

**KAJIAN KERUNTUHAN BANGUNAN INDUSTRI PADA SAAT
PROSES KONSTRUKSI**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



**LAYALIA LATHIFAH
NIM. 115060107111006**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

KAJIAN KERUNTUHAN BANGUNAN INDUSTRI PADA SAAT PROSES KONSTRUKSI

Layalia Lathifah, Wisnumurti, M.Taufik Hidayat
Jurnal Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 16 Malang 65145-Telp. (0341) 567886
Email: layalia75@gmail.com

ABSTRAK

Baja Struktur adalah suatu jenis baja berupa batang dan pelat, yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya, cocok untuk pemikul beban. Perencanaan konstruksi baja harus memperhatikan beberapa faktor, diantaranya adalah besarnya pembebanan yg digunakan dalam perhitungan. Namun disisi lain juga terdapat faktor pemicu, terutama ketika terjadi suatu kegagalan konstruksi. Penyebab kegagalan pada saat proses konstruksi diantaranya adalah dengan belum terpasangnya semua bagian secara lengkap, mengakibatkan kestabilan struktur terganggu. Beracuan pada grafik hubungan tegangan-regangan baja, dimana adanya tegangan ijin, leleh dan batas. Dari data tersebut dapat diketahui berapa besar beban yang bekerja sehingga dapat merobohkan bangunan. Data berupa foto menunjukkan arah roboh bangunan, sehingga ada kecondongan pada puncak rafter kearah utara. Perhitungan yang dilakukan dengan meninjau profil rafter pada arah sumbu y didapatkan besar beban (P) pada tegangan ijin dan didapatkan deformasi yang akan membentuk sudut kemiringan. Dengan adanya sudut akibat deformasi maka berat sendiri profil tersebut tidak lagi diabaikan, karena adanya penguraian berat sendiri kearah sumbu x dan sumbu y. Dari perhitungan tersebut didapatkan tegangan yang terjadi akibat sudut dari deformasi.

Kata Kunci : Struktur baja, kegagalan konstruksi, deformasi

ABSTRACT

The structure of steel is a kind of steel and bearer, which is based of economic consideration, the strength and the characteristic, are suitable for the load. The planning of steel the amount of the load that being used in calculation But in the other side there is also triggers factor, especially when occur a failed construction. The cause of failed at the construction process are all of the part haven't set forth completely yet, causing disturbance to the structure stabilitation. Reference to the stress-stain relation of steel, where there is an allowable stress, melt and limit. Based on the data, has been know how much the load that work untilable to collapse the building. Data in picture from shows the direction of the collapse, so that there is an inclined on the top of the rafter to the north. The countingis by review the rafter profile on the yaxis then obtained the amount of load (P) on the allowable stress and obtained deformation that will make tilt angle. With the angle that caused of deformation then the weight of the profil it self not being ignored anymore, because of the weight decompose it self to the stress that occur because of the angle from the deformation.

Keywords : Steel Structure, failed construction, deformation

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam kaca mata profesi teknik sipil, fungsi utama bangunan adalah memikul beban-beban dan pengaruh lingkungan luar. Jadi bangunan yang gagal adalah jika tidak mampu memikul beban atau rusak akibat pengaruh lingkungan luar.

Oleh karenanya pada kajian ini penulis ingin mengetahui penyebab terjadinya keruntuhan bangunan pada saat konstruksi. Hal ini mengacu pada peninjauan ulang perencanaan yang mengarah pada pelaksanaan dan faktor-faktor lain yang tidak diperkirakan dalam perencanaan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah mencari sebab-sebab mengapa bisa terjadi keruntuhan bangunan pada saat konstruksi.

Batasan Masalah

Diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Mengambil study kasus pada konstruksi pembangunan Industri
2. Kajian didasarkan pada laporan perhitungan struktur bangunan industri yang dihitung secara ulang.
3. Analisa hanya pada bangunan konstruksi dan faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh

Maksud dan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebab-sebab terjadinya keruntuhan bangunan pada saat proses konstruksi. Study kasus bangunan Industri.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Konstruksi

“Konstruksi adalah susunan (model, tata letak) suatu bangunan (jembatan, rumah, dan lain sebagainya)”, selain itu konstruksi

adalah suatu kegiatan membangun sarana maupun prasarana.

Konstruksi juga dapat didefinisikan sebagai objek keseluruhan bangunan yang terdiri dari bagian-bagian struktur. Beberapa definisi konstruksi berdasarkan konteksnya perlu dibedakan atas dasar : proses, bangunan, kegiatan, bahasa dan perencanaan.

Kegagalan konstruksi terjadi karena beberapa penyebab antara lain : banyaknya pihak yang terlibat, proses pelaksanaan yang unik, serta kondisi alam. Akibatnya, penyebab tersebut dapat menimbulkan permasalahan teknis maupun permasalahan non-teknis.

Struktur Baja

Beberapa keuntungan dari baja sebagai bahan struktur adalah memiliki kekuatan tinggi, keseragaman, elastisitas, permanen, daktilitas, liat (*Toughness*)

Baja strukur merupakan material yang liat artinya memiliki kekuatan dan daktilitas. Suatu elemen baja masih dapat terus memikul beban dengan deformasi yang cukup besar. Ini merupakan sifat material yang penting karena dengan sifat ini elemen baja bisa menerima deformasi yang besar selama pabrikasi, pengangkutan, dan pelaksanaan tanpa menimbulkan kehancuran.

Baja sebagai bahan struktur juga mempunyai beberapa kelemahan atau kekurangan, antara lain adalah biaya pemeliharaan, biaya perlindungan terhadap kebakaran, rentan terhadap *buckling*, fatik, keruntuhan getas

Metode Pengerjaan Analisa Struktur

1. Manual/ Klasik : perhitungan struktur tanpa bantuan software mempunyai kompetensi memprediksi perilaku struktur yang merupakan dasar pemahaman secara lengkap, membutuhkan waktu yang lebih lama dengan tahapan-tahapan yang lebih detail.

2. Modern/ Komputer : Tugas utama komputer adalah sebagai perhitungan. Akan tetapi berbeda dengan alat hitung sebelumnya, komputer mengubah pola pikir bekerjanya insinyur dalam melakukan analisa struktur. Meskipun demikian tidak ada jaminan untuk dapat memahami perilaku struktur sebenarnya karena untuk itu perlu pemahaman asumsi-asumsi dasar analisis, perilaku struktur yang sebenarnya, dan mampu membuat model struktur dan validasi hasilnya. .

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam pembuatan dan penyusunan secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

Langkah yang dilakukan setelah mengetahui data yang diperlukan adalah menentukan metode pengumpulan data. Adapun metode pengumpulan data yang digunakan adalah observasi dan studi pustaka.

a) Observasi

Observasi merupakan metode pengumpulan data dengan cara peninjauan dan pengamatan langsung.

b) Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan metode pengumpulan data dan bahan acuan maupun standar yang diperlukan dalam perencanaan bangunan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal yang dilakukan yaitu pengumpulan data yang diperlukan, yaitu laporan perhitungan struktur bangunan BN2 PT. Mitra Saruta, kliping koran yang berkaitan tentang kerobohan pabrik, dan foto bangunan yang roboh dilokasi. Lokasi pembangunan pabrik berada di lahan pertanian yang lumayan jauh dari pemukiman.

Dari data yang terkumpul, terdapat kesenjangan antara perencanaan pada laporan perhitungan struktur dengan pelaksanaan dilapangan. Kesenjangan tersebut menjadi sebuah hipotesis yang perlu pembuktian terhadap faktor keruntuhan bangunan itu sendiri. Hal ini akan dibahas dalam perician perhitungan lebih lanjut dalam sub bab berikutnya.

Analisis Berdasarkan Gambar kerja

Data Perencanaan

| | |
|-----------------------|--------------|
| Bahan penutup Atap | : Zinalume |
| Jarak Antar Portal | : 6 meter |
| Bentang Kuda-Kuda (L) | : 58 meter |
| Jarak Gording | : 1,4 meter |
| Tinggi Kolom (H) | : 6 meter |
| Kemiringan Atap (a) | : 20 |
| Beban Angin | : 40 kg/m |
| Beban Hidup | : 100 kg |
| Baja Profil | : BJ 37 |
| Tegangan Ijin Baja | : 1600 kg/cm |

Berat Penutup Atap : 5 kg/m

Perhitungan Struktur

1. Perhitungan Gording

digunakan baja CNP 150x50x20x2,3

$$A = 632 \text{ mm}^2 \quad h = 150 \text{ mm}$$

$$t_f = 2,3 \text{ mm} \quad b_f = 50 \text{ mm}$$

$$I_x = 2,1 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2,2 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

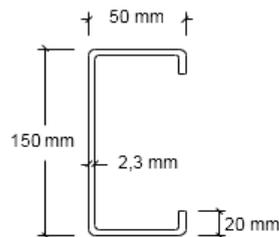
$$r_x = 57,7 \text{ mm}$$

$$r_y = 18,6 \text{ mm}$$

$$Z_x = 2,8 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 6,6 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W = 4,96 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 2. Profil Gording

Pembebanan Gording

- Beban Mati / Dead Load

-Berat gording = 4,96 kg/m

-Berat penutup atap

$$(5 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m}) = 7,00 \text{ kg/m}$$

-Berat penyambung dll 10%

$$= 1,2 \text{ kg/m} +$$

$$q_D = 13,16 \text{ kg/m}$$

$$q = 13,16 \text{ kg/m}$$

$$q_x = q \times \cos 15^\circ = 12,71 \text{ kg/m}$$

$$q_y = q \times \sin 15^\circ = 3,41 \text{ kg/m}$$

$$M_x = 1/8 \times 12,71 \times 6^2 = 57,18 \text{ kgm}$$

$$M_y = 1/8 \times 3,41 \times 6^2 = 1,7 \text{ kgm}$$

- Beban Hidup / Live Load

Besarnya beban hidup diambil dari PPIUG 1983, $P = 100 \text{ kg}$.

$$P_x = P \cdot \sin a$$

$$P_y = P \cdot \cos a$$

$$P = 100 \text{ kg}$$

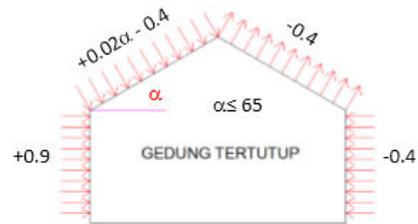
$$P_x = P \times \cos 15^\circ = 96,59 \text{ kg}$$

$$P_y = P \times \sin 15^\circ = 25,88 \text{ kg}$$

$$M_x = 1/4 \times 96,59 \times 4 = 144,89 \text{ kgm}$$

$$M_y = 1/4 \times 25,88 \times 2 = 12,94 \text{ kgm}$$

Berdasarkan PPIUG 1983 untuk atap segitiga dengan sudut $\alpha < 65^\circ$, koefisien angin tekan menggunakan rumus : $0,02\alpha - 0,4$



Gambar 3. Koefisien beban angin

$$\text{Tekanan Angin} = 40 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Koefisien angin tekan} = 0,02 \alpha - 0,4$$

$$= 0,02 (15) - 0,4$$

$$= -0,1$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$W_{\text{tekan}} = 0,1 \times 40 \times 1,4 = 5,6 \text{ kg/m}$$

$$W_{\text{hisap}} = -0,4 \times 40 \times 1,4 = -22,4 \text{ kg/m}$$

Karena beban angin bekerja tegak lurus sumbu x sehingga hanya ada M_x

$$\text{Angin Tekan : } M_x = 1/8 \times 6,6716 \times 6^2 = 25,20 \text{ kgm}$$

$$\text{Angin Hisap : } M_x = 1/8 \times -26,6864 \times 6^2 = -100,80 \text{ kgm}$$

Tabel 1. Kombinasi Pembebanan

| kontrol momen | SNI 2002 | x (kgm) | y (kgm) |
|---------------|--|---------|---------|
| U | 1.4 D | 80,06 | 2,38 |
| U | 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (La atau H) | 141,07 | 8,51 |
| U | 1.2 D + 1.6 (La atau H) + (γ.L atau 0.8 W) | 280,28 | 22,75 |
| U | 1.2 D + 1.3 W + γ.L + 0.5 (La atau H) | 108,31 | 8,51 |
| U | 0.9 D ± 1.3 W | 18,71 | 1,53 |
| | | 84,23 | 1,53 |

Tinjau terhadap tekuk lokal

Asumsikan penampang kompak

$$\begin{aligned}
 Mnx &= Zx \cdot Fy \\
 &= 2,8 \times 10^4 \cdot 240 \\
 &= 672 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mny &= Zy \cdot fy \\
 &= 6,33 \times 10^3 \cdot 240 \\
 &= 151,92 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Penampang kompak atau tidak kompak merupakan identifikasi dari regangan batas (strain state) dan dijadikan sebagai peraturan dalam desain struktur baja. Batas suatu penampang dikatakan kompak atau tidak kompak terletak pada rasio lebar-tebal λ_p . Penampang yang memiliki rasio lebar-tebal kurang dari λ_p termasuk penampang kompak yang memiliki kemampuan untuk berotasi setelah pada kondisi pasca leleh (inelastis). Batas lainnya yaitu λ_r , menunjukkan batas yang jelas antara penampang tak kompak dan penampang langsing. Selama kurang dari λ_r , maka tekuk lokal elastis tidak akan mempengaruhi kekuatan elemen tersebut, sebaliknya apabila tekuk lokal terjadi sebelum tegangan lelehnya tercapai.

Untuk mengantisipasi masalah puntir maka Mny dapat dibagi 2 sehingga :

$$\begin{aligned}
 \frac{Mux}{\phi_b \times Mnx} + \frac{Muy}{\phi_b \times 0.5 \times Mny} &\leq 1.0 \\
 &= 0,79 \leq 1,0
 \end{aligned}$$

Kontrol Geser (SNI 03-1729-2002 Pasal 8.8.1)

$$\begin{aligned}
 Vu &\leq \phi Vn \\
 &= 180,272 \text{ kg} < 4334,083 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol Lendutan

Lendutan maksimum yang diizinkan :

$$f \leq L/240$$

$$f_{TOTAL} (0,56 \text{ cm}) < f_{IZIN} (2,5 \text{ cm})$$

2. Perhitungan ikatan angin

a) Ikatan angin atap

$$\begin{aligned}
 \text{Luas daerah pembebanan} &= 0,5 \times 10,02 \times 6 \\
 &= 30,06 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang sisi miring} &= \sqrt{10,02^2 + 6^2} \\
 &= 11,679 \text{ m}
 \end{aligned}$$

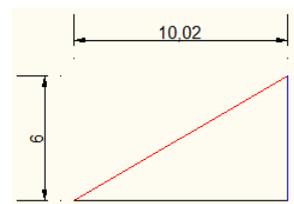
Koefisien angin tekan pada atap vertical :

$$\text{Koefisien angin tekan } (c_1) = 0.1$$

$$\text{Koefisien angin hisap } (c_2) = -0.4$$

Beban angin diperhitungkan menggunakan koefisien 0.1

Berdasarkan skema luasan akan didapat nilai P yang berupa besar gaya yang terjadi akibat tekanan angin yang bekerja pada tiap join ikatan angin.



Gambar 4. Beban angin atap

Beban angin tekan (P)=

$$\begin{aligned}
 c_1 \times \text{Luas pembebanan} \times \text{Tekanan angin} \\
 &= 120,24 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\tan \beta = \frac{10,02}{6} = 1,67$$

$$\beta = 59,087^\circ$$

$$\Sigma H = 0 \quad \text{--->} \quad N_x = P$$

$$\begin{aligned} \text{---> } N \cos \beta &= P \\ N &= 234,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

Digunakan ikatan angin dari baja mutu

BJ-37

$$\begin{aligned} \text{Teganganleleh minimum, } f_y &= 240 \text{ MPa} \\ &= 2400 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Teganganputus minimum, } f_u &= 370 \text{ MPa} \\ &= 3700 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\phi T_n = \phi A_g f_y$$

$$A_g = 0,1084 \text{ cm}^2 = 10,84 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 0,25 \pi d^2$$

$$d = 3,71 \text{ mm}$$

Pada kondisi fraktur, tahanan nominal dari batang tarik:

$$\phi T_n = \phi A_g f_u$$

$$A_g = 0,0703 \text{ cm}^2 = 7,03 \text{ mm}^2$$

Maka diameter batangtarik yang dibutuhkan:

$$A_g = 0,25 \pi d^2$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

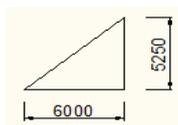
Digunakan besi dengan ukuran

$$\text{Ø}16 \text{ mm} > d = 3 \text{ mm}$$

b) Ikatan Angin dinding

Jarak antar kuda-kuda = 6 m

$$\text{Tekanan angin} = 40 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 5. Beban angin dinding

Koefisien angin tekan pada dinding vertical:

$$\text{Koefisien angin tekan } (c_1) = 0.9$$

$$\text{Koefisien angin hisap } (c_2) = -0.4$$

Beban angin diperhitungkan menggunakan koefisien 0.9

Beban angin tekan (P)=

$$\begin{aligned} c_1 \times \text{Luas pembebanan} \times \text{Tekanan angin} \\ = 0.9 \times 15,75 \times 40 = 567 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\beta = 41,186^\circ$$

$$\Sigma H = 0 \text{ ---> } N_x = P$$

$$\text{---> } N \cos \beta = P$$

$$N = 567 / \cos 41,186$$

$$N = 753,41 \text{ kg}$$

Pada kondisi leleh, tahanan nominal dari batang tarik:

$$\phi T_n = \phi A_g f_y$$

$$A_g = 0,349 \text{ cm}^2 = 34,9 \text{ mm}^2$$

Digunakan ikatan angin dinding 75x75x6

$$\begin{aligned} A_g \text{ penampang} &= (b \times d) + (b-d) \times d \\ &= (75 \times 6) + (75-6) \times 6 \\ &= 864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_g \text{ perlu} < A_g \text{ penampang}$$

$$34,9 \text{ mm}^2 < 864 \text{ mm}^2$$

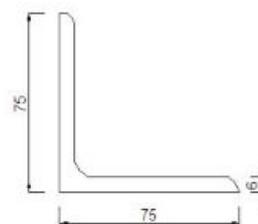
Pada kondisi fraktur, tahanan nominal dari batang tarik:

$$\phi T_n = \phi A_g f_u$$

$$A_g = 0,226 \text{ cm}^2 = 22,6 \text{ mm}^2$$

$$A_g \text{ perlu} < A_g \text{ penampang}$$

$$22,6 \text{ mm}^2 < 864 \text{ mm}^2$$



Gambar 6. Profil ikatan angin dinding

3. Perhitungan Rafter Baja

Profil yang digunakan (Castellated 750x200x10x16 mm)

$$t_1 = t_f = 16 \text{ mm}$$

$$t_2 = t_w = 10 \text{ mm}$$

$$A_g = 88,65 \text{ cm}^2$$

$$Z_x = 3009,5 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 214 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 35,7 \text{ cm}$$

$$r_y = 4,9 \text{ cm}$$

$$w = 89,6 \text{ kg/m}$$

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \text{Mutu Baja BJ37} \Rightarrow f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ &= 2400 \text{ kg/cm} \\ f_u &= 370 \text{ Mpa} \\ &= 3700 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Beban merata akibat beban mati :

$$q = \frac{\Sigma P}{0,5 L}$$

$$q = \frac{(119,712) + 21(209,744)}{0,5 (58)} = \frac{4524,336}{29}$$

$$= 156,011 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban air hujan qah} &= 40 - 0,8 \alpha \geq 20 \text{ kg/m}^2 \\ &= 40 - 0,8 \times 15 \\ &= 28 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= qah \times \text{jarak antar gording} \times \text{jarak} \\ &\quad \text{antar kuda-kuda} \\ &= 28 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\ &= 235,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka dipilih beban akibat air hujan

$$= 235,2 \text{ kg}$$

$$q = \frac{23 (235,2)}{0,5 (58)} = \frac{5409,6}{29} = 186,54 \text{ kg/m}$$

Tekanan angin pada bidang atap

$$\text{Tekanan angin} = 40 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin tekan } C_{tk} &= 0,1 \quad \rightarrow W_t \\ &= 0,1 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} = 24 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin hisap } C_{hs} &= -0,4 \quad \rightarrow W_h \\ &= -0,4 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} = -96 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Tekanan angin pada bidang dinding

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin tekan } C_{tk} &= 0,9 \quad \rightarrow W_t \\ &= 0,9 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} = 216 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin hisap } C_{hs} &= -0,4 \quad \rightarrow W_h \\ &= -0,4 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ m} = -96 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Digunakan $q_u \text{ max} = 540,278 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} \times q \times l^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 540,278 \times 30,023^2 \\ &= 60874,50868 \text{ kgm} \\ &= 608.745.086,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \cdot F_y \\ &= 840.674.400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u \leq \phi M_n \text{ (sumber : SNI 03-1729-2002 butir 8.1.3 halaman 35)}$$

Dengan $\phi = 0,9$ (faktor reduksi)

$$608.745.086,8 \text{ Nmm} < 756.660.696 \text{ Nmm}$$

Kontrol Lendutan

Lendutan maksimum yang diizinkan :

$$f \leq L/240$$

$$f_{\text{TOTAL}} (2,07 \text{ cm}) < f_{\text{IZIN}} (2,5 \text{ cm})$$

Perhitungan Kolom

$$\begin{aligned} N_u &= (540,278 \times 59)/2 \\ &= 15938,201 \text{ kg} \end{aligned}$$

Analisis Perhitungan Kondisi Pekerjaan di Lapangan

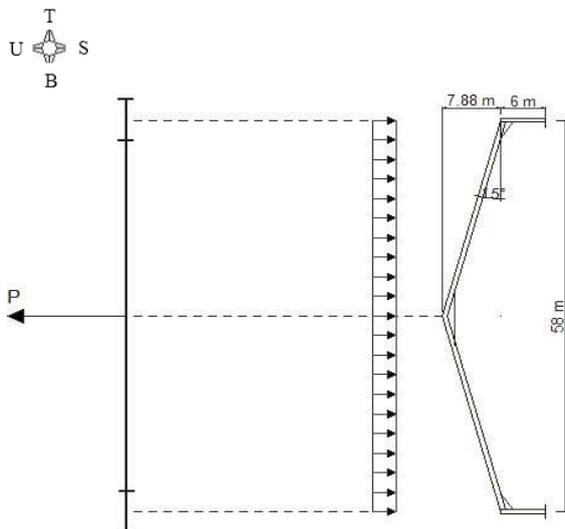
Kegagalan bangunan adalah hasil dari tidak kuatnya bangunan menahan beban rencana, umumnya dipicu oleh adanya beban berlebih yang menyebabkan kekuatan (strength) struktur mencapai kondisi batas sehingga menimbulkan fraktur/putus atau

lendutan yang besar, atau ada beban aktual yang tidak diperhitungkan dalam perencanaan. Sedangkan penyebab yang mungkin terjadi berdasarkan data yang dikumpulkan dan hasil pengamatan dilapangan pada tahap proses konstruksi, diantara adalah pemilihan lokasi yang beresiko, kesalahan perencanaan ,kesalahan pelaksanaan

Tabel 2. Cek list pelaksanaan pada saat runtuh

| No | Bagian | Jumlah | | Cek list |
|----|----------------------|--------------|----------|----------|
| | | Shop drawing | Lapangan | |
| 1 | Rafter | 21 buah | 21 buah | v |
| 2 | Gording/sisi atap | 23 buah | 19 buah | - |
| 3 | Ikatan angin atap | 71 buah | 60 buah | - |
| 4 | Ikatan angin dinding | 22 buah | 20 buah | - |
| 5 | Trekstang | 21 blok | 11 blok | - |
| 6 | Kolom utama | 42 buah | 42 buah | v |
| 7 | Kolom sekunder | 18 buah | 14 buah | - |
| 8 | Rangka batang | 3 buah | 0 | - |

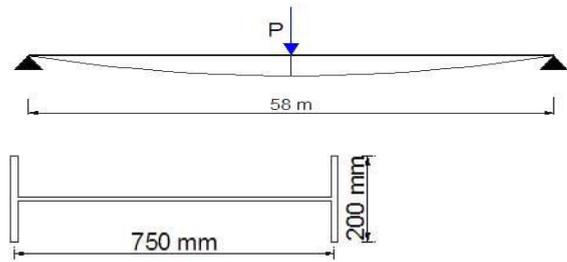
1. Alternatif Penyebab



Gambar 7. Sket arah roboh bangunan

Deformasi akhir yang ditunjukkan memiliki arah roboh ke utara itu artinya arah gaya bekerja searah dengan arah runtuh, dimana akan dibahas selanjutnya berapa besar gaya

yang bekerja sehingga dapat mengakibatkan konstruksi tersebut runtuh.



$$M = \frac{1}{4} \times p \times l$$

$$I_y = 2139,15 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_y = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = \frac{\sigma \times I}{y} = 3422,64 \text{ kgm}$$

$$P_1 = \frac{M \times 4}{l} = 236 \text{ kg}$$

$$\delta = \frac{1}{48} \times \frac{p \times l^3}{EI} = 213,5 \text{ cm}$$

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = \frac{\sigma \times I}{y} = \frac{2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2139,15 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 513396 \text{ kgcm} = 5133,96 \text{ kgm}$$

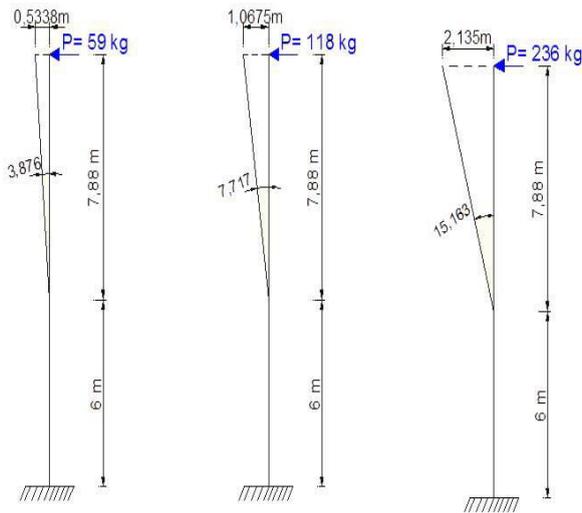
$$P = \frac{M \times 4}{l} = \frac{5133,96 \times 4}{58} = 354 \text{ kg}$$

$$d = \frac{1}{48} \times \frac{p \times l^3}{EI} = \frac{1}{48} \times \frac{354 \times 5800^3}{2,1 \times 10^6 \times 2139,15}$$

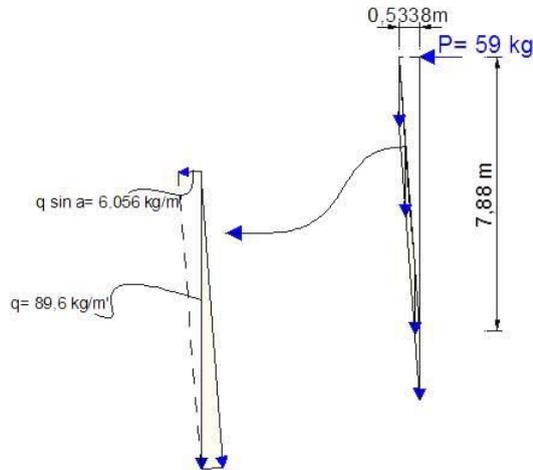
$$= 320,32 \text{ cm}$$

Tabel 3 Rekapitulasi deformasi dan sudut

| No | P (kg) | δ (cm) | α (°) |
|----|--------|---------------|--------------|
| 1 | 236 | 213,547 | 15,163 |
| 2 | 118 | 106,774 | 7,717 |
| 3 | 59 | 53,387 | 3,876 |

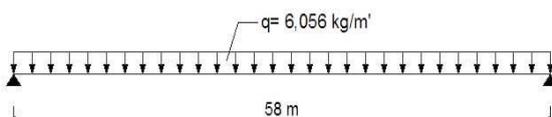


$$q \text{ balok} = 89,6 \text{ kg/m'}$$



$$q \sin a = 89,6 \times \sin 3,875^\circ$$

$$= 6,056 \text{ kg/m'}$$



$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 6,056 \times 58^2$$

$$= 2546,548 \text{ kgm}$$

$$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

$$= \frac{2546,548 \times 100 \times 10}{2139,15}$$

$$= 1190,4 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 4. Tegangan yang terjadi akibat sudut dari deformasi

| α (°) | q (kg/m) | M (kgm) | σ (kg/cm ²) |
|--------------|----------|----------|--------------------------------|
| 15,163 | 23,436 | 9854,968 | 4606,955 |
| 7,717 | 12,032 | 5059,249 | 2365,074 |
| 3,876 | 6,057 | 2546,853 | 1190,591 |

Jadi struktur tersebut akan roboh akibat adanya beban P. Beban P dapat terjadi akibat beban angin, untuk itu dihitung luas penampang yang dapat menerima beban angin.

- Analisa 1 portal :

Tinggi kolom = 6000 mm

$d_k = 600 \text{ mm}$

Untuk perhitungan struktur atas asumsi tinggi kolom/2 = 3000 mm

$$\text{Luas penampang kolom} = 2 \times (600 \times 3000)$$

$$= 2 \times 1.800.000 \text{ mm}^2$$

$$= 3,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang rafter} = 2 \times 30023 \text{ mm}$$

$$= 60046 \text{ mm}$$

$d_r = 750 \text{ mm}$

$$\text{Luas penampang rafter tanpa lubang} = 60046 \times 750$$

$$= 45.034.500 \text{ mm}^2$$

$$= 45 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas lubang penampang} = 2 \times \text{luas trapesium}$$

$$= 2 \times (150 + 478,62) \times 0,5 \times 290$$

$$= 182.299,8 \text{ mm}^2 = 0,18 \text{ m}^2$$

Jumlah lubang = $2 \times 34 = 68$ buah

Total luas lubang penampang = $68 \times 0,18 = 12,24 \text{ m}^2$

Luas penampang rafter netto = $45 - 12,24 = 32,76 \text{ m}^2$

Luas penampang total = $3,6 + 32,76 = 36,36 \text{ m}^2$

Berdasarkan skema luasan akan didapat nilai P yang berupa besar gaya yang terjadi akibat tekanan angin.

Beban angin tekan (P) = c x Luas pembebanan x Tekanan angina

V = 40 km/jam
 $= 40 \times \frac{1}{3,6} \text{ m/sec}$
 $= 11,11 \text{ m/sec}$

Untuk mendapatkan berapa beban angin yang bekerja, maka harus diketahui berapa besar tekanan angin. Kecepatan angin diasumsikan = 40 km/jam, dimana dalam kejadian tersebut tekanan angin tidak terjadi secara normal, dengan kondisi akan hujan dan angin kencang. Untuk mendapatkan tekanan angin digunakan rumus:

$$P = \frac{V^2}{16} (\text{kg/m}^2)$$

Sumber: PPIUG 1983 pasal 4.2 hal 23

dimana V adalah kecepatan angin dalam m/det

P = $11,11^2 / 16$
 $= 7,71 \text{ kg/m}^2$

| C | Beban angin/P (kg) |
|-----|--------------------|
| 0,9 | 252,302 |
| 0,4 | 112,134 |
| Σ | 364,436 |

Jadi Beban angin yang diterima adalah sebesar 364,436 kg

Gunakan cara awal seperti diatas, didapatkan :

Tabel 5 Rekapitulasi beban angin yang bekerja

| P (kg) | δ (cm) | α (°) | q (kg/m) | M (kgm) | σ (kg/cm2) |
|---------|----------|--------|----------|----------|------------|
| 364,436 | 329,7642 | 15,163 | 23,436 | 9854,968 | 4606,955 |

Karena tegangan yang terjadi melampaui tegangan leleh, dimana mulai terjadi perpanjangan (deformasi) secara permanen, Saat titik leleh ini tercapai, maka hubungan tegangan-regangan sudah tidak linear lagi, perpanjangan (deformasi) dari benda sudah tidak elastis lagi, tapi sudah plastis atau inelastis, jadi sedikit saja tegangannya dinaikan, maka perpanjangan (deformasi) akan menjadi berkali-kali lipat jika dibandingkan saat deformasinya masih elastis. Dan seandainya tegangan terus ditambah, maka pada suatu titik tertentu perpanjangan (deformasi) akan mencapai batasnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Laporan perhitungan struktur bangunan BN2 pabrik sarung tangan yang berada di Kabupaten Nganjuk merupakan acuan dalam pelaksanaan dilapangan. Analisa ulang terhadap laporan perhitungan struktur bangunan BN2 menyatakan bangunan tersebut aman, itu artinya tidak ada kesalahan dalam perencanaan. Bangunan industri tersebut masih dalam proses konstruksi dengan belum terpasangnya semua bagian secara lengkap, mengakibatkan kestabilan struktur terganggu. Beracuan pada grafik hubungan tegangan-regangan baja, dimana adanya tegangan ijin, leleh dan batas. Dari data tersebut dapat diketahui berapa besar beban yang bekerja sehingga dapat merobohkan bangunan.

Ketika baja sudah melebihi tegangan leleh, maka baja tersebut mengalami perpanjangan (deformasi) dari benda sudah tidak elastis lagi, tapi sudah plastis atau inelastis, jadi sedikit saja tegangannya dinaikan, maka perpanjangan

(deformasi) akan menjadi berkali-kali lipat jika dibandingkan saat deformasinya masih elastis. Dan seandainya tegangan terus ditambah, maka pada suatu titik tertentu perpanjangan (deformasi) akan mencapai batasnya.

Perhitungan yang dilakukan dengan meninjau profil rafter pada arah sumbu y didapatkan besar beban (P) pada tegangan ijin dan didapatkan deformasi yang akan membentuk sudut kemiringan. Dengan adanya sudut akibat deformasi maka berat sendiri profil tersebut tidak lagi diabaikan, karena adanya penguraian berat sendiri kearah sumbu x dan sumbu y. Penguraian berat sendiri profil ternyata mengakibatkan bangunan tersebut kuat menahan beban terhadap sumbu x, namun tidak terhadap sumbu y. Dari perhitungan tersebut didapatkan tegangan yang terjadi akibat sudut dari deformasi. Dengan melihat grafik hubungan tegangan-regangan kembali, didapatkan hasil diantara sudut $7,717^\circ$ - $15,163^\circ$ maka tegangan yang terjadi melampaui tegangan leleh bahkan melampaui tegangan batas sehingga dapat terjadi keruntuhan. Dengan menghitung total luas penampang yang dapat menerima beban dari arah horizontal adalah $36,36 \text{ m}^2$. Beban yang memungkinkan pada saat kejadian adalah beban angin, dengan peninjauan terhadap beban angin dihitung ulang seperti diawal dan didapatkan tegangan sebesar $4606,955$ dengan tegangan sebesar itu dapat dipastikan bangunan tersebut runtuh.

Berdasarkan pada kajian keruntuhan bangunan, perlu diperhatikan kekuatan penampang terhadap beban horizontal, sehingga tidak sampai mengakibatkan adanya perpanjangan (deformasi) tertentu. Akibat dari adanya deformasi akan terbentuk sudut, sehingga bangunan tersebut tidak kuat menahan beban sendiri dan beban yang ada di atasnya dari penguraian arah sumbu y, sehingga perlu diperhatikan bagaimana mempertahankan struktur tersebut sehingga tidak terjadi pembentukan sudut apalagi bangunan

tersebut masih dalam tahap konstruksi, yang satu sama lain bagiannya belum saling mendukung menjadi satu kesatuan bangunan yang utuh. Jadi perlu adanya perkuatan-perkuatan lain dalam pengerjaan dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewabroto. 2007. Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000 Edisi Baru. Jakarta: PT Elexmedia Kompitindo.
- Wibowo, MA. 2006, 26 Januari. Kecelakaan dan Kegagalan Konstruksi. Suara Merdeka.
- Riza Miftakhur. 2011. Balok Kastella Honey Comb. <http://www.perencanastruktur.com/2011/04/perencanaan-balok-kastella-honeycomb.html>. (diakses 28 Agustus 2015)
- Republik Indonesia. 1999. Undang-Undang Nomer 18 Tahun 1999 Tentang Jasa Konstruksi. Lembaga Negara RI 1999. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. 2000. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomer 29 Tahun 2000 tentang Penyelenggaraan Jasa Konstruksi.
- Yattes, J.K. 2007 Global Engineering dan Construction. Cannada: United States of America
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-1728-2002. Tata Cara Perencanaan Baja untuk Bangunan Gedung. Bandung
- Setiawan Agus. 2008. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1729-2002). Jakarta: PT. Erlangga.
- Republik Indonesia. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia 1983. Jakarta