
ANALISIS STABILITAS STEEL MODULAR SCAFFOLDING (PERANCAH BAJA) PADA PEKERJAAN BANGUNAN STRUKTUR TAILRACE SURGETANK DI PROYEK PEMBANGUNAN PLTA ASAHAN 3

Marah Husin Fadli Lubis, Johannes Taringan

Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara, Sumatra Utara, Indonesia

Emails: marahhusinfadli@gmail.com, johannes.tarigan@usu.ac.id

Abstrak:

Perancah baja modular merupakan salah satu jenis perancah yang sekarang banyak digunakan didunia konstruksi. Untuk menghindari terjadinya kegagalan bekisting dan perancah akibat beban-beban yang bekerja dan faktor lainnya, maka konstruksi bekisting dan perancah harus memenuhi syarat kekuatan, kekakuan dan stabilitas. Perencanaan baja umumnya langsing dan memerlukan analisis stabilitas. Hasilnya di pengaruhi adanya imperfection (non linear geometri) dan kondisi inelastis (non linear material). Dalam analisa stabilitas struktur perancah baja, diperlukan analisis kapasitas beban dengan cara pemodelan numerik. Analisis kekuatan maksimum struktur baja memerlukan analisis komputer *elastic second order analysis* didasari metode *Direct Analysis Method (DAM)*. Metode baru berbasis komputer yang dimuat dalam SNI perencanaan baja Indonesia terbaru (SNI 1729-2015). Dalam analisisnya pembebanan diberikan bertahap, dan setiap tahapan akan dilakukan evaluasi kuat tersedia dan kuat perlu. Beban maksimum dianggap tercapai apabila kuat tersedia besarnya sama dengan kuat perlu. Pemodelan perancah terdiri dari 25 tingkat, setiap tingkat memiliki tinggi 1,5 meter. Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi kuat penampang elemen yang ditinjau, sehingga didapatkan kapasitas maksimum pada perancah tingkat 1 sebesar 68,48 kN. Dan beban kapasitas maksimum pada perancah 25 tingkat sebesar 51,30 kN. Daya dukung elemen berkurang, disebabkan oleh adanya momen yang besar. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat hasil analisis stabilitas dan kapasitas beban ultimit terhadap *Steel Modular Scaffolding* (perancah baja) dengan *Direct Analysis Method (DAM)* pada pekerjaan struktur Area Tailrace Surgetank di Proyek PLTA Asahan 3. Dan untuk melihat kemampuan perancah saat memikul beban pengecoran.

Kata Kunci: Perancah Baja Modular, Analisis Stabilitas, Metode Analisis Langsung

Abstract:

Modular steel scaffolding is one type of scaffolding that is now widely used in the world of construction. To prevent formwork and scaffolding failure due to loads and other factors, the formwork and scaffold construction must meet the requirements for strength, rigidity and stability. Steel plans are generally slender and require stability analysis. The results are influenced by imperfection (non-linear geometry) and inelastic conditions (non-linear material). In analyzing the stability of steel scaffolding structures, it is necessary to analyze the load capacity by means of numerical modeling. Analysis of the maximum strength of steel structures requires computer analysis of elastic second order analysis based on the Direct Analysis Method (DAM). A new computer-based method contained in the latest Indonesian SNI for steel planning (SNI 1729-2015). In the analysis, the loading is given in stages, and each stage will be evaluated for strength available and strength needed. The maximum load is considered to have been reached when the available strength is the same as the required strength. The scaffolding model consists of 25 levels, each level is 1.5 meters high. Based on the results of the analysis and evaluation of the cross-section strength of the elements reviewed, the maximum capacity of the scaffold level 1 is 68.48 kN. And the maximum capacity load on the 25 story scaffolding is 51.30 kN. The bearing capacity of the elements is reduced, due to the presence of large moments. The purpose of this study was to see the results of the analysis of stability and ultimate load capacity of Steel Modular Scaffolding with the Direct Analysis Method (DAM) in the structural work of the Tailrace Surgetank Area in the Asahan 3 Hydropower Project. And to see the ability of the scaffold when carrying the casting load.

Keywords: *Modular Steel Scaffolding, Analysis Stability, Direct Analisis Method*

Article History

Diterima : 28 Januari 2023
Direvisi : 12 Februari 2023
Publish : 28 Februari 2023

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia konstruksi modern sudah baik dari segi metode perencanaan yang diterapkan serta material yang digunakan, yang bertujuan untuk meningkatkan mutu dan kualitas dari produk konstruksi. Perkembangan yang pesat dan tingkat kompleksitas tinggi. Salah satu inovasi dalam perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan adalah penggunaan sistem bekisting (*formwork*) dan perancah baja (*scaffolding*) (Uji, 2012).

Keberhasilan penggunaan sistem ring-lock *scaffolding* di berbagai proyek konstruksi tidak dapat dipungkiri. Sistem ini dipilih karena sudah terbukti di lapangan (Valerii, 2011) Pengendalian mutu teknis juga dapat tercapai karena proses produksi yang dikerjakan di dalam pabrik. Pengujian laboratorium untuk memastikan kualitas produk perancah baja. Untuk menghindari terjadinya kegagalan bekisting dan perancah akibat beban-beban yang bekerja

dan faktor lainnya, maka sebuah konstruksi bekisting dan perancah harus memenuhi Sistem perancah adalah struktur sementara yang digunakan untuk menopang beban konstruksi. Beban berat sendiri, beton segar, bekisting, baja, pekerja dan peralatan atau lateral (angin dan gempa bumi). Perancah sebagai penopang mendukung atas beban berat beban, misalnya berat beton di bekisting.

Sistem perancah baja umumnya terdiri kolom-kolom pipa baja yang disatukan dengan *Bracing* atau batang silang. Untuk mendesainnya maka struktur perancah dapat dimodelkan sebagai sistem struktur rangka tidak bergoyang, selanjutnya kapasitas kolom dihitung sebagai kolom pipa tunggal yang mempunyai panjang efektif $KL=1$. Untuk keperluan tinggi perancah yang tertentu, sistem perancah perlu dibuat bertingkat dengan cara disusun dari beberapa tumpukan perancah yang ada. Jika susunan tingkat relatif langsing, cara pendekatan dengan $KL=1$ untuk tiap tingkat tentu tidak bisa dilakukan lagi (Dewobroto & Chendrawan, 2018).

Solusi yang disarankan (Committee, 2010) pada Chapter C adalah cara DAM (*Direct Analysis Method*) akan digunakan dengan dukungan program komputer SAP2000. DAM dianggap lebih sederhana dibanding metode elemen hingga, sehingga dipilih sebagai metode numerik alternatif untuk memprediksi kekuatan sistem perancah baja. Asumsi seperti itu biasa pada perencanaan pakai cara lama (ELM), yang tidak memperhitungkan imperfection. Maka strategi analisis keruntuhan struktur baja dengan DAM mulai menjadi solusi pilihan (East & Rutz, 2016).

Pembangunan PLTA Asahan 3 meliputi Area Tailrace Surgetank dengan total tinggi 37,6 meter. Dan pada bagian atas terdapat pelat penutup / lantai setebal 1,0 meter. Untuk pekerjaan pelat penutup/lantai direncanakan sebuah rangkaian perancah baja dengan ukuran panjang 18,75 meter, lebar 9,75 meter dan tinggi 37,25 meter. Analisis kapasitas beban ultimit dilakukan dengan cara pemodelan numerik. Sehingga analisis dengan program SAP dapat lebih mempermudah dalam menghitung batas maksimum yang dapat dipikul oleh perancah bertingkat.

Istilah *Direct Analysis Method* (DAM) mulai muncul di Chapter C – *Design for Stability* (AISC 2010), yang mensyaratkan bahwa stabilitas adalah hal penting pada perencanaan struktur baja, dan harus ditinjau secara keseluruhan, baik sebagai struktur (global), atau sebagai elemen-elemen penyusunnya (lokal). Dalam memperhitungkan stabilitas, perlu dimasukkan juga faktor-faktor yang mempengaruhi deformasi elemen akibat momen lentur, gaya aksial atau gaya geser, juga bentuk deformasi lain yang dapat mempengaruhi perilaku struktur. Kemudian Pengaruh orde-2, baik $P-\Delta$ (global - struktur) atau $P-\delta$ (lokal – elemen). Selanjutnya Ketidak-sempurnaan geometri (*geometry imperfection*).

Pemodelan struktur untuk analisis numerik dengan DAM relatif sederhana, cukup memakai elemen garis (satu dimensi) atau biasa disebut elemen frame. Ini berbeda dibandingkan program komputer profesional berbasis metode elemen hingga, yang dapat memodelkan geometri struktur secara realistis, seperti ABAQUS, ANSYS, SAP2000 dan program

lainnya. Program program seperti itu selain menyediakan elemen garis juga menyediakan elemen solid untuk pemodelan tiga dimensi.

Penelitian terkait perancah baja dilakukan dilakukan oleh (Talim & Teruna, 2017). Analisis Pengaruh Kuat Tekuk Pada Sistem Perancah Bangunan (*Scaffolding*) dengan Metode Analisa Langsung (*Direct Analysis Method*). Tujuan dilakukannya analisis ini yaitu untuk meninjau kuat tekan maksimum yang terjadi pada *scaffolding* 3 tingkat sebelum terjadinya tekuk dengan metode analisa langsung (DAM). Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil kuat tekan maksimum yang didapat terjadi perpindahan yang besar secara drastic dalam langkah iterasi.

Penelitian terhadap perancah oleh (Dewobroto & Chendrawan, 2018) Analisis Kapasitas Beban Ultimate Perancah Baja Menggunakan Metode Analisis Langsung. Melakukan uji empiris dan meninjau kekuatan batas perancah baja berbasis komputer dengan DAM (AISC 2016). Analisa Perhitungan Kekuatan Perancah Terhadap Waktu Siklus Pengecoran Lantai Untuk Memenuhi Keamanan Struktur Bangunan juga dilakukan penelitian oleh (Doloksaribu, 2018). Dalam analisis stabilitas dilakukan penelitian oleh (Diógenes et al., 2010) mengenai stabilitas modular scaffolding system. Mereka melakukan evaluasi beban tekuk sistem penopang modular. Hasil dari penelitian tersebut memaparkan selain beban vertikal utama, beban horizontal juga bekerja pada sistem penopang. Teori stabilitas bahwa ketidaksempurnaan geometris dan beban dapat terjadi mengurangi daya dukung struktur yang sempurna.

Penelitian Stabilitas antara perancah kayu dan baja dilakukan oleh (Peng, 2002) menganalisis Stabilitas dan Rekomendasi Desain untuk Sistem Shoring Praktis selama Konstruksi. Mereka melakukan perhitungan dan menyelidiki analisis stabilitas dan pedoman desain sistem pekerjaan perancah 1 tingkat dari kayu dan baja. Penelitian oleh (Zhang & Ma, 2022), menganalisis Kestabilan Struktur Baja Tubular Scaffold dengan Skrup Berdasarkan Metode Analisis Langsung. Mereka menganalisis STSC dengan metode D

AM dan memaparkan untuk memastikan kekuatannya saat digunakan di lokasi, beban akhir analisis kapasitas telah dilakukan untuk menemukan beban maksimum yang dapat ditopang oleh struktur. Secara umum, untuk analisis seperti itu, komputer berbasis FEM yang relatif canggih program dan prosedur rumit akan digunakan. Penelitian berhasil menyelesaikan analisis dengan menggunakan metode yang lebih sederhana, yaitu DAM, yang merupakan desain baja struktural terbaru metode (AISC 2005, 2010, 2016).

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan studi literatur dan analisis dengan metode kuantitatif (Sugiono, 2016). menggunakan program komputer SAP2000 dengan opsi Nonlinear P-Delta aktif.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur mengenai kapasitas perancah *baja modular steel scaffolding* dan dilakukan juga studi berdasarkan penelitian – penelitian terdahulu dan terkait dengan penelitian ini. Dilakukan analisa terhadap Perancah untuk

penopang bekisting pekerjaan Pelat penutup/lantai di *Area Tailrace Surgetank* pada Proyek PLTA Asahan 3.

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga, dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator. Beberapa komponen penting yang digunakan pada PLTA termasuk komponen struktur *Area Tailrace Surgetank*. *Tailrace Surgetank* atau disebut juga Tangki Pendatar adalah tangki besar yang diletakkan di ujung terowongan tekan. Fungsinya yang utama adalah untuk mengatasi water hammer (pukulan air) pada pipa pesat dan terowongan tekan, akibat dari debit air pada turbin tiba-tiba berubah. Untuk PLTA dengan waduk yang besar dan jarak yang tidak terlalu jauh dari sentral, maka tidak diperlukan tangki pendatar, karena waduk itu sendiri yang dapat dijadikan pelepas tekanan air (Syahputra et al., 2017).

System Steel Modular Scaffolding yang dipakai sebagai desain alternatif pada proses ini adalah *Peri Up Shoring System*. Analisis Stabilitas Perancah baja berdasarkan AISC 360-16 dengan prinsip LRFD dan *Direct Analysis Method* (DAM). Metode baru berbasis komputer yang dimuat dalam SNI perencanaan baja Indonesia terbaru (SNI 1729-2015). Lokasi dan struktur dapat dilihat pada gambar 1.

Gambar 1

Dimensi dan Ukuran Struktur *Tailrace Surgetank*

Perancangan stabilitas struktur adalah kombinasi analisis untuk menentukan kuat perlu penampang dan merancang agar mempunyai kekuatan yang mencukupi dengan melakukan simulasi numerik. Kemudian dilakukan pemodelan struktur perancah dan perancangan cara *Direct Analysis Method*.

Tahap berikutnya setelah diperoleh nilai analisis dari komputer dan kondisi beban maksimum sebelum terjadinya instabilitas struktur, maka gaya gaya internal yang ada akan dievaluasi pada nilai kuat nominalnya berdasarkan AISC. Nilai kondisi beban terkecil dianggap

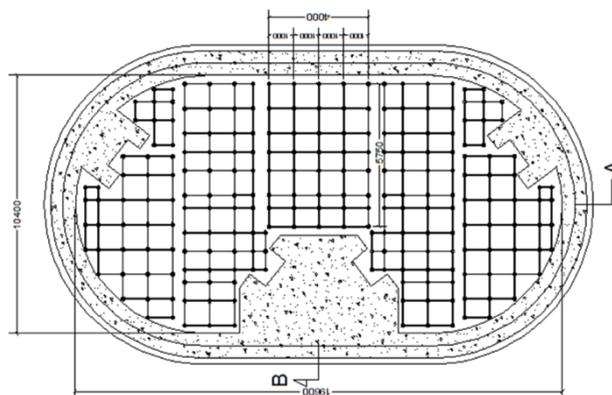
sebagai kapasitas struktur (*ultimate*). Tahapan ini diperlukan untuk menguji apakah pemodelan struktur *scaffolding*, yang mencakup konfigurasi geometri dan penempatan beban Notional dapat menghasilkan simulasi stabilitas yang berkesesuaian.

Untuk melakukan analisis program SAP2000, yaitu *Display - Show Plot Function* (F12), dapat digunakan untuk merekam keluaran gaya-gaya internal dan deformasi ($P-\Delta$) untuk setiap tahapan beban yang diberikan. Selanjutnya data tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk kurva, sehingga memudahkan untuk dilakukan perbandingan. Dari kurva $P-\Delta$ dapat diketahui beban maksimum sesaat sebelum terjadi keruntuhan (terlihat dari adanya deformasi besar pada titik yang ditinjau). Gaya-gaya internal selanjutnya menjadi R_u . Pada tahap berikutnya adalah evaluasi kuat penampang, ϕR_n . Beban maksimum struktur dapat diperoleh jika ketentuan berikut, yaitu $R_u \cong \phi R_n$ dapat terpenuhi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

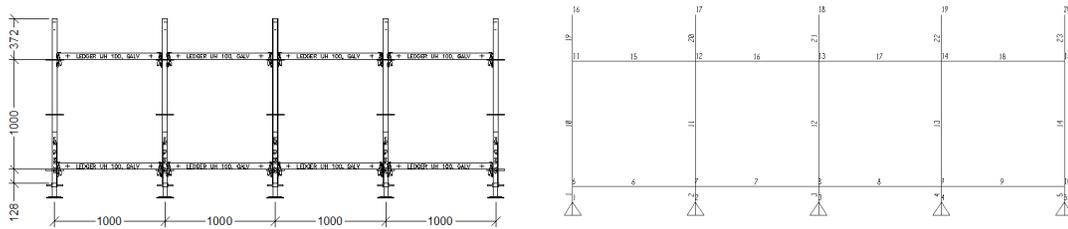
Persyaratan utama pada struktur yaitu dimana perancah baja harus memenuhi syarat kekuatan, kekuatan dan kestabilan. Dalam perencanaan struktur perancah yang harus dilakukan adalah mempelajari struktur bangunan dan melaksanakan diskusi terkait kebutuhan dilapangan baik secara teknis dan biaya. Desain alternatif untuk kebutuhan perancah seperti yang terlihat di Gambar 2.

Gambar 2
Layout Perancah

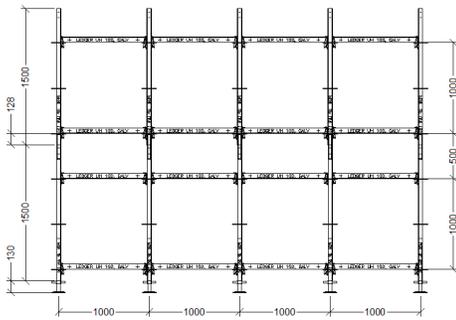


Untuk analisa struktur dengan efek P -delta, dibuatlah pemodelan struktur *scaffolding*. Model yang dibuat adalah rangka bidang atau plane frame, adapun arah tegak lurus-nya dianggap terkekang (tidak terjadi tekuk). Karena bentuk rangka arah ortogonal adalah simetri, maka cukup ditinjau satu sisi saja. Mengacu pada detail rencana maka akan modelkan struktur bidang dengan notasi penomoran titik nodal dan elemen batang pada Gambar 3 dan 4.

Gambar 3
Sistem Penomoran Model Struktur Perancah-1 Tingkat

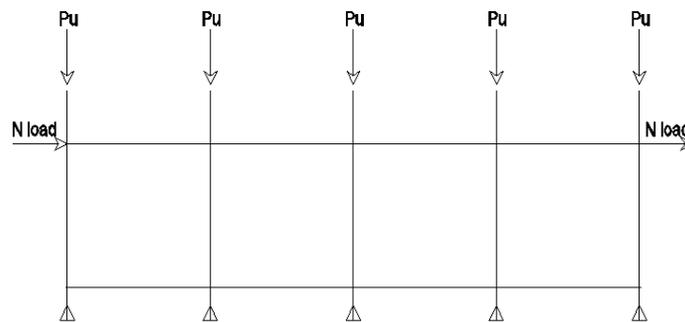


Gambar 3
Sistem Penomoran Model Struktur Perancah – 2 Tingkat dan *scaffolding* tingkat seterusnya

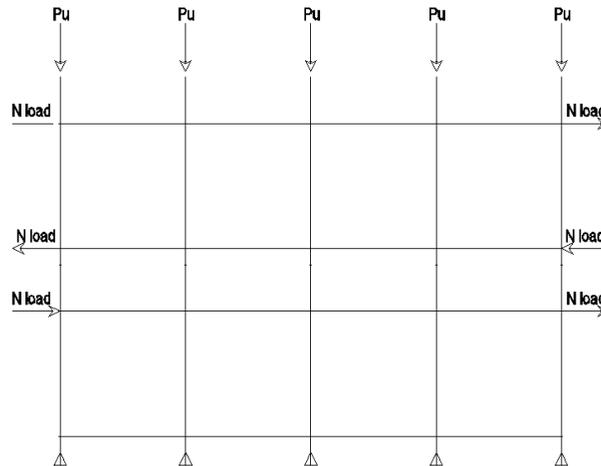


Menentukan imperfection yang akan ditinjau pada gambar 4 untuk perancah tidak bertingkat dan gambar 5 untuk perancah bertingkat., yang berbeda pada arah beban Notional (AISC) selanjutnya dicari efek beban yang paling menentukan.

Gambar 4
Penempatan Beban Ultimate (P_u) dan *Notional* (N_{load}) – 1 tingkat



Gambar 5
Penempatan Beban Ultimate (P_u) dan *Notional* (N_{load}) – Bertingkat



Sesuai ketentuan DAM, beban Notional pada kondisi maksimum diambil 0,003.Yi ditempatkan pada titik-titik *imperfection*. Selanjutnya dianalisis dengan software SAP2000 opsi Nonlinear P-Delta aktif dan dengan opsi *Display – Show Plot Function*. Dapat dihasilkan rekamann pertambahan gaya – perpindahan lateral pada titik di bagian atas kolom yang terkekang (titik nodal 11) pada gambar 2 dan 3. Pemodelan pada analisis akan ditinjau sebanyak 24 tingkat dengan ketinggian masing-masing 1,5 meter

Setelah didapatkan hasil analisa menggunakan software SAP2000, selanjutnya akan dilakukan peninjauan detail dan evaluasi kekuatan penampang nominal elemen kolomnya secara lokal sesuai ketentuan AISC. Dari pemodelan sebelumnya, peninjauan terhadap elemen #10 maka kemudian dilakukan pengecekan kuat penampang nominal. Beban terkecil adalah yang menentukan. Kondisi batas material dievaluasi berdasarkan kekuatan nominal dari penampang structural elemen #10.

Kolom Pipa

Diameter Luar Pipa (d_2)	= 48,3 mm
Tebal pipa (t)	= 3,2 mm
Diameter Dalam Pipa (d_1)	= 48,3 – (2 x 3,2 mm) = 41,9 mm
Luasan Pipa (A)	= 453,17 mm ²
Inersia Pipa (I)	= 115797,77 mm ⁴
Jari-jari girasi pipa (r)	= 15,98 mm
Modulus Plastis (Z)	= 6519,75 mm ³

Check local buckling dengan Table B.1a – AISC

$$\frac{D}{t} = \frac{48,3}{3,2t} = 15,09 < 0,11 \frac{E}{F_y} = 0,11 \times \frac{200000}{235} = 93,62$$

Kolom perancah dari pipa, merupakan non-slender element, tidak ada resiko tekuk lokal (*Local buckling*). Jarak *horizontal* dianggap panjang elemen bebas.

KL = 1,0 m dimana K = 1 (AISC).

Menghitung Kelangsingan pipa perancah :

$$\frac{KL}{r} = 62,56 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,965 \text{ maka tegangan kritis pipa perancah dihitung}$$

berdasarkan tekuk inelastis sebagai berikut :

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{(3,14)^2 \cdot 200000}{62,56} = 503,89 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = \left(0,658 \frac{235}{503,89}\right) \cdot 235 = 193,33 \text{ Mpa}$$

Sehingga didapatkan :

$$P_n = F_{cr} \cdot A = 193,3 \text{ Mpa} \times 453,16 \text{ mm}^2 = 87,61 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \cdot A = 235 \text{ Mpa} \times 453,16 = 106,49 \text{ kN}$$

$$P_n / P_y = 89,10 / 106,49 = 0,823$$

Check lentur akibat kondisi *imperfection*, diawali dengan mengecek *local buckling*

$$\frac{D}{t} = \frac{48,3}{3,2} = 15,09 < 0,07 \frac{E}{F_y} = 0,11 \times \frac{200000}{235} = 59,57$$

Menghitung penampang non-slender, sesuai ketentuan F8 (AISC) dapat terjadi plastis atau leleh:

$$M_n = F_y \cdot Z$$

$$M_n = 235 \times 6519,755$$

$$M_n = 1,532 \text{ kN-m}$$

Selanjutnya akan dilakukan evaluasi terhadap kondisi tegangan gabungan berdasarkan ketentuan AISC H1 (*Double and Singly Symmetric Member Subject to Flexure and Axial Force*).

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8 M_r}{9 M_c} = \frac{P_u}{\phi P_c} + \frac{8 M_u}{9 M_n} \approx 1$$

Nalisis Stabilitas *Steel Modular Scaffolding* (Perancah Baja) pada Pekerjaan Bangunan Struktur *Tailrace Surgetank* di Proyek Pembangunan PLTA Asahan 3

Dari hasil analisis dan evaluasi akan dilakukan untuk setiap tingkat serta tahapan beban. Hasil analisis stabilitas perancah 1 tingkat dapat dilihat pada tabel 1 dan Hasil Check kolom interaksi perancah 1 tingkat pada tabel 2.

Tabel 1

Hasil analisis stabilitas perancah 1 tingkat

Step	UX # 11 (cm)	RZ #1 (kN)	Axial #10 (kN)	M33 #10 (kNm)	Note
69	0,400	68,134	-68,503	0,201	Check
70	0,414	69,105	-69,485	0,207	Check

Tabel 2

Check kolom interaksi perancah 1 tingkat

Check	Step	Pu (kN)	Mu (kN.m)	Pu/ØPn	Check Nilai R	Note
1	69	68,503	0,201	0,869	0,998	Ok
2	70	69,485	0,207	0,881	1,015	Ok

Dengan langkah simulasi pada perancah 2 tingkat sampai 25 tingkat, dilakukan analisis serta evaluasi yang sama. Hasil analisis stabilitas perancah 2 tingkat dapat dilihat pada tabel 3 dan Hasil Check kolom interaksi perancah 2 tingkat pada tabel 4.

Tabel 3

Hasil analisis stabilitas perancah 2 tingkat

Step	UX # 11 (cm)	RZ #1 (kN)	Axial #10 (kN)	M33 #10 (kNm)	Note
69	0,281	67,591	-67,902	0,178	Check
70	0,288	68,549	-68,869	0,183	Check

Tabel 4

Check kolom interaksi perancah 2 tingkat

Check	Step	Pu (kN)	Mu (kN.m)	Pu/ØPn	Check Nilai R	Note
1	69	67,902	0,178	0,861	0,976	Ok
2	70	68,869	0,183	0,873	0,991	Ok

Daya dukung maksimum struktur dapat diperoleh jika memenuhi ketentuan berikut, yaitu $R_u \cong \phi R_n$ dapat terpenuhi. Dari hasil evaluasi yang dilakukan untuk setiap tingkat dan tahapan beban, maka dapat dilihat Beban Maksimum pada tabel 5.

Tabel 5

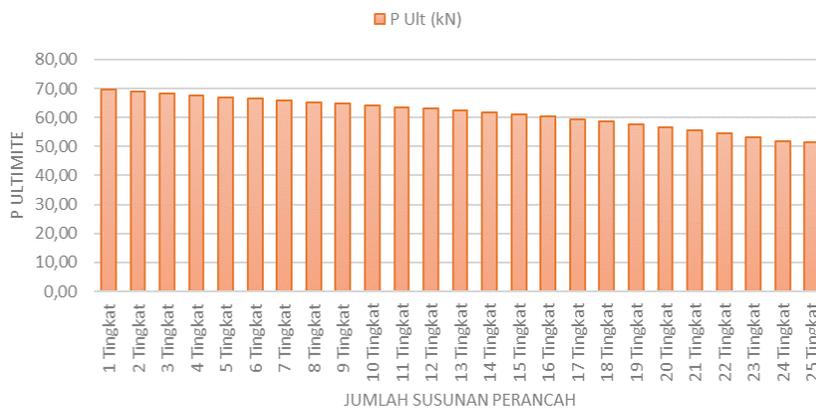
Hasil Analisis Stabilitas dan Check kolom interaksi perancah bertingkat

No	Height (m)	Tingkat Perancah	P Ult (kN)	Mu (kN.m)	Deflection max (cm)
1	1,5	1 Tingkat	69,48	0,2070	0,013755
2	3	2 Tingkat	68,87	0,1829	0,002491
3	4,5	3 Tingkat	68,24	0,1834	0,002203
4	6	4 Tingkat	67,66	0,1839	0,002269
5	7,5	5 Tingkat	67,07	0,1844	0,002343
6	9	6 Tingkat	66,50	0,1849	0,002414
7	10,5	7 Tingkat	65,93	0,1854	0,002481
8	12	8 Tingkat	65,36	0,1859	0,002545
9	13,5	9 Tingkat	64,79	0,1864	0,002607
10	15	10 Tingkat	64,20	0,1869	0,002669
11	16,5	11 Tingkat	63,61	0,1875	0,002730
12	18	12 Tingkat	63,00	0,1880	0,002791
13	19,5	13 Tingkat	62,36	0,1886	0,002854
14	21	14 Tingkat	61,70	0,1891	0,002918
15	22,5	15 Tingkat	61,00	0,1897	0,002985
16	24	16 Tingkat	60,27	0,1903	0,003054
17	25,5	17 Tingkat	59,48	0,1910	0,003127
18	27	18 Tingkat	58,65	0,1916	0,003204
19	28,5	19 Tingkat	57,75	0,1923	0,003286
20	30	20 Tingkat	56,77	0,1930	0,003374
21	31,5	21 Tingkat	55,72	0,1938	0,003468
22	33	22 Tingkat	54,56	0,1946	0,003570
23	34,5	23 Tingkat	53,29	0,1955	0,003681
24	36	24 Tingkat	51,88	0,1964	0,003803
25	37,5	25 Tingkat	51,30	0,1969	0,003854

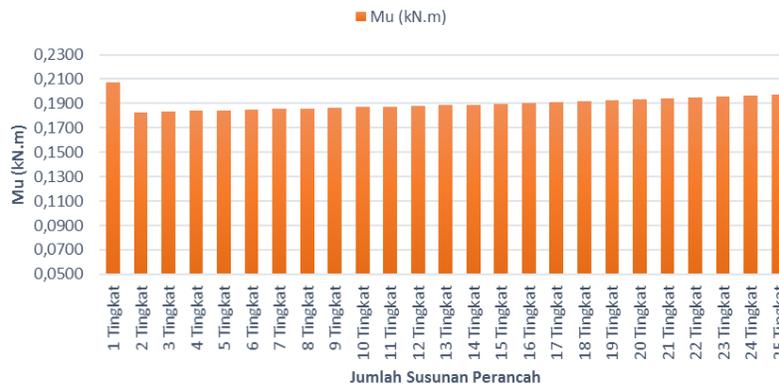
Gambar penurunan kapasitas terlihat pada gambar 6, kemudian kenaikan momen, pada gambar 7 dan *deflection* pada elemen batang pada gambar 8

Gambar 6

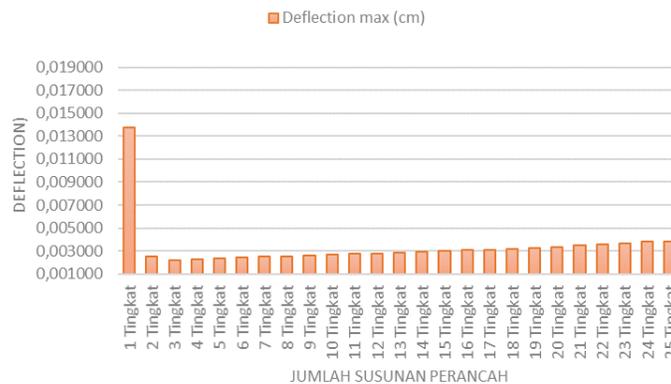
Grafik Penurunan Kapasitas Beban Ultimate (P_{Ult})



Gambar 7
Grafik Kenaikan Momen



Gambar 8
Grafik *Deflection* pada Elemen Batang

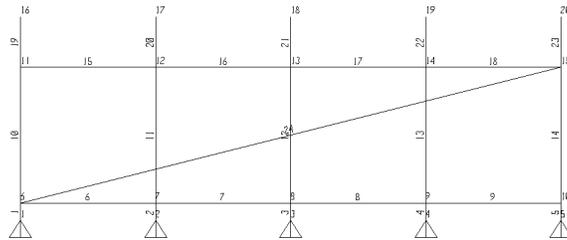


Analisis beban ultimate dengan *Direct Analysis Method* yang dilakukan terhadap 25 konfigurasi perancah baja, yang masing-masing disusun dari modul rangka yang sama. Meskipun modul rangka perancah disusun sama, tetapi daya dukung yang dihasilkan berbeda. *Direct Analysis Method* mengevaluasi elemen sebagai balok-kolom, kapasitas elemen ditentukan karena interaksi tegangan lentur dan tekan sesuai persamaan H-1 (AISC). Kapasitas tekan berkorelasi dengan momen yang terjadi. Daya dukung elemen berkurang, disebabkan oleh adanya momen yang besar dan juga sebaliknya. Penambahan tingkat mengakibatkan pengaruh $P-\Delta$ semakin besar mengakibatkan daya dukung.

Kondisi terjadi karena sistem struktur mengalami goyang (*sway*). Kondisi ini sangat dipengaruhi konfigurasi *Bracing*. Maka dilakukan simulasi numerik berdasarkan model sebelumnya yang dimodifikasi dengan penambahan *Bracing* dibagian yang sebelumnya tidak ada *Bracing*. Mengacu pada detail rencana maka akan modelkan struktur bidang Gambar 9 dan Gambar 10.

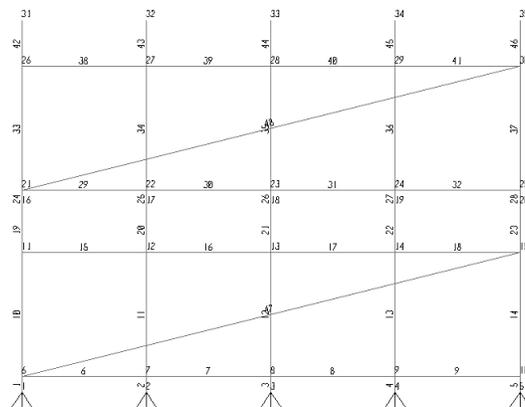
Gambar 9

Model Struktur Perancah tidak bertingkat – Add Bracing



Gambar 10

Model Struktur Perancah bertingkat – Add Bracing



Dari hasil evaluasi yang dilakukan modifikasi untuk setiap tingkat dan tahapan beban, maka dapat dilihat Beban Maksimum ditabulasikan dalam tabel 6. Gambar penurunan kapasitas terlihat pada gambar 11, kemudian kenaikan momen, pada gambar 12 dan deflection pada elemen batang pada gambar 13.

Modifikasi dengan penambahan *Bracing* diagonal baru pada rangka struktur perancah menghasilkan dampak yang sangat signifikan. Momen mengalami pengurangan bahkan tidak terlihat hilang

Tabel 6

Hasil Analisis Stabilitas Pengaruh Modifikasi

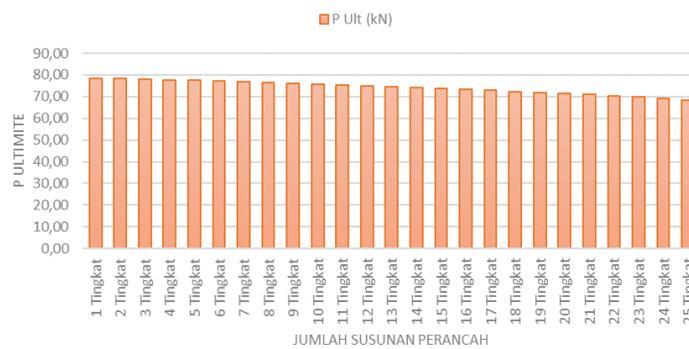
No	Height (m)	Tingkat Perancah	P Ult (kN)
1	1,5	1	78,55
2	3	2	78,53
3	4,5	3	78,16
4	6	4	77,81
5	7,5	5	77,45
6	9	6	77,11
7	10,5	7	76,77
8	12	8	76,42
9	13,5	9	76,07

Nalisis Stabilitas *Steel Modular Scaffolding* (Perancah Baja) pada Pekerjaan Bangunan Struktur *Tailrace Surgetank* di Proyek Pembangunan PLTA Asahan 3

No	Height (m)	Tingkat Perancah	P Ult (kN)
10	15	10	75,73
11	16,5	11	75,37
12	18	12	75,01
13	19,5	13	74,63
14	21	14	74,24
15	22,5	15	73,84
16	24	16	73,42
17	25,5	17	72,98
18	27	18	72,16
19	28,5	19	72,03
20	30	20	71,51
21	31,5	21	70,96
22	33	22	70,37
23	34,5	23	69,74
24	36	24	69,06
25	37,5	25	68,57

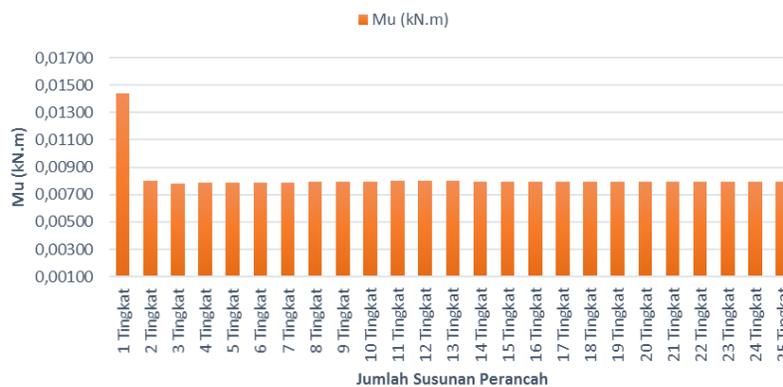
Gambar 11

Grafik Penurunan Kapasitas Beban Ultimite (P_{Ult}) – Modifikasi

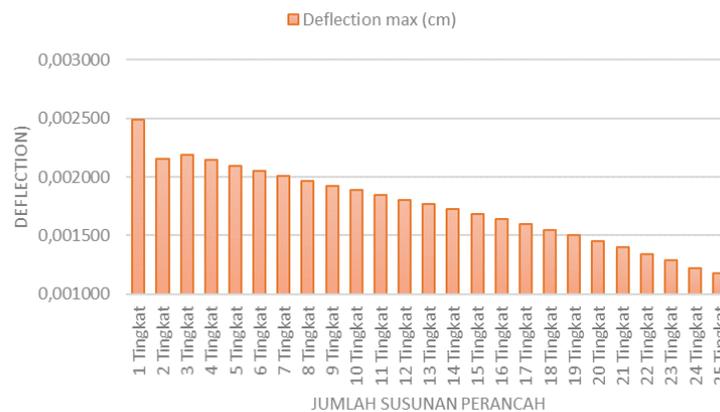


Gambar 12

Grafik Momen- Modifikasi



Gambar 13
Grafik *Deflection* pada Elemen Batang - Modifikasi

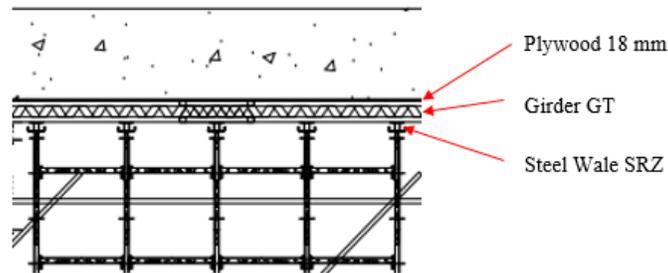


Penambahan tingkat mengakibatkan pengaruh P- Δ semakin besar mengakibatkan daya dukung perancah baja berkurang. Kondisi terjadi dikarenakan struktur mengalami goyang (sway). Untuk meminimalkan momen yang besar dilakukan modifikasi dengan menambahkan *Bracing* diagonal pada bagian susunan struktur perancah. Penambahan *Bracing* baik menggunakan material standart System perancah baja atau menggunakan scaffold tube dan ikat menggunakan coupler jenis swivel. Alternatif terbaik apabila ditambahkan *Bracing* pada perancah baja bertingkat.

Analisis kekuatan perancah sama halnya Seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh Wiryanto Dewobroto dkk (Dewobroto & Chendrawan, 2018)terkait analisis kekuatan batas perancah baja tidak bertingkat dan bertingkat (2 tingkat), sebelum analisis secara simulasi numerik telah dilakukan uji empiris di laboratorium. Dalam hasil analisis kekukuatan batas perancah dihasilkan bahwa modul perancah yang disusun secara bertingkat memiliki permasalahan stabilitas. Akibat kapasitas dukung beban menjadi lebih kecil dibanding perancah tidak bertingkat. Dan penambahan *Bracing* baru efektif dapat meningkatkan ketahanan terhadap stabilitas sehingga kapasitas daya dukung perancah meningkat.

Penggunaan Perancah baja di PLTA Asahan 3, khususnya di area pekerjaan struktur Tailrace Surgetank untuk pengecoran Top Slab menggunakan System *Scaffolding* dari PT. Beton Perkasa Wijaksana. Pertama yang dilakukan adalah memproses Shop Drawing *Scaffolding* pada aplikasi Autocad oleh engineering, kemudian dilakukan Static Calculation. Bekisting harus memenuhi kekuatan, kekakuan, dan stabilitas persyaratan untuk setiap bahan komponen bekisting. Terlihat gambar struktur dan komponen bekisting *bottom formwork* pada gambar 14.

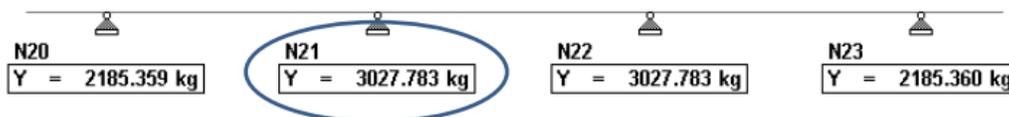
Gambar 14
Komponen Bekisting (Bottom Formwork)



Analisis dilakukan terhadap nilai tegangan lentur, defleksi, dan geser yang terjadi pada setiap komponen bekisting. Dari analisis yang dilakukan masing-masing diperoleh sebagai berikut. Persyaratan kekuatan dengan nilai tegangan lentur yang terjadi pada Plywood, Girder GT 24, dan Steel Waler SRZ yang masing-masing lebih kecil dari σ permit = 100 kg/cm², 70000 kg/cm², dan 1200 kg/cm². Dari hasil static calculation menggunakan software yang digunakan STAAD Pro didapatkan Reaction Maksimum dari steewale (Balokn diatas U-Head) sebesar P max yang menjadi Beban Maksimum pada perancah.

Dari hasil static calculation menggunakan software yang digunakan STAAD Pro didapatkan Reaction Maksimum dari steewale (Balokn diatas U-Head) sebesar P max = 3,027,78 kg seperti gambar 15 hasil static calculation berikut.

Gambar 15
Beban Perancah (Hasil StaadPro)



Kontrol Peri Up Shoring :

Reaction from Steel Wale = 3.027,783 Kg = 29,69 kN

Check P max berdasarkan hasil simulasi numerik

$P_{max} = 3.027,783 \text{ Kg} = 29,69 \text{ kN} < P_{ult}, H \leq 37 \text{ m} = 51,20 \text{ kN/leg}$

Maka desain perancah untuk pengecoran top slab tersebut dapat digunakan, dan tentunya perlu ditambahkan *Bracing* secara diagonal menggunakan scaffold tube atau pipa dan diikat menggunakan Swivel Coupler.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa program SAP2000 *Direct Analysis Method* ini tidak hanya digunakan untuk kebutuhan desain, tetapi cara perencanaan struktur baja terbaru saat ini (AISC 2016) dan diadopsi di SNI 1729:2015 bisa digunakan untuk analisis mencari kekuatan maksimum struktur baja, khususnya pada penelitian ini pada struktur perancah baja bertingkat.

Hasil analisis dengan metode *Direct Analysis Method* menunjukkan semakin tinggi tingkat perancah baja maka kapasitas perancah akan turun diakibatkan oleh imperfection dan inelastis pada elemen struktur.

Beban kapasitas maksimum pada perancah tingkat 1 sebesar 68,48 kN dan beban kapasitas maksimum pada perancah 25 tingkat sebesar 51,30 kN. Penurunan kapasitas menjadi sebesar 74 % pada perancah 25 tingkat dari konfigurasi perancah 1 tingkat.

Hasil analisis berdasarkan Modifikasi penambahan *Bracing* pada struktur perancah menghasilkan beban kapasitas maksimum pada perancah tingkat 1 sebesar 78,55 kN dan beban kapasitas maksimum pada perancah 25 tingkat sebesar 68,57 kN. Penurunan kapasitas menjadi sebesar 87,29 % pada perancah 25 tingkat dari konfigurasi perancah 1 tingkat.

BIBLIOGRAFI

- Chotickai, P., & Kaewsawang, S. (2018). Experimental and Analytical Studies of Door-Type Modular Scaffolds with Initial Geometrical Imperfections. *Engineering Journal*, 22(6), 135–150.
- Committee, A. (2010). Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10) American Institute of Steel Construction. *Chicago, IL, USA*.
- Dewobroto, W., & Chendrawan, W. (2018). Ultimate load capacity analysis of steel scaffoldings using direct-analysis method. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 23(4), 4018028.
- Diógenes, A. G., Holanda, Á. S., & Parente Jr, E. (2010). Stability Analysis of Modular Steel Shoring Systems. *Mecánica Computacional*, 29(7), 659–672.
- Doloksaribu, B. (2018). *Analisa Perhitungan Kekuatan Perancah Terhadap Waktu Siklus Pengecoran Lantai Untuk Memenuhi Keamanan Struktur Bangunan*.
- East, J., & Rutz, F. R. (2016). Stability of trusses: Direct analysis method compared to experimental results. *Geotechnical and Structural Engineering Congress 2016*, 201–211.
- Peng, J.-L. (2002). Stability analyses and design recommendations for practical shoring systems during construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(6), 536–544.
- Sajekti, A. (2009). *Metode Kerja Bangunan Sipil*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugiono, S. (2016). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan r & d*. Bandung: Alfabeta.
- Syahputra, T. M., Syukri, M., & Sara, I. D. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 2(1).
- Talim, M., & Teruna, D. R. (2017). Analisis Pengaruh Kuat Tekuk pada Sistem Perancah Bangunan (Scaffolding) dengan Metode Analisa Langsung (Direct Analysis Method).

Nalisis Stabilitas *Steel Modular Scaffolding* (Perancah Baja) pada Pekerjaan Bangunan Struktur
Tailrace Surgetank di Proyek Pembangunan PLTA Asahan 3

Universitas Sumatera Utara, Google Scholar.

Uji, A. T. (2012). Perbandingan Biaya Pelaksanaan Pelat Beton Menggunakan Boundeck Dan Pelat Konvensional Pada Gedung Graha Suraco. *Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.*

Valerii, V. (2011). Comparison of scaffolding systems in Finland and in Russia. *Saimaa University of Applied Sciences Technology, Lappeenranta, Bachelor Thesis.*

Yasin, N. (2020). Kekuatan dan Kebutuhan Perancah Bingkai/Frame Scaffold pada Konstruksi Gedung. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi, 18(2), 212–218.*

Zhang, J., & Ma, H. (2022). Structural Stability Analysis of Steel Tubular Scaffold with Couplers Based on Direct Analysis Method. *Tehnički Vjesnik, 29(2), 408–414.*

Copyright holder:

Marah Husein Fadli Lubis, Marah Husin Fadli Lubis, Johannes Taringan (2023)

First publication right:

Jurnal Syntax Admiration

This article is licensed under:

