

**ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA AKIBAT SUBSTITUSI MATERIAL
DENGAN METODE LRFD
(Studi kasus: PT. Avindo Bangun Gemilang)**

Rini Ariani¹, Muhamad Lutfi², Nurul Chayati²

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Ibn Khaldun Bogor
e-mail: arian.rien@yahoo.com

²⁾ Dosen Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Ibn Khaldun Bogor

ABSTRAK

ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA AKIBAT SUBSTITUSI MATERIAL DENGAN METODE LRFD. Material merupakan suatu bahan yang menjadi peranan utama dalam menyelesaikan suatu pengerjaan konstruksi. Baja dipilih karena mempunyai keunggulan dan kekuatan yang tinggi selain itu sudah dapat diproduksi di dalam negeri sesuai kebutuhan perencanaan sehingga memudahkan dalam pelaksanaan dan pengadaan material. Pembangunan Kawasan Industri Paiho yang berlokasi di Jalan Raya Pelabuhan Ratu Cibadak Sukabumi, pada perencanaan struktur awal yang tertuang dalam gambar kerja, dilaksanakan oleh Konsultan Perencana Taiwan yang mengacu pada ASTM, JIS, AISC, dan *Technical Rules & Regulations of Building ROC* serta menggunakan metode AISC – LRFD. Dimensi material yang dispesifikasikan dalam perencanaan disesuaikan dengan daerah tersebut dan ketika dikondisikan di Indonesia terjadi kelangkaan material khususnya baja, karena pengadaan material yang langka maka kontraktor memberikan tiga alternatif yaitu tetap memakai dimensi baja sesuai rencana dengan mengimpor dari Negara Vietnam, memesan material sesuai dengan dimensi pada gambar kerja ke perusahaan produsen baja di Indonesia dan mensubstitusi dimensi baja yang disesuaikan dengan pabrikasi di Indonesia. Dari ketiga pilihan tersebut yang dipilih adalah dengan mensubstitusi material. Analisis kekuatan struktur menggunakan metode LRFD (*Load Resistance and Factor Design*) dan berdasarkan SNI 03-1729-2002 yaitu Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung serta menggunakan program bantu komputer SAP2000. Berdasarkan analisis, struktur rangka baja kuda-kuda *frame* A dan J pada pemeriksaan momen kritis untuk tekuk lateral untuk tekuk lateral rangka baja rencana sebesar 235,056 kNm dan rangka baja realisasi sebesar 81,283 kNm. Pemeriksaan kuat rencana geser pada pelat badan rangka balok rencana 498,96 kNm (batang nomor 17 dan 22), status pemeriksaan aman digunakan dan rangka balok realisasi 483,31 kNm (batang nomor 17 dan 22), status pemeriksaan aman digunakan. Analisis struktur rangka baja pada pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan kolom rencana *frame* E dan F $0,059 \geq 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,29 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan kolom realisasi $0,024 \geq 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,015 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur kolom rencana $0,056 < 0,2$ status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,367 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur kolom realisasi $0,023 < 0,2$ status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,182 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi.

Kata kunci: LRFD, momen kritis, kuat rencana geser.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material merupakan suatu bahan yang menjadi peranan utama dalam menyelesaikan suatu pengerjaan konstruksi. Perkembangan material baja di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat penggunaannya. Baja dipilih karena mempunyai keunggulan dan kekuatan yang tinggi selain itu sudah dapat diproduksi di dalam negeri sesuai kebutuhan perencanaan sehingga memudahkan dalam pelaksanaan dan pengadaan material. Dilihat dari kaca mata bisnis, lirikan produsen besi baja dunia patut diacungi jempol. Hal ini bisa saja

merupakan pertanda bahwa industri besi baja nasional memiliki potensi dan peluang berkembang lebih besar lagi. Di dalam negeri, kebutuhan besi baja industri nasional belakangan ini begitu tinggi.

Pembangunan Kawasan Industri Paiho yang berlokasi di Jalan Raya Pelabuhan Ratu Cibadak Sukabumi, pada perencanaan struktur awal yang tertuang dalam gambar kerja, dilaksanakan oleh Konsultan Perencana Taiwan yang mengacu pada ASTM, JIS, AISC, dan *Technical Rules & Regulations of Building ROC* serta menggunakan metode AISC – LRFD. Dimensi material yang dispesifikasikan dalam

perencanaan disesuaikan dengan daerah tersebut dan ketika dikondisikan di Indonesia terjadi kelangkaan material khususnya baja, karena pengadaan material yang langka maka kontraktor memberikan tiga alternatif yaitu tetap memakai dimensi baja sesuai rencana dengan mengimpor dari Negara Vietnam, memesan material sesuai dengan dimensi pada gambar kerja ke perusahaan produsen baja di Indonesia dan mensubstitusi dimensi baja yang disesuaikan dengan pabrikasi di Indonesia. Dari ketiga pilihan tersebut yang dipilih adalah dengan mensubstitusi material. Akibat dari substitusi ini, maka diperlukan analisis kekuatan struktur rangka baja untuk mendapatkan nilai faktor keamanan yang sesuai Standar Nasional Indonesia agar material tersebut layak dipakai.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka permasalahan substitusi dimensi pada komponen struktur kuda-kuda, balok dan kolom perlu dilakukan analisis kekuatan struktur dengan metode LRFD dan berdasarkan SNI 03-1729-2002 yaitu Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung dengan menggunakan program bantu SAP2000.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai adalah:

- 1) Memperoleh analisis kekuatan struktur pada rangka kuda-kuda rencana dan realisasi.
- 2) Memperoleh analisis kekuatan struktur pada rangka balok rencana dan realisasi.
- 3) Memperoleh analisis kekuatan struktur pada rangka kolom rencana dan realisasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Sebagai Material Struktur Bangunan

2.2.1. Keuntungan dan kelemahan baja

Baja adalah jenis bahan bangunan yang unsur utamanya terdiri dari besi (dengan rumus kimia Fe) yang penggunaannya sendiri telah dimulai ribuan tahun sebelum Masehi. Baja mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan diantaranya:

- 1) Mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan lainnya yang umum dipakai,

- 2) Mudah dalam pemasangan,
- 3) Mempunyai keseragaman baik dari sifat maupun dalam bentuk struktur sehingga dapat terkendali dengan baik, dan
- 4) Bersifat daktilitas yaitu dapat mengalami deformasi yang besar dibawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa hancur atau putus.

Disamping keuntungan-keuntungan tersebut bahan baja juga mempunyai kelemahan-kelemahan sebagai berikut (Amon dan Mazumder, 2000: 28):

- 1) Komponen-komponen struktur yang dibuat dari bahan baja perlu diusahakan supaya tahan api sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bahaya kebakaran,
- 2) Diperlukan suatu biaya pemeliharaan untuk mencegah baja dari bahaya karat,
- 3) Akibat kemampuannya menahan tekukan pada batang-batang yang langsing, walaupun dapat menahan gaya-gaya aksial, tetapi tidak bisa mencegah terjadinya pergeseran horizontal.

2.2.2. Perbandingan kualitas baja China dan baja domestik

Pemangkasan kapasitas produksi baja di dalam negeri akibat dampak krisis finansial di Amerika Serikat tahun 2008 semakin meluas dan berdampak pada turunnya produksi baja domestik. Beberapa produsen baja domestik, seperti PT. Gunung Garuda, PT. Krakatau Steel (KS) dan PT. Essar Indonesia telah menurunkan kapasitas produksi baja misal PT. Essar Indonesia telah menurunkan kapasitas produksi hingga 25%, yang biasanya memproduksi baja sebanyak 25.000 ton per bulan turun menjadi 18.000 – 20.000 ton baja per bulan. Nasib serupa dialami perusahaan baja milik negara, PT. Krakatau Steel (KS) yang telah menurunkan kapasitas produksi 15% dari 208.000 ton per bulan menjadi 176.000 ton.

Penurunan konsumsi baja domestik terjadi akibat serbuan baja asal China yang harganya jauh lebih murah. Akibatnya, konsumen di Indonesia tidak memperdulikan kualitas baja dan lebih memilih baja asal China karena harga yang murah tersebut. Padahal dari segi kualitas, baja produk China tidak memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari hasil pengamatan di beberapa perusahaan China yang memproduksi baja di dalam negeri, perusahaan baja tersebut tidak memiliki kontrol terhadap kualitas kekuatan

sehingga akan mudah patah (Okezone.Com, 2016). Tabel di bawah akan diperlihatkan perbandingan dimensi material baja yang

dipakai pada penelitian ini, tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Dimensi Baja Produksi China

Notasi	Kode	Ukuran penampang (mm)					Luas penampang cm ²	Berat kg/m	Sumbu lentur terhadap sumbu X-X dan Y-Y					
		H	B	t1	t2	r			I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	i _x cm	i _y cm	Z _x cm ³	Z _y cm ³
ST1	RH	194	150	6	9	13	38.5	30.6	2688	506.7	8.4	3.63	277	68
SC1	RH	390	300	10	16	22	134.4	107	38653	7203.9	17	7.32	1982	480
SC2 & RB2	RH	294	200	8	12	18	71.2	56.8	11330	1601.5	12.6	4.74	771	160
PI	CNP	200	75	20	3.2		12.07	9.41	748.77	88.27	7.88	2.7	74.88	16.74

Tabel 2. Dimensi Baja Produksi Domestik

Notasi	Kode	Ukuran penampang (mm)					Luas penampang cm ²	Berat kg/m	Sumbu lentur terhadap sumbu X-X dan Y-Y					
		H	B	t1	t2	r			I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	i _x cm	i _y cm	Z _x cm ³	Z _y cm ³
ST1	WF	250	125	6	9	12	37.3	29.6	4049	293.5	10.4	2.81	324	47
SC1	HB	400	400	13	21	22	218.7	172	66600	22408	17.5	10.13	3330	1120
SC2	HB	300	300	10	15	18	119.2	94	20402	6752.9	13.1	7.53	1360	450
RB2	WF	300	150	6.5	9	13	46.3	36.7	7205	507	12.5	3.31	480	68
PI	CNP	200	75	20	3.2			9.41	748.77	88.27	7.88	2.7	74.88	16.74

2.2. Sifat-Sifat Mekanis Baja Struktural

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Sifat-Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (Mpa)	Tegangan leleh minimum, f_y (Mpa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

1 MPa = 10 kg/cm², MPa = mega pascal (satuan Sistem Internasional)

Untuk elemen-elemen yang tebalnya lebih dari 40 mm, tetapi kurang dari 100 mm, harga-harga dalam tabel harus dikurangi 10%.

Modulus elastisitas : $E = 200.000$ Mpa

Modulus geser : $G = 80.000$ Mpa

Nisbah poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

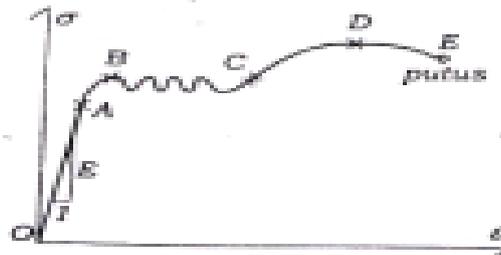
Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

2.3. Diagram Tegangan dan Regangan

Khusus untuk baja bangunan, kurva tegangan-regangan berbentuk seperti dalam Gambar 2.1. Dari titik O hingga titik A $f = E \cdot \epsilon$

terdapat hubungan yang linier atau proporsional antara tegangan f dan regangan ϵ , yang diberikan oleh hukum Hooke sebagai:

$$(1).$$



Gambar 1 Diagram Tegangan Regangan

dimana E dinamakan modulus elastisitas. Dengan demikian, titik A adalah batas proporsionalitas (*proportional limit*). Antara titik A dan B hubungan sudah tidak proporsional, namun masih dalam batas elastis. Artinya, beban tidak meninggalkan nilai regangan sisa yang permanen. Batas titik B dinamakan batas elastis (*elastic limit*). Peningkatan beban di atas titik B praktis tidak dapat dilakukan, karena bahan sudah mengalami deformasi plastis. Dalam tahap ini, regangan ϵ bertambah tanpa peningkatan beban. Bahan untuk daerah ini mengalami reorientasi struktural molekuler, hingga berhenti pada titik C. Peningkatan beban kemudian dapat diterima oleh bahan uji, hingga akhirnya putus di titik E (Hariandja, 1997: 47-48).

2.4. Beban

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu

struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang cukup sulit. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Beberapa jenis bahan yang sering dijumpai antara lain (Setiawan, 2008: 3):

- 1) **Beban Mati (D)**, adalah berat dari semua bagian suatu gedung/bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur-unsur tambahan, *finishing*, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung/bangunan tersebut. Beberapa contoh berat dari beberapa komponen bangunan penting yang digunakan untuk menentukan besarnya beban mati suatu gedung/bangunan diperlihatkan dalam Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Bahan bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas 1)	1000 kg/m ³
Pasir (kering udara)	1600 kg/m ³
Komponen gedung	
Spesi dari semen, per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding bata merah ½ batu	250 kg/m ²
Penutup atap genting	50 kg/m ²
Penutup lantai ubin semen per cm tebal	24 kg/m ²

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983)

- 2) **Beban hidup (L)**, adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu gedung. Termasuk beban ini adalah berat manusia, perabotan yang dapat dipindah-pindah, kendaraan, dan barang-barang lain. Beberapa contoh beban hidup menurut kegunaan suatu bangunan, ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Kegunaan bangunan	Berat
Lantai dan tangga rumah tinggal	125

sederhana	kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, toserba,	250
restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	kg/m ²
Lantai ruang olah raga	400
	kg/m ²
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang mesin, dan lain-lain	400
	kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat, untuk lantai bawah	800
	kg/m ²

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983)

- 4) **Beban angin (*W*)**, adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan-tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat tergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur. Besarnya tekanan tiup harus diambil minimum sebesar 25 kg/m², kecuali untuk bangunan-bangunan berikut:

- Tekanan tiup di tepi laut hingga 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m².
- Untuk bangunan di daerah lain yang kemungkinan tekanan tiupnya lebih dari 40 kg/m², harus diambil sebesar $p = V^2/16$ (kg/m²), dengan V adalah kecepatan angin dalam m/s.
- Untuk cerobong, tekanan tiup dalam kg/m² harus ditentukan dengan

$$V = \frac{C \times 1}{R} W$$

dengan C adalah faktor respon gempa yang ditentukan berdasarkan lokasi bangunan dan jenis tanahnya, I adalah faktor keutamaan gedung, R adalah faktor reduksi gempa yang tergantung pada jenis struktur yang bersangkutan, sedangkan W adalah berat total bangunan termasuk beban hidup yang bersesuaian.

2.5. Beberapa metode dalam penentuan gaya-dalam

2.5.1. Pendahuluan

Pendistribusian pengaruh gaya-dalam kepada komponen-komponen struktur dan sambungan-sambungan pada suatu struktur ditetapkan dengan menganggap salah satu atau kombinasi bentuk-bentuk struktur di bawah ini (SNI 03-1729-2002 Butir 7.2: 19):

- Kaku,
- Semi-kaku,
- Sederhana (bebas momen).

rumus $(42,5 + 0,6h)$, dengan h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter.

Nilai tekanan tiup yang diperoleh dari hitungan di atas harus dikalikan dengan suatu koefisien angin, untuk mendapatkan gaya resultan yang bekerja pada bidang kontak tersebut.

- 5) **Beban gempa (*E*)**, adalah semua beban statis ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horisontal. Besarnya gaya geser dasar (statis ekuivalen) ditentukan berdasarkan persamaan:

$$(2).$$

Suatu struktur dianalisis sebagai suatu kesatuan kecuali untuk (SNI 03-1729-2002 Butir 7.3: 20):

- Struktur-struktur beraturan dapat dianalisis sebagai rangkaian suatu rangka dua dimensi, dan analisis struktur dilakukan masing-masing untuk dua arah yang saling tegak lurus, kecuali bila terjadi redistribusi beban yang besar di antara rangka-rangkanya;
- Untuk beban vertikal pada suatu struktur gedung bertingkat tinggi yang dilengkapi dengan bresing atau dinding geser untuk memikul semua gaya-gaya lateral, setiap lantai bersama-sama dengan kolom-kolom tepat di atas dan di bawahnya dapat dianalisis secara terpisah; ujung-ujung jauh kolom dapat dianggap terjepit.

Untuk memenuhi syarat-syarat stabilitas, kekuatan, dan kekakuan, pengaruh-pengaruh gaya dalam pada suatu struktur dan terhadap komponen-komponennya serta sambungannya yang

diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja harus ditentukan melalui analisis struktur dengan menggunakan anggapan-anggapan yang ditetapkan pada Butir 7.2 dan 7.3 dan dengan salah satu metode berikut ini:

- 1) Analisis elastis; atau
- 2) Analisis plastis; atau
- 3) Analisis non-konvensional lainnya yang telah baku dan telah diterima secara umum.

2.5.2. Konsep dasar LRFD

Metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) adalah salah satu metode perencanaan struktur dengan prinsip mereduksi kapasitas yang dimiliki oleh suatu penampang. Dalam 20 tahun terakhir, prinsip

$$1,4D$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$1,2D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8W)$$

$$1,2D + 1,3W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$$

$$1,2D \pm 1,0E + \gamma_L L$$

$$0,9D \pm (0,8W \text{ atau } 1,0E)$$

dengan:

- D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai atap, plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap.
- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
- L_a adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.
- W adalah beban angin.
- E adalah beban gempa yang ditentukan dari peraturam gempa $\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa, dan $\gamma_L = 1$ bila $L \geq 5$ kPa. Faktor beban untuk L harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum dan semua daerah yang memikul beban hidup lebih besar dari 5 kPa.

B. Faktor tahanan

Faktor tahanan dalam perencanaan struktur berdasarkan metode LRFD, ditentukan dalam Tabel 6.4-2 SNI 03-1729-2002, sebagai berikut:

- | | |
|--|---------------|
| a. Komponen struktur yang memikul lentur | $\phi = 0,90$ |
| b. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial | $\phi = 0,85$ |
| c. Komponen struktur yang memikul gaya tarik | |
| 1) Terhadap kuat tarik leleh | $\phi = 0,90$ |
| 2) Terhadap kuat tarik fraktur | $\phi = 0,75$ |
| d. Komponen struktur yang memikul gaya aksial dan lentur | $\phi = 0,90$ |

2.6. Batang Tarik

2.6.1. Pendahuluan

Batang tarik banyak dijumpai dalam struktur baja, seperti struktur-struktur jembatan, rangka atap, menara transmisi, ikatan angin, dan lain sebagainya. Batang tarik ini sangat efektif dalam memikul beban. Batang ini terdiri dari profil tunggal atau profil tersusun (Setiawan, 2008: 29).

2.6.2. Tahanan nominal

Dalam menentukan tahanan nominal suatu batang tarik, harus diperiksa terhadap tiga macam kondisi keruntuhan yang menentukan, yaitu (Setiawan, 2008: 31):

- 1) Leleh dari luas penampang kotor, di daerah yang jauh dari sambungan.

perencanaan struktur baja mulai beralih ke konsep LRFD yang jauh lebih rasional dengan berdasarkan pada konsep probabilitas. Meskipun demikian, dalam metode LRFD tidak diperlukan analisa probabilitas secara penuh, terkecuali untuk situasi-situasi tidak umum yang tidak diatur dalam peraturan (Setiawan, 2008: 5).

2.5.3. Desain LRFD struktur baja

A. Faktor beban dan kombinasi beban

Menurut peraturan baja Indonesia, SNI 03-1729-2002, Butir 6.2.2: 13, mengenai kombinasi pembebanan, dinyatakan bahwa dalam perencanaan suatu struktur baja haruslah diperhatikan jenis-jenis kombinasi pembebanan berikut ini:

- (3),
- (4),
- (5),
- (6),
- (7),
- (8).

- 2) Fraktur dari luas penampang efektif pada daerah sambungan.
- 3) Geser blok pada sambungan.

Menurut SNI 03-1729-2002, Butir 10.1: 70 dinyatakan bahwa semua komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor sebesar N_u , maka harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \quad (9).$$

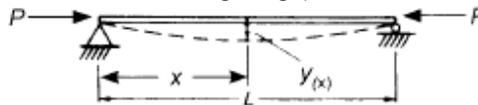
2.6.3. Kelangsingan struktur tarik

Untuk mengurangi masalah yang terkait dengan lendutan besar dan vibrasi, maka komponen struktur tarik harus memenuhi syarat kekakuan. Syarat ini berdasarkan pada rasio kelangsingan, $\lambda = L/r$. Dengan λ adalah angka kelangsingan struktur, L adalah panjang komponen struktur, sedangkan r adalah jari-jari girasi ($r = \sqrt{I/A}$). Nilai λ diambil maksimum 240 untuk batang tarik utama, dan 300 untuk batang tarik sekunder (Setiawan, 2008: 44).

2.7. Batang Tekan

2.7.1. Teori elastik Euler

Teori tekuk kolom pertama kali dikenalkan oleh Leonhard Euler di tahun 1744. Komponen struktur yang dibebani secara konsentris, dimana seluruh serat bahan masih dalam kondisi elastik hingga terjadinya tekuk, perlahan-lahan melengkung (Setiawan, 2008: 50). Perhatikan Gambar 2.



Gambar 2 Kolom Euler

Pendekatan Euler pada umumnya diabaikan dalam disain karena hasil dari percobaan yang dilakukan tidak sesuai. Pendekatan Euler hanya mungkin terjadi bila nilai I yang cukup besar ($I > 110$). Untuk nilai I yang lebih kecil, akan terjadi tekuk inelastis. Dan bila nilai $I < 20$ akan terjadi leleh pada seluruh penampang. Pada kenyataannya, keruntuhan kolom lebih banyak terjadi akibat tekuk inelastis (Setiawan, 2008: 51).

2.7.2. Kekuatan kolom

Kolom ideal yang memenuhi persamaan Euler, harus memenuhi anggapan-anggapan sebagai berikut:

- 1) Kurva hubungan tegangan-regangan tekan yang sama di seluruh penampang.
- 2) Tidak ada tegangan sisa.
- 3) Kolom benar-benar lurus dan prismatis.
- 4) Beban bekerja pada titik berat penampang, hingga batang melentur.
- 5) Kondisi tumpuan harus ditentukan secara pasti.
- 6) Berlakunya teori lendutan kecil (*small deflection theory*).
- 7) Tidak ada puntir pada penampang, selama terjadi lentur.

Bila asumsi di atas dipenuhi, maka kekuatan kolom dapat ditentukan berdasarkan:

$$P_{cr} = \frac{\pi E_t}{(L/r)^2} A_g = f_{cr} \cdot A_g \quad (10).$$

2.8. Komponen Struktur Lentur

2.8.1. Desain elemen terkekang tekuk lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari

- 1) Bentang pendek adalah komponen struktur yang memenuhi $L < L_p$, kuat lentur nominal penampang yaitu:

$$M_n = M_p \quad (11),$$

- 2) Bentang menengah adalah komponen struktur yang memenuhi $L_p < L < L_r$, kuat lentur nominal penampang, yaitu:

panjang bentang antara dua pengekang lateral yang bedekatan, L . Batas-batas bentang pengekang lateral ditentukan dalam SNI 03-1729-2002, Tabel 8.3-2: 38. Adapun batasan-batasannya, yaitu:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (12),$$

- 3) Bentang panjang adalah komponen struktur yang memenuhi $L > L_r$, kuat lentur nominal penampang, yaitu:

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (13).$$

2.8.2. Desain elemen terkekang tekuk lokal

Perhitungan elemen terkekang tekuk lokal suatu struktur ditentukan oleh kelangsingan elemen tekan yang ditentukan pada SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1: 30. Adapun batasan-batasannya, yaitu:

- 1) Penampang kompak adalah penampang yang memenuhi $\lambda < \lambda_p$, kuat lentur nominal penampang, yaitu:

$$M_n = M_p \quad (14),$$

- 2) Penampang tak kompak adalah penampang yang memenuhi $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang, yaitu:

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p \quad (15),$$

- 3) Langsing penampang yang memenuhi $\lambda > \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang, yaitu:

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2 \quad (16).$$

2.9. Balok-Kolom

2.9.1. Pendahuluan

Beberapa prosedur desain yang dapat digunakan untuk suatu elemen balok-kolom antara lain (Setiawan, 2008: 246-247):

- 1) Pembatasan tegangan kombinasi.
- 2) Pemakaian rumus interaksi semi-empiris berdasarkan tegangan kerja (metode ASD).
- 3) Pemakaian rumus interaksi semi-empiris berdasarkan kekuatan penampang (metode LRFD).

2.9.2. Desain LRFD komponen struktur balok-kolom

Perencanaan komponen struktur balok-kolom, diatur dalam SNI 03-1729-2002, Butir 11.3 yang menyatakan bahwa suatu komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan untuk memenuhi ketentuan sebagai berikut:

untuk $\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \geq 0,2$

$$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uX}}{\phi_b \cdot M_{nX}} + \frac{M_{uY}}{\phi_b \cdot M_{nY}} \right) \leq 1 \quad (17),$$

untuk $\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 0,2$

$$\frac{N_u}{2 \cdot \phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{uX}}{\phi_b \cdot M_{nX}} + \frac{M_{uY}}{\phi_b \cdot M_{nY}} \right) \leq 1 \quad (18).$$

2.9.3. Pembesaran momen untuk struktur tak bergoyang

Untuk suatu komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut:

$$M_u = \delta_b M_{ntu} \quad (19),$$

M_{ntu} adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan, sedangkan δ_b adalah faktor pembesaran momen untuk komponen struktur tak bergoyang, yang besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{e1}} \right)} \geq 1 \quad (20).$$

2.9.4. Pembesaran momen untuk struktur bergoyang

Untuk suatu komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut:

$$M_u = \delta_b M_{ntu} + \delta_s M_{tu} \quad (21),$$

M_{tu} adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan. Faktor perbesaran momen δ_s ditentukan sebagai berikut:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left[\frac{\sum N_u}{\sum N_{e2}} \right]} \quad (22).$$

3. TATA KERJA

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

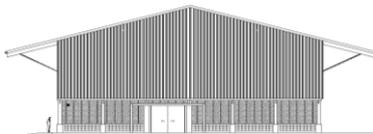
Waktu pelaksanaan analisis dan pembuatan laporan dilakukan selama dua bulan, dengan alokasi waktu selama satu bulan yaitu bulan Mei 2014. Tempat penelitian dilakukan di kantor proyek PT. Avindo Bangun Gemilang (lokasi Pembangunan Gedung Pabrik Paiho di Jalan Raya Pelabuhan Ratu Cibadak Sukabumi).

3.2. Bahan dan Alat

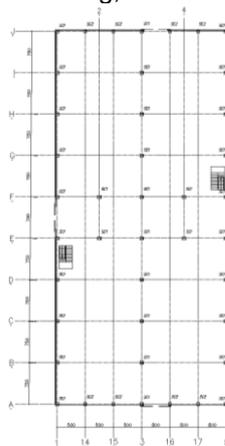
3.2.1. Bahan

A. Data dasar gedung

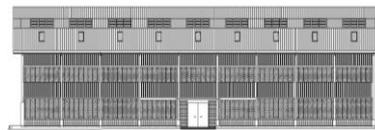
- Nama proyek : Pembangunan Gedung Pabrik Paiho
- Lokasi : Jalan Raya Pelabuhan Ratu Cibadak Sukabumi
- Ukuran gedung : 67.50 x 30 meter
- Waktu pelaksanaan : 288 hari kerja kalender
- Tanggal pelaksanaan : 23 Juni 2011 s.d 5 April 2012
- Tanggal serah terima : 6 Oktober 2012
- Denah gedung : 6 bentang balok pada arah x dengan panjang bentang 5 meter dan 9 bentang balok pada arah y dengan panjang bentang 7.50 meter. Gambar denah gedung, tampak dan potongan ditunjukkan pada Gambar 1 Denah Gedung Pabrik Paiho, 2 Tampak Melintang, Gambar 3 Tampak Memanjang.



Gambar 2 Tampak Melintang



Gambar 1 Denah Gedung



Gambar 3 Tampak Memanjang

B. Spesifikasi material

- 1) Jenis konstruksi berupa lantai konstruksi beton bertulang, balok anak konstruksi baja, portal konstruksi baja, atap seng tahan api, serta dinding seng tahan api, kawat harmonika, bata berlubang.
- 2) Mutu Bahan untuk material beton lantai 2 (*mezzanine*) dengan K-300, $f_c' = 210$

kg/cm² dan *slump* = 15 – 18 cm dengan beton bertulang besi beton polos Ø8, Ø10, dan Ø13 $f_y = 2800$ kg/cm². Baja yang digunakan adalah mutu A36 (berdasarkan ASTM), BJ37 dan BJ41 (berdasarkan SNI 03-1729-2002) ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Penggunaan Dimensi Baja Rencana dan Baja Realisasi

Jenis Baja	Kode	Baja Rencana	Baja Realisasi	Keterangan
BJ 41	SC1	RH-390x300x10x16	HB-400x400x13x21	Kolom tingkat 1 dan 2

BJ 37	SC2	RH- 294x200x8x12	HB- 300x300x10x15	Kolom tingkat 1 dan 2
BJ 37	RB2	RH- 294x200x8x12	WF- 300x150x6,5x9	Kuda-kuda
BJ 37	ST1	RH-194x150x6x9	WF-250x125x6x9	Balok tingkat 1 dan 2

3.2.2. Alat

A. Peraturan yang digunakan

Analisis dan evaluasi konstruksi gedung ini menggunakan ketentuan-ketentuan yang berlaku yang terdapat pada buku-buku pedoman antara lain:

- 1) Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002, diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Beberapa ketentuan yang diambil dari Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002 dalam Tugas Akhir ini adalah:

- a. Modulus elastisitas baja (E)
- b. Mutu baja
- c. Tegangan-tegangan baja (tegangan ijin, tegangan geser, tegangan leleh)

- 2) Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.

Analisis dan evaluasi struktur dilakukan dengan dua cara yaitu secara manual dan menggunakan program bantu komputer. Adapun maksud memakai program bantu komputer adalah untuk membandingkan antara perhitungan secara manual dan dengan hasil program bantu tersebut. Alat bantu yang dipergunakan adalah:

- 1) Microsoft Office Excel 2007, digunakan untuk melakukan operasi perhitungan secara manual.

Beberapa ketentuan yang diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983 dalam Tugas Akhir ini adalah:

- a. Berat sendiri bahan bangunan
- b. Beban hidup lantai gedung
- c. Beban angin

- 3) Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984.

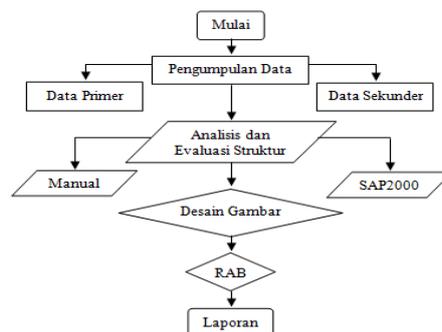
Beberapa ketentuan yang diambil dari Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984 dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai pembandingan dari Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002, diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

B. Alat bantu program komputer

- 2) SAP2000 version 14.00, feature SAPAD version 14 Type Normal Network. Digunakan sebagai alat bantu perhitungan struktur gedung.
- 3) AutoCad 2008, digunakan untuk menggambar gambar konstruksi yang akan dihitung maupun yang direncanakan.

3.3. Metode Penelitian

Bentuk diagram alir metodologi yang dikerjakan tertera pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Analisis

3.3.1. Pengumpulan data

A. Data primer

Data ini diperoleh dari hasil pengamatan langsung di lapangan yang mencakup:

- Kondisi lokasi bangunan gedung tersebut
- Kondisi bangunan-bangunan yang ada di sekitar lokasi

- Denah lokasi bangunan gedung

B. Data sekunder

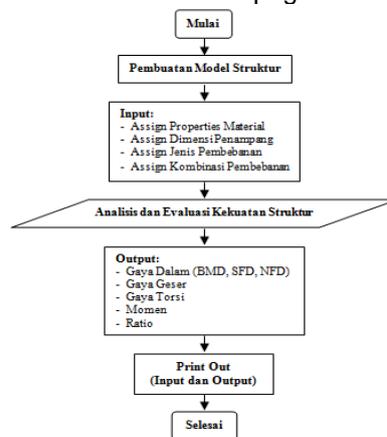
Data sekunder ini didapatkan bukan melalui pengamatan secara langsung di lapangan. Yang termasuk data sekunder antara lain literatur-literatur penunjang, tabel dan peta (denah) yang berkaitan erat dengan proses analisis Proyek Pembangunan Gedung Pabrik Paiho. Setelah mengetahui data-data yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah menentukan metode pengumpulan data yaitu:

- Observasi yaitu pengumpulan data melalui peninjauan dan pengamatan langsung di lapangan.

- Dokumentasi yaitu pengumpulan data dengan mengambil data-data dari hasil penyidikan, penelitian, tes atau uji laboratorium, pedoman, bahan acuan, ataupun standar yang diperlukan dalam analisis dan evaluasi struktur bangunan yang diperoleh melalui perpustakaan ataupun instansi terkait.

3.3.2. Analisis dan evaluasi struktur

Setelah data-data yang diperlukan terkumpul, dapat dilakukan proses analisis dan evaluasi terhadap struktur secara manual dan dengan menggunakan program bantu komputer, yaitu SAP2000. Adapun diagram alir analisis dan evaluasi dengan program SAP2000 tertera pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Analisis dan Evaluasi dengan Program SAP2000

4. ANALISIS DAN BAHASAN

4.1. Analisis dan Evaluasi Struktur

Kuda-Kuda

- a. Pemeriksaan kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk

lateral (SI 03-1729-2002; Tabel 8.3-1, Hal. 37; Tabel 8.3-2, Hal. 38), tertera pada Tabel 4.1 dan kuat nominal komponen struktur terhadap momen tertera pada Tabel 7.

Tabel 7 Periksa Kuat Lentur Kuda-Kuda Berdasarkan Pengekangan Lateral

Kuda-kuda	$r_y \left(\frac{K_1}{f_c} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_l^2}}$	L_r (cm)	L (cm)	Bentang
Rencana	287.29	≤	516.10	Panjang
Realisasi	188.00	≤	516.10	Panjang

Sumber: SNI 03-1729-2002, Tabel 8.3-2; Hal. 38

Tabel 8 Momen Kritis Untuk Tekuk Lateral Kuda-Kuda

Kuda-kuda	$C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L} \right)^2 I_y C_w}$	$M_k < 0.85 M_n$	C_b	Status
	M_n (kNm)	(kNm)		
Rencana	276.54	-38.219 < 235.056	1.481	aman
Realisasi	95.627	-40.934 < 81.283	1.520	aman

Sumber: SNI 03-1729-2002, Tabel 8.3-1; Hal. 37

- b. Pemeriksaan interaksi gaya aksial-momen (SNI 03-1729-2002; Butir 7.4.3.3, Hal. 24), tertera pada Tabel 9 untuk dominasi tekan dan Tabel 10 untuk dominasi lentur.

Tabel 9 Interaksi Gaya Aksial – Momen Kuda-Kuda (Dominasi Tekan)

Kuda-kuda	$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \geq 0.2$	$\frac{N_u}{2 \cdot \phi \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uX}}{\phi_b \cdot M_{nX}} + \frac{M_{uY}}{\phi_b \cdot M_{nY}} \right) \leq 1$
Rencana	0.0104 ≥ 0.2 tidak terpenuhi	-0.09 ≤ 1 terpenuhi
Realisasi	0.0196 ≥ 0.2 tidak terpenuhi	-0.26 ≤ 1 terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3; Hal. 24

Tabel 10 Interaksi Gaya Aksial – Momen Kuda-Kuda (Dominasi Lentur)

Kuda-kuda	$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 0.2$	$\frac{N_u}{2 \cdot \phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{uX}}{\phi_b \cdot M_{nX}} + \frac{M_{uY}}{\phi_b \cdot M_{nY}} \right) \leq 1$
Rencana	0.0110 < 0.2 terpenuhi	-0.11 ≤ 1 terpenuhi
Realisasi	0.0208 < 0.2 terpenuhi	-0.30 ≤ 1 terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3; Hal. 24

- c. Pemeriksaan kuat geser pelat badan (SNI 03-1729-2002; Butir 8.8, Hal. 45-46), tertera pada Tabel 11.

Tabel 11 Kuat Rencana Geser (Faktor Reduksi, $\phi = 0.9$)

Kuda-kuda	Web		V_n (kN) $0.6 \times f_y \times A_w$	$V_u < \phi V_n$ (kN)	Status
	$\frac{h}{t}$	$\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$			
Rencana	36.75	≤ 71.00	820.22	8.843 < 738.2	aman
Realisasi	46.15	≤ 71.00	433.37	7.675 < 390.03	aman

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 8.8; Hal. 45

4.2. Analisis dan Evaluasi Struktur Balok

- a. Pemeriksaan interaksi gaya aksial-momen (SNI 03-1729-2002; Butir 7.4.3.3, Hal. 24), tertera pada Tabel 11 untuk dominasi tekan dan Tabel 12 untuk dominasi lentur.

Tabel 12 Periksa Kekakuan Aksial Momen Balok (Dominasi Tekan)

Balok	$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \geq 0,2$	Status	$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uX}}{\phi_b \cdot M_{nX}} + \frac{M_{uY}}{\phi_b \cdot M_{nY}} \right) \leq 1,0$	Status	
ST1 - Batang 17	Rencana	0.121 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.273 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.200 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.390 ≤ 1.0	terpenuhi
ST1 - Batang 22	Rencana	-0.009 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.066 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	-0.007 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.081 ≤ 1.0	terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3

Tabel 13 Periksa Kekakuan Aksial Momen Balok (Dominasi Lentur)

Balok	$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 0,2$	Status	$\frac{N_u}{2 \phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{uX}}{\phi_b \cdot M_{nX}} + \frac{M_{uY}}{\phi_b \cdot M_{nY}} \right) \leq 1,0$	Status	
ST1 - Batang 17	Rencana	0.114 < 0.2	terpenuhi	0.228 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.189 < 0.2	terpenuhi	0.309 ≤ 1.0	terpenuhi
ST1 - Batang 22	Rencana	-0.009 < 0.2	terpenuhi	0.081 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	-0.006 < 0.2	terpenuhi	0.095 ≤ 1.0	terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3

- b. Pemeriksaan kuat geser pelat badan (SNI 03-1729-2002; Butir 8.8, Hal. 45-46), tertera pada Tabel 14.

Tabel 14 Kuat Rencana Geser Balok (Faktor Reduksi, $\phi = 0.9$)

Balok		Web		V_n (kN)	$V_u < \phi V_n$	Status
		$\frac{h}{t}$	$\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$	$0.6 \times f_y \times A_w$	(kN)	
ST1 - Batang 17	Rencana	32.33	≤ 71.00	554.40	458.92 < 498.96	aman
	Realisasi	41.67	≤ 71.00	537.12	669.16 < 483.41	tidak aman
ST1 - Batang 22	Rencana	32.33	≤ 71.00	554.40	173.14 < 498.96	aman
	Realisasi	41.67	≤ 71.00	537.12	244.52 < 483.41	aman

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 8.8; Hal. 45

4.3. Analisis dan Evaluasi Struktur Kolom

4.3.1. Kolom frame A dan J

- a. Pemeriksaan interaksi gaya aksial-momen (SNI 03-1729-2002; Butir 7.4.3.3, Hal. 24), tertera pada Tabel 15 untuk dominasi tekan dan Tabel 4.10 untuk dominasi lentur.

Tabel 15 Periksa Kekakuan Aksial Momen Kolom *Frame A dan J* (Dominasi Tekan)

Kolom		$\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2$	Status	$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_s M_{ux}} + \frac{M_{uy}}{\phi_s M_{uy}} \right) \leq 1,0$	Status
SC1 - 3	Rencana	-0.002 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	-0.002 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	-0.001 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	-0.001 ≤ 1.0	terpenuhi
SC1 - 5	Rencana	0.013 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	-0.019 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.011 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.025 ≤ 1.0	terpenuhi
SC2 - 14	Rencana	0.010 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.009 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.004 ≥ 0.2	tidak terpenuhi	0.004 ≤ 1.0	terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3

Tabel 16 Periksa Kekakuan Aksial Momen Kolom *Frame A dan J* (Dominasi Lentur)

Kolom		$\frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2$	Status	$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_s M_{ux}} + \frac{M_{uy}}{\phi_s M_{uy}} \right) \leq 1,0$	Status
SC1 - 3	Rencana	-0.002 < 0.2	terpenuhi	-0.001 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	-0.001 < 0.2	terpenuhi	-0.001 ≤ 1.0	terpenuhi
SC1 - 5	Rencana	0.012 < 0.2	terpenuhi	-0.030 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.010 < 0.2	terpenuhi	0.021 ≤ 1.0	terpenuhi
SC2 - 14	Rencana	0.009 < 0.2	terpenuhi	0.004 ≤ 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.004 < 0.2	terpenuhi	0.002 ≤ 1.0	terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3

- b. Pemeriksaan kuat geser pelat badan (SNI 03-1729-2002; Butir 8.8, Hal. 45-46), tertera pada tabel 17.

Tabel 17 Kuat Rencana Geser Kolom *Frame A dan J* (Faktor Reduksi, $\phi = 0.9$)

Kolom		Web		V_n (kN)	$V_u < \phi V_n$	Status
		$\frac{h}{t}$	$\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$	$0.6 \times f_y \times A_w$	(kN)	
SC1 - 3	Rencana	39.00	≤ 69.57	1612.80	0.722 < 1451.5	aman
	Realisasi	30.77	≤ 69.57	2624.40	0.751 < 2362	aman
SC1 - 5	Rencana	39.00	≤ 69.57	1612.80	78.316 < 1451.5	aman
	Realisasi	30.77	≤ 69.57	2624.40	69.320 < 2362	aman
SC2 - 14	Rencana	36.75	≤ 71.00	820.22	0.114 < 738.2	aman
	Realisasi	30.00	≤ 69.57	1430.40	0.358 < 1287.4	aman

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 8.8; Hal. 45

4.3.2. Kolom frame E dan F

- a. Pemeriksaan interaksi gaya aksial-momen (SNI 03-1729-2002; Butir 7.4.3.3, Hal. 24), tertera pada Tabel 18 untuk dominasi tekan dan Tabel 19 untuk dominasi lentur.

Tabel 18 Periksa Kekakuan Aksial Momen Kolom *Frame E dan F* (Dominasi Tekan)

Kolom		$\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2$	Status	$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{ux}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{uy}} \right) \leq 1,0$	Status
SC2 - 2	Rencana	0.059 \geq 0.2	tidak terpenuhi	-0.29 \leq 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.024 \geq 0.2	tidak terpenuhi	-0.15 \leq 1.0	terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3, Hal. 24

Tabel 19 Periksa Kekakuan Aksial Momen Kolom *Frame E dan F* (Dominasi Lentur)

Kolom		$\frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2$	Status	$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{ux}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{uy}} \right) \leq 1,0$	Status
SC2 - 2	Rencana	0.056 $<$ 0.2	terpenuhi	-0.367 \leq 1.0	terpenuhi
	Realisasi	0.023 $<$ 0.2	terpenuhi	-0.182 \leq 1.0	terpenuhi

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 7.4.3.3

- b. Pemeriksaan kuat geser pelat badan (SNI 03-1729-2002; Butir 8.8, Hal. 45-46), tertera pada Tabel 20.

Tabel 20 Kuat Rencana Geser Kolom *Frame E dan F* (Faktor Reduksi, $\phi = 0.9$)

Kolom		Web		V_n (kN)	$V_u < \phi V_n$	Status
		$\frac{h}{t} \leq \frac{1100}{\sqrt{F_y}}$	$0.6 \times f_y \times A_w$	(kN)		
SC2 - 2	Rencana	36.75 \leq 71.00		820.22	392.979 $<$ 738.2	aman
	Realisasi	30.00 \leq 69.57		1430.40	590.755 $<$ 1287.4	aman

Sumber: SNI 03-1729-2002, Butir 8.8; Hal. 45

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan bahasan, dengan memakai faktor keamanan yang sudah ditentukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Analisis struktur rangka baja kuda-kuda *frame A dan J* pada pemeriksaan momen kritis untuk tekuk lateral adalah kedua dimensi pada baja kuda-kuda rencana dan realisasi sama-sama aman dipakai. Nilai momen kritis untuk tekuk lateral rangka baja rencana sebesar 235,056 kNm dan rangka baja realisasi sebesar 81,283 kNm. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan rangka kuda-kuda rencana $0,0104 \geq 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,09 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan rangka kuda-kuda realisasi $0,0196 \geq 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,26 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur rangka kuda-kuda rencana $0,0110 < 0,2$ status kekuatan terpenuhi dan $-0,11 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur

rangka kuda-kuda realisasi $0,0208 < 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,30 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan kuat rencana geser pada pelat badan rangka kuda-kuda rencana 738,202 kNm status pemeriksaan aman digunakan dan rangka kuda-kuda realisasi 390,031 kNm status pemeriksaan aman digunakan.

- Analisis struktur rangka baja pada balok *frame A dan J* pada pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan rangka balok rencana $0,121 \geq 0,2$ (batang nomor 17) dan $-0,009 \geq 0,2$ (batang nomor 22) status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $0,273 \leq 1$ (batang nomor 17) dan $0,066 \leq 1$ (batang nomor 22) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan rangka balok realisasi $0,200 \geq 0,2$ (batang nomor 17) dan $-0,007 \geq 0,2$ (batang nomor 22) status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $0,390 \leq 1$ (batang nomor 17) dan $0,081 \leq 1$ (batang nomor 22) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur rangka balok rencana $0,114 < 0,2$ (batang nomor 17) dan $-0,009 < 0,2$

- (batang nomor 22) status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $0,228 \leq 1$ (batang nomor 17) dan $0,081 \leq 1$ (batang nomor 22) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur rangka balok realisasi $0,189 < 0,2$ (batang nomor 17) dan $-0,006 < 0,2$ (batang nomor 22) status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $0,309 \leq 1$ (batang nomor 17) dan $0,095 \leq 1$ (batang nomor 22) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan kuat rencana geser pada pelat badan rangka balok rencana $498,96 \text{ kNm}$ (batang nomor 17 dan 22), status pemeriksaan aman digunakan dan rangka balok realisasi $483,31 \text{ kNm}$ (batang nomor 17 dan 22), status pemeriksaan aman digunakan.
3. Analisis struktur rangka baja pada kolom
- a. Analisis struktur rangka baja pada pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan kolom rencana *frame* A dan J $-0,002 \geq 0,2$ (batang nomor 3), $0,013 \geq 0,2$ (batang nomor 5) dan $0,010 \geq 0,2$ (batang nomor 14) status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,002 \leq 1$ (batang nomor 3), $-0,019 \leq 1$ (batang nomor 5) dan $0,009 \leq 1$ (batang nomor 14) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan kolom realisasi *frame* A dan J $-0,001 \geq 0,2$ (batang nomor 3), $0,011 \geq 0,2$ (batang nomor 5) dan $0,004 \geq 0,2$ (batang nomor 22) status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,001 \leq 1$ (batang nomor 3), $0,025 \leq 1$ (batang nomor 5) dan $0,004 \leq 1$ (batang nomor 14) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur kolom rencana *frame* A dan J $-0,002 < 0,2$ (batang nomor 3), $0,012 < 0,2$ (batang nomor 5) dan $0,009 < 0,2$ (batang nomor 14) status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,001 \leq 1$ (batang nomor 3), $-0,030 \leq 1$ (batang nomor 5) dan $0,004 \leq 1$ (batang nomor 14) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur kolom realisasi *frame* A dan J $-0,001 < 0,2$ (batang nomor 3), $0,010 < 0,2$ (batang nomor 5) dan $0,004 < 0,2$ (batang nomor 14) status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,001 \leq 1$ (batang nomor 3), $0,021 \leq 1$ (batang nomor 5) dan $0,002 \leq 1$ (batang nomor 14) status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan kuat rencana geser pada pelat badan rangka kolom rencana *frame* A dan J $1451,50 \text{ kNm}$ (batang nomor 3 dan 5), $738,20 \text{ kNm}$ (batang nomor 14) status pemeriksaan aman digunakan sedangkan pada rangka kolom realisasi 2362 kNm (batang nomor 3 dan 5), $1287,40 \text{ kNm}$ (batang nomor 14) status pemeriksaan aman untuk digunakan.
- b. Analisis struktur rangka baja pada pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan kolom rencana *frame* E dan F $0,059 \geq 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,29 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi tekan kolom realisasi *frame* E dan F $0,024 \geq 0,2$ status kekuatan tidak terpenuhi dan interaksi momen dominasi tekan $-0,015 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur kolom rencana *frame* E dan F $0,056 < 0,2$ status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,367 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan interaksi gaya aksial dominasi lentur kolom realisasi *frame* E dan F $0,023 < 0,2$ status kekuatan terpenuhi dan interaksi momen dominasi lentur $-0,182 \leq 1$ status kekuatan terpenuhi. Pemeriksaan kuat rencana geser pada pelat badan rangka kolom rencana *frame* E dan F $738,20 \text{ kNm}$ status pemeriksaan aman digunakan. sedangkan pada rangka kolom realisasi $1287,40 \text{ kNm}$ status pemeriksaan aman digunakan.

5.2. Saran

Kemajuan pembangunan menuntut para kontraktor untuk melakukan tugasnya dengan cepat. Perhitungan struktur bangunan baja di PT. Avindo Bangun Gemilang dapat dianalisis dalam beberapa metode, diantaranya:

1. Selain metode LRFD (*Load Resistance and Factor Design*) dan mengacu pada SNI 03-1729-2002, untuk mendapatkan

analisis perbandingan dapat menggunakan metode ASD (*Allowable Stress Design*).

2. Penyelesaian dengan menggunakan program komputer rekayasa teknik selain memakai aplikasi SAP2000 dapat memakai aplikasi ETABS, STAAD Pro, SANPRO dan lain-lain. Dari masing-masing aplikasi tersebut terdapat beberapa keunggulan dan kelemahan dalam penggunaannya, di bawah ini akan diuraikan satu persatu.
 - a. SAP2000 (*Structure Analysis Program*), merupakan salah satu program analisis struktur yang lengkap namun sangat mudah untuk dioperasikan. Prinsip utama penggunaan program ini adalah pemodelan struktur, eksekusi analisis, dan pemeriksaan atau optimasi desain, yang semuanya dilakukan dalam satu langkah atau satu tampilan. SAP2000 unggul dalam pemodelan struktur yang universal, meliputi *frame*, *truss*, *shell*, dan *solid* namun tidak dapat menganalisa tulangan pelat (*shell*) secara langsung.
 - b. ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building*), merupakan suatu program yang digunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan tepat. ETABS mempunyai kelebihan dalam analisis struktur gedung bertingkat tinggi dan *shear wall*, namun tidak dapat menganalisa elemen *truss*, *solid*, dan *nonlinear element*.
 - c. STAAD Pro (*Structural Analysis and Design Pro*) adalah salah satu program analisa struktur yang paling modern dalam rekayasa elemen hingga, dengan metode input data berbasis *object oriented*. Kelebihan STAAD Pro adalah kemudahan dalam penggunaan GUI (*Graphical User Interface*) yang dirancang sedemikian rupa agar pengguna lebih mudah dalam penggunaannya, kelemahannya terdapat pada modus tampilan yang hanya satu layar.
 - d. SANPRO merupakan *modelling, analysis, design, volume and cost calculation* dan *drawing generator*; sebuah integrasi yang lengkap antara CAD (*Computer Aided Design*), analisis program, *database*, *spreadsheet* dan *word processing* untuk kebutuhan suatu proyek.

Dengan fasilitas grafis 3D dapat menjadi alat bantu dalam analisa dan desain struktur secara lengkap sampai dihasilkan gambar struktur, bahkan estimasi biaya komponen struktur suatu proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Amon, Rene dan Mazumder, Bruce Knobloch Atanu. 2000. *Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek 1*. PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Christian, A. 2009. *BAB I Pendahuluan; Perencanaan Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Software ETABS, SAP2000 & SAFE*. Internet: www.eprints.undip.ac.id, *2009_chapter-1.pdf*, diakses tanggal 1 April 2016.
- Elpan, Rinaldi. ----. *Pengenalan SAP2000*. Internet: https://googleweblight.com/?lite_url=https://www.slideshare.net/mobile/elparrinaldi/pengenalan-sap-2000&ei=bv2N0VGQ&lc=en-ID&s=1&m=651&host=www.google.co.id&ts=1460558221&sig=APY536xDEVN8StR8MfxHjzackuXB6FowVQ, diakses tanggal 13 April 2016.
- Hariandja, Binsar. 1997. *Mekanika Bahan dan Pengantar Teori Elastisitas*. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Harian Kontan. 2008. *Pemangkas Produksi Baja Domestik Meluas*. Internet: www.krakatasteel.com, diakses tanggal 17 Mei 2016.
- Komputer, Wahana. 2010. *Analisis Struktur Bangunan dan Gedung dengan SAP 2000 versi 14*. Penerbit Andi: Yogyakarta.
- Media, Bamboo. ----. *Belajar ETABS (Civil Software)*. Internet: https://googleweblight.com/?lite_url=https://www.bamboomedia.net/cd-tutorial/85/belajar-etabs-civil-software.html&ei=tRjFxakv&lc=en-ID&s=1&m=651&host=www.google.co.id&ts=1460559977&sig=APY536w4ekQKWumgLjXlxM0QKi5h-Jn72g, diakses tanggal 13 April 2016.
- Media Industri. 2008. *Strategi Memperkuat Industri Baja Nasional*. Media Industri: Jakarta.
- Oentoeng. 2000. *Perhitungan Struktur Baja Dengan Metode LRFD Dengan Contoh Batang Tarik Dan Tekan*.

- Internet; www.ced.petra.ac.id, diakses tanggal 30 Maret 2016.
- Salmon dan Johnson. 1992. *Struktur Baja Desain dan Perilaku Edisi 1 Dengan Penekanan Pada Load and Resistance Factor Design*. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Salmon dan Johnson. 1996. *Struktur Baja Desain dan Perilaku Edisi 2 Dengan Penekanan Pada Load and Resistance Factor Design*. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1729-2002)*. PT. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Situmorang, Luhut. 2009. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metoda ASD dan Metoda LRFD Pada Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) Tipe Inverted*. Internet; www.ftsl.itb.ac.id, diakses tanggal 23 Maret 2016.
- SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum.
- Wira. 1995. *Struktur Baja Disain dan Perilaku Edisi 2*. Gelora Aksara Pratama: Jakarta.