak yang berwenang harus dapat mengklasifikasikan jembatan ke dalam satu dari tiga kategori sebagai berikut :

- Jembatan sangat penting (*critical bridges*).
- Jembatan penting (*essential bridges*) atau
- Jembatan lainnya (*other bridges*)

Jembatan penting harus dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan / pertahanan beberapa hari setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun). Untuk jembatan sangat penting, maka jembatan harus dapat dilalui oleh semua jenis kendaraan (lalu lintas normal) dan dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan

untuk kepentingan keamanan / pertahanan segera setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun.

h. Kategori Kinerja Seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{P1}) sesuai :

Tabel 2.15 Kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan metode analisis, panjang tumpuan minimum, detail perencanaan kolom, serta prosedur desain fondasi dan kepala jembatan.

Tabel 2.15 Zona gempa

Koefisien percepatan	**Zona gempa**
$S_{D1} \leq 0{,}15$	1
$0{,}15 \leq S_{D1} \leq 0{,}30$	2
$0{,}30 \leq S_{D1} \leq 0{,}50$	3
$S_{D1} > 0{,}50$	4

Untuk penggunaan faktor modifikasi respon pada pasal ini maka pendetailan struktur harus sesuai dengan ketentuan pada SNI 2833:2016 Pembebanan Gempa untuk Jembatan

Gaya gempa rencana pada banggunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R) sesuai dengan **Tabel 2.27 dan Tabel 2.28.** Sebagai alternatif penggunaan faktor R pada **Tabel 2.28** untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke fondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan.

Apabila digunakan analisi dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respon (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 2.16 Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	**Kategori Kepentingan**		
	Sangat penting	**Penting**	**Lainnya**
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang / kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Catatan :

Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

Tabel 2.17 Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah

Hubungan elmen struktur	**Semua Kategori kepentingan**
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

i. Penggunaan

Gaya gempa harus diasumsikan untuk dapat bekerja dari semua arah lateral. Faktor modifikasi respon *(R)* yang sesuai harus digunakan di kedua arah sumbu ortogonal bangunan bawah. Pilar tipe dinding dapat dianalisis sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah.

j. Kombinasi pengaruh gaya gempa

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan harus dikombinasikan sehingga memiliki 2 tinjauan pembebanan sebagai berikut :

- 100% gaya gempa pada arah x dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah y.
- 100% gaya gempa pada arah y dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah x.

Sehingga apabila dengan memperhitungkan variasi arah maka kombinasi gaya gempa menjadi sebagai berikut :

1. $DL + \gamma_{EQ} LL \pm EQ_x \pm 0{,}3\ EQ_y$ **(13)**
2. $DL + \gamma_{EQ} LL \pm EQ_y \pm 0{,}3\ EQ_x$ **(14)**

Keterangan :

DL adalah beban mati yang bekerja (kN)

γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

γ_{EQ} = 0,5 (jembatan sangat penting)

γ_{EQ} = 0,3 (jembatan penting)

γ_{EQ} = 0 (jembatan lainnya)

LL adalah beban hidup yang bekerja (kN)

EQ_x adalah beban gempa yang bekerja pada arah *x*

EQ_y adalah beban gempa yang bekerja pada arah *y*

Jika gaya pada pondasi dan atau hubungan kolom ditentukan oleh mekanisme sendi plastis kolom, maka gaya yang dihasilkan ditentukan tanpa menggunakan kombinasi beban pada pasal ini. Sehinga “gaya hubungan kolom” diambil sebagai gaya geser dan momen yang dihitung dengan basis mekanisme sendi plastis. Gaya aksial diambil sebagai hasil dari kombinasi beban aksial dan berkaitan dengan mekanisme sendi plastis sebagai *EQ*. Bila pilar direncanakan sebagai kolo, pengecualian dilakukan pada sumbu lemah pilar dimana pengaruh gaya akibat sendi plastis digunakan kemudian kombinasi beban harus digunakan pada sumbu kuat pilar.

k. Perhitungan gaya gempa rencana

Jembatan dengan bentang tunggal di semua zona gempa, gaya gempa rencana minimum pada hubungan bangunan atas dan bangunan bawah harus tidak lebih kecil dari perkalian A_S dengan beban permanen struktur yang sesuai.

2.7 Kombinasi Pembebanan

Berikut kombinasi beban yang ditinjau menurut SNI 1725:2016 :

Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ EQ yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat

tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal

Layan I : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada goronggorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

Layan II : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

Layan III : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.

Layan IV : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

Tabel 2.18 Kombinasi Beban Berdasarkan SNI 1725:2016

No.	Jenis Beban	Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstream I	Ekstream II	Layan I	Layan II	Layan III	Layan IV
1	Berat sendiri (M_S)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	Beban mati tambahan (M_A)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	Beban lajur "D" (T_D)	√	√				√	√	√	√	√	
4	Gaya rem (T_B)	√	√				√	√	√	√	√	
5	Beban pejalan kaki (T_P)	√	√				√	√	√	√	√	
6	Beban angin struktur (E_{WS})			√	√	√			√			√
7	Beban angin kendaraan (E_{WL})					√			√			
8	Pengaruh Temperatur (E_T)	√	√	√	√	√			√	√	√	√
9	Beban gempa (E_Q)						√					

Tabel 2.19 Kombinasi dan Faktor Beban

Keadaan Batas	*MS MA TA PR PL SH*	*TT TD TB TR TP*	*EU*	EW_s	EW_L	*BF*	EU_n	*TG*	*ES*	*Gunakan salah satu*		
										EQ	*TC*	*TV*
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : - γ_p dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_{SH}$ tergantung beban yang ditinjau

- γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Struktur kolom titik P7 Jembatan Kali Kenteng pada Jalan Tol ruas Salatiga-Boyolali, telah dilakukan perhitungan untuk membandingkan gaya-gaya yang bekerja antara struktur jembatan menggunakan kolom berbentuk persegi dan kolom berbentuk bulat dengan menggunakan luas penampang dan mutu beton yang sama. Dari perbandingan tersebut, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Kolom persegi :

1. Ketinggian kolom yaitu 39.5 meter pada titik kolom P7
2. Mutu beton 30 MPa
3. Mutu baja 400 MPa
4. Tulangan Longitudinal menggunakan 24 batang baja D32
5. Tulangan sengkang mengunakan baja D13
6. Momen kolom bulat sebesar 60704.8718 kN-m yang terletak pada ujung bawah kolom
7. Gaya geser sebesar 2358.14 kN yang terletak pada titik 39.5 meter atau pada pertemuan antara kolom dan balok.

Sedangkan momen dan geser pada kolom bulat :

1. Ketinggian kolom yaitu 39.5 meter pada titik kolom P7
2. Mutu beton 30 MPa
3. Mutu baja 400 MPa
4. Tulangan longitudinal menggunakan 27 batang baja D32
5. Tulangan spiral menggunakan baja D13
6. Momen kolom sebesar 60685.1944 kN-m yang terletak pada titik 0 meter atau ujung bawah kolom
7. Gaya geser sebesar 2358.65 kN yang terletak pada titik 39.5 atau pertemuan antara kolom dan balok.

Berdasarkan perbandingan gaya – gaya dalam yang bekerja kolom Persegi menghasilkan gaya yang lebih besar dari kolom bulat tetapi relatif sama dan sedikit lebih besar dibandingkan kolom persegi dengan nilai momen selisih 19.67 kNm dan geser selisih 0.51 kN. Kolom persegi mempunyai momen sebesar 60704.8718 kNm dan geser sebesar 2358.14 kN dibandingkan kolom bulat yang mempunyai momen sebesar 60685.1944 kNm dan geser sebesar 2358.65 kN. Dari jumlah bahan terutama tulangan yang dihasilkan, kolom bulat mempunyai jumlah tulangan yang lebih banyak dibandingkan kolom persegi. Nilai faktor tekuk dan tegangan tekuk sama sehingga dapat dikatakan tidak ada pengaruh atau perubahan dari perbandingan tersebut.

Ditinjau dari nilai daktilitas tegangan dihasilkan nilai daktilitas yang relatif sama antara kolom persegi dan kolom bulat. Tegangan yang dihasilkan kolom persegi lebih tinggi daripada kolom bulat dengan selisih nilai tegangan antara kolom persegi dan kolom bulat bertambah apabila dimensi semakin kecil. Dari hasil analisa diatas dapat dikatakan bahwa kolom bulat merupakan kolom yang lebih efisien dibandingkan kolom pesegi.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini dapat diberikan saran yaitu perlu diadakan penelitian lanjutan tentang perbandingan antara kolom bulat dan kolom persegi, untuk semua titik kolom agar bisa mengetahui bagaimana gaya-gaya yang bekerja pada kolom-kolom tersebut. Apakah hasil perbandingannya sama atau berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Dipohusodo, Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia pustaka utama.

DPU. 2009. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga No.007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol. Jakarta

Farisi, M. L. (2012). Perbandingan Efisiensi Bahan Kolom Bulat dan Persegi pada Struktur Gedung Empat Lantai. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Teknik Sipil Universitas Jember.

Krisnamurti, dkk. (2013). Pengaruh Variasi Bentuk Penampang Kolom Terhadap Perilaku Elemen Struktur Akibat Beban Gempa. *Jurnal Rekayasa Sipil.* 7 (1), 13-27.

Kusuma, Gideon dkk. 1993. Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang jilid 1. Jakarta: Erlangga.

Longa, Nikolaus. (2015). Perencanaan Jembatan Beton Bertulang Balok T Sei Nyahing Kota Sendawar Kutai Barat Kalimantan Timur. *Skripsi*. Surabaya: Program Sarjana Teknik Sipil Universitas Narotama.

Mustofa, M. Hasan. (2019). Analisa Kolom Persegi dan Bulat pada Struktur Jembatan Kali Kendeng, Salatiga. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

Samang, L., A. Arwin & Ashadi Amir. (2013). Studi Keandalan Struktur Jembatan Sungai Tello (lama) Berdasarkan Beban Lalu Lintas Umum dan Trailer Super Berat dengan Metode *Moving Load*. *Jurnal Tugas Akhir*.

Santosa, A., dkk. (2015). Perencanaan Jembatan Prategang Kali Suru Pemalang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 1-12.

SK SNI T-15-1991-03, 1991, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk BangunanGedung, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum RI

SNI 02-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 2833:2016. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

SNI 1725:2016. Pembebanan untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Suweda, Wayan I. (2018). Analisis Pembebanan Lalu Lintas pada Perencanaan Jalan-Jalan Perintis. *Jurnal Spektran*, 6(1), 7-17.