

ANALISIS RISIKO DAN KEANDALAN STRUKTUR RANGKA BATANG MENGGUNAKAN METODE FIRST ORDER SECOND MOMENT (FOSM)

Adriyansyah

Email : adriyan_ubb@yahoo.com

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu UBB Balunujuk, Merawang, Kab. Bangka

ABSTRAK

Tugas seorang engineer struktur adalah untuk memastikan kinerja struktur yaitu aman dan kemampuan layanan dalam memikul beban lebih besar dari beban yang bekerja. Saat proses desain, banyak sekali informasi berupa input desain yang terkadang tidak pasti, tidak tepat, dan tidak lengkap sehingga menimbulkan ketidakpastian dari hasil desain. Ketidakpastian tersebut diukur dari risiko dan keandalan dari struktur yang dirancang. Salah satu cara untuk menentukan besarnya risiko dan keandalan dari struktur yang dirancang adalah metode first order second moment (FOSM). Metode ini menggunakan pendekatan deret Taylor orde pertama dari fungsi kinerja yang dilinierisasi pada nilai mean variabel acak, dan hanya menggunakan moment kedua untuk mendapatkan indeks keandalan. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa profil siku ganda 2L25x25x3 dan 2L40x40x3 memiliki keandalan yang tinggi dan memiliki risiko kegagalan yang kecil dimana hasil analisis menunjukkan bahwa $p_f < 0.001$.

Kata Kunci : analisis risiko, keandalan, first order second moment (FOSM).

PENDAHULUAN

Tugas seorang *engineer* struktur adalah untuk memastikan bahwa kinerja struktur yaitu aman dan kemampuan layanan dalam memikul beban lebih besar dari beban yang bekerja. Saat proses desain, banyak sekali informasi berupa input desain yang terkadang tidak pasti, tidak tepat, dan tidak lengkap sehingga menimbulkan ketidakpastian dari hasil desain.

Secara umum ketidakpastian dibagi menjadi dua kategori utama yaitu ketidakpastian yang disebabkan alam dan ketidakpastian yang disebabkan kesalahan manusia. Ketidakpastian yang

disebabkan oleh alam seperti beban gempa, beban angin, dan lain-lain. Ketidakpastian yang disebabkan manusia seperti kesalahan perhitungan, penggunaan material yang tidak memadai, buruknya sambungan, kelalaian dan lain-lain.

Dalam proses perencanaan umumnya menggunakan aturan *code* atau standar yang ada dimana masih menggunakan konsep desain deterministik. Desain deterministik menggunakan faktor keamanan untuk menangani ketidakpastian dalam perencanaan struktur. Faktor keamanan menggunakan

cara kalibrasi sehingga keandalan (*reliability*) struktur ditinjau pada situasi desain rata-rata yang mana tidak dapat memastikan keandalan untuk kondisi desain tertentu. Hal yang berbeda jika kita menggunakan konsep desain berdasarkan probabilistik. Metode probabilitas menggunakan pendekatan yang lebih rasional dalam memandang ketidakpastian dari keamanan dan kemampuan layanan struktur. Salah satu metode probabilitas yang bisa digunakan adalah *first order second moment (FOSM)*.

Metode *FOSM* merupakan metode yang menggunakan pendekatan deret Taylor orde pertama dari fungsi kinerja yang dilinierisasi pada nilai *mean* variabel acak, dan metode ini hanya menggunakan statistik moment kedua (mean dan kovarian) dari variabel acak.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis risiko dan keadalan dari elemen struktur dengan menggunakan *first order second moment (FOSM)*. Kode peraturan yang digunakan dalam perencanaan struktur menggunakan *American Institute Of Steel Construction (AISC 2010)*.

LANDASAN TEORI

Struktur Rangka

Struktur rangka batang merupakan struktur yang terdiri dari gabungan batang-batang yang membentuk struktur berbentuk segitiga dan terhubung satu sama lain, serta dibebani pada *joint*. Secara teoritis, batang pada sebuah *truss* diasumsikan terhubung satu sama lain dengan *joint*, meskipun pada kenyataannya *joint* kurang kaku karena pengelasan atau batang dibaut bersama-sama. Selama beban bekerja pada *node*,

batang hanya akan dikenakan gaya aksial tekan atau tarik.

Batang Tarik

Batang tarik adalah elemen struktur yang dikenakan gaya tarik aksial. Untuk merancang batang tarik tahapan nya sebagai berikut.

Luas penampang utuh (*gross*) untuk siku ganda :

$$A_g = 2A$$

Kuat tarik nominal dari kriteria leleh penampang utuh dirumuskan sebagai :

$$\phi P_n = 0.9 F_y A_g$$

Faktor *shear-lag* untuk batang tarik dengan baut atau las dirumuskan sebagai:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$$

Dalam menghitung luas penampang bersih spesifikasi *AISC* bagian B4.3 mensyaratkan bahwa $1/16$ in ditambahkan ke diameter lubang baut. Luas penampang bersih (*netto*) dirumuskan sebagai :

$$A_n = A_g - \left(d_h + \frac{1}{16} \text{ in} \right) t_f$$

Luas penampang efektif dirumuskan sebagai :

$$A_e = A_n U$$

Kuat tarik dari kriteria fraktur penampang berlubang dirumuskan sebagai :

$$\phi P_n = 0.75 F_u A_e$$

Batang Tekan

Batang tekan adalah elemen struktur yang dikenakan gaya tekan aksial dimana beban diterapkan sepanjang sumbu longitudinal melalui pusat penampang melintang elemen. Untuk merancang batang tarik tahapan nya sebagai berikut.

Luas penampang utuh (*gross*) untuk siku ganda :

$$A_g = 2A$$

Momen inersia :

$$I_{gx} = 2I_x$$

$$I_{gy} = 2I_y + 2A \left(\text{posisi titik berat} + \frac{\text{tebal pelat}}{2} \right)^2$$

Radius girasi :

$$r_{gx} = \sqrt{\frac{I_{gx}}{A_g}}$$

$$r_{gy} = \sqrt{\frac{I_{gy}}{A_g}}$$

Tinjauan tekuk sumbu lemah profil gabungan sumbu **x-x** :

Jika $\frac{KL}{r_{\min}} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka yang terjadi

adalah tekuk elastis sehingga

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Tekuk lentur dirumuskan sebagai :

$$F_{cr} = 0.877 F_e = 0.2 F_y$$

Jika $\frac{KL}{r_{\min}} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka yang terjadi

adalah tekuk inelastis sehingga

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Tekuk lentur dirumuskan sebagai :

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) F_y$$

Kuat tekan nominal dirumuskan sebagai :

$$\phi P_n = 0.9 F_{cr} A$$

Tinjauan tekuk sumbu lemah profil gabungan sumbu **y-y** :

$$\frac{3}{4} \frac{KL_y}{r_{gy}} < \frac{a}{r_{\min}}$$

$$\left(\frac{KL}{r} \right)_m = \frac{KL_y}{r_{gy}}$$

Tegangan kritis tekuk – torsi :

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{\frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$$

Ditinjau tekuk pada sumbu simetri :

$$\frac{KL_y}{r_{gy}} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{maka yang terjadi}$$

adalah tekuk inelastis sehingga

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL_y/r_y)^2}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) F_y$$

$$F_{cry} = F_{cr}$$

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g r_0^2}$$

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^2}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$$

Kuat tekan nominal :

$$\phi P_n = 0.9 F_{cr} A$$

Risiko dan Keandalan

Risiko didefinisikan sebagai peluang kegagalan struktur (p_f) selama masa pakai yang ditentukan dalam kondisi operasi tertentu. Sedangkan keandalan (*reliability*) merupakan peluang tak gagal $p_r = 1 - p_f$. Nilai peluang kegagalan untuk estimasi keandalan adalah $p_f < 0.001$.

Pandang kasus untuk dua variable acak resistensi R dan variable acak beban S dengan asumsi R dan S berdistribusi lognormal dan saling bebas.

Persamaan permukaan kegagalan :

$$M = \ln\left(\frac{R}{S}\right) = 0$$

Menggunakan pendekatan varians :

$$\mu_M = E\left[\ln\left(\frac{R}{S}\right)\right] \approx \ln\left(\frac{\mu_R}{\mu_S}\right)$$

$$\sigma_M^2 = \text{Var}\left[\ln\left(\frac{R}{S}\right)\right] \approx \delta_R^2 + \delta_S^2$$

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{\mu_R}{\mu_S}\right)}{\sqrt{\delta_R^2 + \delta_S^2}}$$

Peluang Kegagalan :

$$p_f = \Phi(-\beta)$$

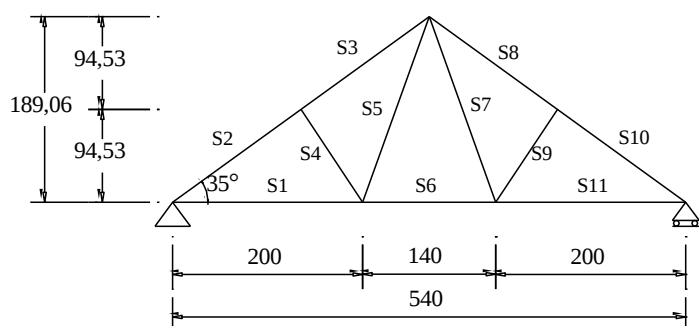
Peluang Keandalan :

$$p_r = 1 - p_f$$

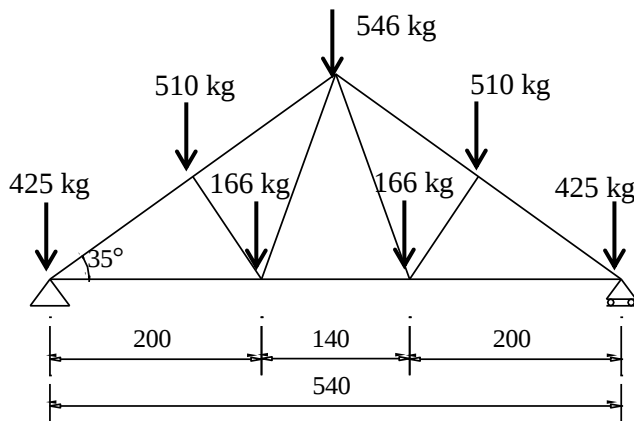
METODE PENELITIAN

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah mencari gaya-gaya dalam akibat beban yang bekerja pada struktur rangka batang. Kemudian menetapkan profil baja yang akan digunakan dalam desain. Setelah menetapkan profil baja yang akan digunakan, dilakukan analisis untuk mendapatkan luas penampang yang dibutuhkan. Dari luas penampang dan profil yang digunakan dilakukan analisis risiko dan keandalan untuk mengetahui berapa peluang kegagalan dan peluang keandalan struktur.

Struktur rangka batang yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



a. Struktur rangka batang dengan 11 elemen (satuan dalam cm)



b. Pembebanan pada struktur rangka batang

Gambar 1. Struktur rangka batang yang ditinjau

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Material baja BJ 37 dengan sifat mekanis baja :

Tegangan leleh $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

Tegangan putus $f_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$

Data Profil Siku Sama Kaki L25x25x3

Luas penampang $A = 1.427 \text{ cm}^2$

Posisi titik berat $C_x = C_y = \bar{x} = 0.719 \text{ cm}$

Momen Inersia $I_x = I_y = 0.797 \text{ cm}^4$

Radius girasi $r_x = r_y = 0.747 \text{ cm}$

Data Profil Siku Sama Kaki L40x40x3

Luas penampang $A = 2.336 \text{ cm}^2$

Posisi titik berat $C_x = C_y = \bar{x} = 1.090 \text{ cm}$

Momen Inersia $I_x = I_y = 3.530 \text{ cm}^4$

Radius girasi $r_x = r_y = 1.230 \text{ cm}$

Data Resistensi

$$R = \phi P_n$$

dengan asumsi rata-rata variabel acak resistensi $\mu_R = R$ dan koefisien variasi variabel acak resistensi $\delta_R = 15\%$

Data Beban

$$S = P_u$$

dengan asumsi rata-rata variabel acak beban $\mu_S = S$ dan koefisien variasi variabel acak beban $\delta_S = 10\%$

Adapun hasil analisis yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

No. Batang	Panjang (cm)	Gaya-gaya Dalam (kg)	Profil Baja	Luas Penampang (cm ²)	Resistensi $R = \phi P_n$ (kg)	Indeks Keandalan β	Peluang Keandalan P_r	Peluang Kegagalan P_f
S1	200	1355.28	2L25x25x3	2.854	5236.425	7.497	1	3.26968E-14
S2	164.805	-1654.51	2L40x40x3	4.672	4050.417	4.966	0.999999658	3.42105E-07
S3	164.805	-1365.54	2L40x40x3	4.672	4050.417	6.031	0.999999999	8.16254E-10
S4	114.720	-417.78	2L25x25x3	2.854	1886.860	8.363	1	3.06248E-17
S5	201.600	544.10	2L25x25x3	2.854	5236.425	12.56	1	0
S6	140.000	929.65	2L25x25x3	2.854	5236.425	9.588	1	4.5102E-22
S7	201.600	544.10	2L25x25x3	2.854	5236.425	12.56	1	0
S8	164.805	-1365.54	2L40x40x3	4.672	4050.417	6.031	0.999999999	8.16254E-10
S9	114.720	-417.78	2L25x25x3	2.854	1886.860	8.363	1	3.06248E-17
S10	164.805	-1654.51	2L40x40x3	4.672	4050.417	4.966	0.999999658	3.42105E-07
S11	200	1355.28	2L25x25x3	2.854	5236.425	7.497	1	3.26968E-14

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar indeks keandalan maka semakin kecil peluang kegagalan dan semakin besar keandalan struktur yang dirancang.
2. Profil baja siku yang digunakan yaitu 2L25x25x3 dan 2L40x40x3 memiliki keandalan yang tinggi dan memiliki risiko kegagalan yang kecil dimana hasil analisis menunjukkan bahwa $P_f < 0.001$.

DAFTAR PUSTAKA

1. AISC, 2010, *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10)*, American Institute Of Steel Construction, Chicago, Illinois, 22 June 2010.
2. Ranganathan, R., 1999, *Structural Reliability Analysis and Design*, Jaico Publishing House.
3. Dewobroto, W., 2015, *Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010*, Lumina Press.
4. SNI 07-2054-2006, *Baja Profil Siku Sama Kaki Proses Canai Panas*, Badan Standarisasi Nasional.