

TINJAUAN KOLOM AKIBAT PERUBAHAN FUNGSI RUANGAN DENGAN PERKUATAN STRUKTUR BAJA (Menggunakan Program ANSYS)

Kurniawati Florensia Makal

Banu Dwi Handono, Ronny E. Pandaleke

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado

email: windakfmakal@gmail.com

ABSTRAK

Alihfungsi bangunan bisa dilakukan untuk memenuhi kebutuhan fungsional infrastruktur, dengan memperhitungkan efisiensi yang dihasilkan dari penggantian fungsi bangunan yang ada dengan fungsi baru. Alihfungsi yang dilakukan akan menghasilkan perubahan beban pada struktur kolom bangunan sehingga perlu menganalisis kekuatan struktur kolom pada kondisi baru.

Penelitian ini terdiri dari 3 tahap yakni input, analisis, dan output. Proses input meliputi pemodelan denah struktur, penampang balok, kolom, dan plat, serta pembebanan yang bekerja pada bangunan. Sedangkan tahap analisis adalah tahap analisa dinamis struktur bangunan dengan bantuan program Ansys Mechanical APDL V16.2 berbasis metode elemen hingga (FEM). Tahap output yakni hasil visualisasi analisa untuk perkuatan elemen struktur yang diperoleh.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis elemen hingga pada kolom-kolom kritis akibat alihfungsi ruangan yang dimana sebelum dipasang perkuatan menunjukkan tegangan ekuivalen (σ_e) maksimum yang dilihat dari hasil FEM von-Mises-stress umumnya terjadi pada sayap di ujung atas kolom yang terjadi akibat alihfungsi ruangan dari ruang rawat inap menjadi ruang arsip maka, Kolom-kolom tersebut dikatakan masih aman dalam memikul beban. Namun akan tetap dilakukan perkuatan yang dipasang pada bagian kolom dengan tegangan terbesar. Sehingga, kolom yang telah dipasang perkuatan menunjukkan hasil analisis elemen hingga yakni nilai tegangan σ_e mengalami penurunan terbesar pada variasi 3.

Kata kunci: ANSYS, Metode Elemen Hingga, Alihfungsi, Kolom, Struktur Baja, Perkuatan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Struktur kolom bangunan jika memikul beban yang berlebihan atau tidak sesuai dengan perencanaan, maka struktur kolom tersebut akan mengalami retak/patahan pada struktur tersebut. Mengalihfungsikan bangunan merupakan hal yang bisa dilakukan untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur konstruksi karena efisiensi yang dihasilkan dari penggantian fungsional bangunan yang ada untuk digunakan dengan fungsi baru dapat menjadi alternatif yang lebih tepat.

Substitusi fungsional yang dilakukan akan menghasilkan perubahan beban pada struktur kolom bangunan sehingga sangat dibutuhkan untuk menganalisis kekuatan struktur kolom dengan kondisi yang ada. Perubahan pada struktur kolom yang dialihfungsikan dapat mengakibatkan penambahan beban aksial dan apabila saat terjadi penambahan beban aksial tersebut dan struktur ternyata tidak mampu

menahannya maka akan terjadi kegagalan struktur.

Penelitian mengenai elemen struktur seperti balok, kolom, sambungan serta elemen-elemen lainnya telah dilakukan antara lain oleh Ruus dkk (2017), Tayu dkk (2017), Paskah dkk (2019), Murdianto dkk (2019), dan Tumimomor dkk (2016), sedang penelitian redesain struktur oleh Pandaleke dkk (2019).

Rumusan Masalah

Penelitian ini akan meninjau apakah perkuatan baja yang didesain akan mampu untuk memperkuat struktur kolom yang akan dialihfungsikan dari ruang rawat inap di lantai 4 menjadi ruang arsip pada gedung rumah sakit.

Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini, masalah yang akan diteliti dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Struktur bangunan yang ditinjau adalah gedung rumah sakit yang terdiri dari 6 lantai.

2. Tinjauan perkuatan elemen hanya meliputi kolom
3. Profil baja yang digunakan adalah profil baja WF (*web flange*)
4. Perkuatan elemen kolom menggunakan pelat baja dengan cara dilas
5. Sambungan las yang digunakan adalah *Lap Joint* dengan jenis pengelasan *Fillet Weld*
6. Pembebanan pada gedung rumah sakit tidak akan ditinjau
7. Struktur balok dan pondasi pada gedung rumah sakit dinyatakan mampu memikul penambahan beban pada struktur bangunan
8. Untuk analisis elemen hingga dihitung dengan menggunakan program ANSYS Mechanical APDL V16.2.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kolom-kolom yang kritis pada saat struktur bangunan akan dialihfungsikan, mengetahui daerah pada kolom dengan nilai tegangan terbesar dimana perlu dipasang perkuatan dan untuk mengetahui pengaruh kolom akibat pemasangan perkuatan baja pada kolom.

Manfaat Penelitian

Dapat memberi masukan kepada para pembaca, terlebih khusus pengelola gedung dalam mengalihfungsikan bangunan untuk mengatasi permasalahan yang muncul akibat alih fungsi bangunan, sehingga menjamin keamanan bagi pengguna bangunan dan kepastian hukum bagi pengelola bangunan.

LANDASAN TEORI

Struktur Kolom

Kolom atau pilar adalah istilah teknik yang merujuk kepada elemen struktural yang meneruskan tekanan, yaitu berat struktur di bagian atas (misalnya atap) ke elemen struktur lain di bawahnya (landasan atau pondasi). Istilah kolom biasanya diterapkan kepada struktur penopang dengan kapital dan dasar atau pedestal.

Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur. SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga

beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil

Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting, agar bangunan tidak mudah roboh.

Struktur kolom terbuat dari beberapa material, contohnya dibuat dari beton dan besi dan dari baja. Baja yang digunakan pun bukan hanya baja konvensional tapi mulai dikembangkan penggunaan baja ringan. Beberapa material tersebut masing-masing memiliki keuntungan dan kerugiannya, tergantung dari kebutuhan yang akan kita gunakan.

Material Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2 % hingga 2,1 % berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengerasan pada kisi kristal atom besi. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon lebih kecil 1,7 %, sedangkan besi mempunyai kadar karbon lebih besar dari 1,7 %.

Material baja unggul jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya. Jadi tidak mengherankan jika disetiap proyek-proyek konstruksi bangunan (jembatan atau gedung) maka baja selalu ditemukan, meskipun tentu saja volumenya tidak harus mendominasi.

Kelebihan material baja dibandingkan material beton atau kayu adalah karena buatan pabrik, yang tentunya mempunyai kontrol mutu yang baik. Oleh karena itu dapat dipahami bahwa kualitas material baja yang dihasilkannya relatif homogen dan konsisten dibanding material lain, yang berarti juga lebih dapat diandalkan.

Batang Tekan

Pembebanan batang tekan adalah elemen struktural yang hanya menerima gaya tekan aksial, dimana gaya bekerja pada sumbu longitudinal melalui sentroid dari penampang, dan gaya tekan bisa dirumuskan menjadi $f=P/A$, dimana f dianggap sama bekerja pada seluruh penampang. (Segui, 2007). Batang tekan biasanya bisa dijumpai pada rangka atap, jembatan, menara, dan struktur lain yang bersifat rangka. Untuk kolom sendiri, yang merupakan elemen yang menyalurkan tekanan aksial dari

bagian atas bangunan, masih terdapat momen dan gaya lintang di dalamnya.

Keruntuhan batang tekan dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu:

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya dilampaui. Hal ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*).
2. Keruntuhan yang diakibatkan oleh terjadinya tekuk. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan panjang (*slender column*).

Parameter material F_y dan F_u akan menentukan kuat batang tarik, tetapi pada batang tekan hanya F_y yang penting F_u tidak pernah tercapai. Selain material, maka batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain, yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri. Parameter geometri terjadi yaitu :

- Luas penampang (A)
- Pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur (I_{min})
- Panjang batang dan kondisi pertambatan atau tumpuan, yang diwakili oleh panjang efektif (KL)

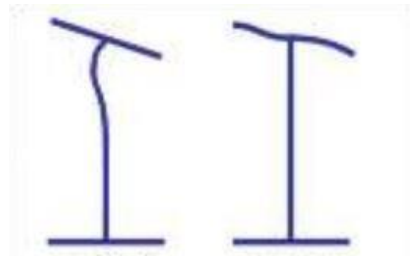
Ketiganya dapat diringkas lagi menjadi satu parameter tunggal yaitu, rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}), dimana $r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$ adalah radius girasi pada arah tekuk. Rasio kelangsingan batang menjadi parameter penting perencanaan, dan menjadi parameter penting perencanaan, dan menjadi indikator batas kinerja sekaligus perilakunya. Contoh, kolom pendek (tidak langsing) kekuatannya ditentukan material. Adapun kolom langsing, kekuatannya ditentukan oleh beban kritis yang menyebabkan tekuk (buckling), tidak tergantung mutu material. Jadi kolom dengan bahan material bermutu tinggi maka rasio kelangsingannya perlu diperhatikan agar efisien. (Dewobroto, 2016).

Tekuk Pada Baja

Salah satu kegagalan struktur baja adalah kegagalan tekuk/buckling. Pada umumnya, tekuk diakibatkan oleh gaya aksial, atau gaya yang bekerja pada sumbu utama penampang struktur. Tekuk pada profil baja terbagi menjadi 2 jenis, yaitu tekuk global dan tekuk lokal.

Tekuk merupakan suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, sehingga terjadilah perubahan bentuk dalam rangka menemukan keseimbangan baru. Konsekuensi tekuk pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar akan mengubah bentuk struktur.

Pada saat menerima momen lentur positif, seluruh *top flange* akan mengalami tegangan tekan, seluruh *bottom flange* akan mengalami tegangan tarik, sementara sebagian pelat badan akan mengalami tekan dan sebagian lainnya tarik.

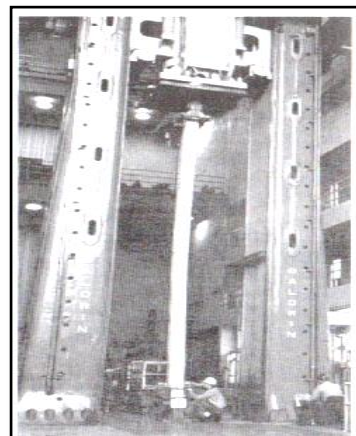


Gambar 1. Ilustrasi Tekuk Lokal yang terjadi pada web dan flange

Bentuk profil baja yang cenderung langsing/tipis lebih mudah untuk mengalami kegagalan tekuk. Untuk mencegah tekuk lokal pada daerah tekan ini akibat gaya lateral, kita harus memasang sebuah pengaku vertikal (*stiffener*). Stiffener dipasang di sepanjang web untuk mencegah tekuk lokal pada web akibat gaya geser dan mencegah tekuk lokal pada flange (pelat sayap).



Gambar 2. Tekuk Lokal



Gambar 3. Tekuk Global

Pembebanan Pada Struktur

Pembebanan yang berlaku yaitu menggunakan SNI 1727-2013 menyangkut pembebanan minimum dari ruang rawat inap atau kamar pasien yakni $1,92 \text{ kN/m}^2$ akan dialihfungsikan menjadi ruang arsip dengan beban hidup sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$.

Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode elemen hingga (FEM) adalah metode yang paling banyak digunakan untuk memecahkan masalah di bidang teknik, model fisika dan matematika. Ruang lingkup permasalahannya dapat dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensial elektromagnetik. Konsep yang mendasari metode elemen hingga seperti pada tulisan Logan (2012), Bargess dkk (2009), dan Storlaski et al (2006) adalah prinsip *discretization*. *Discretization* atau diskritisasi adalah membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan penyatuan secara keseluruhan yang dapat menstimulir keadaan tersebut secara menyeluruh.

Oleh karena itu proses pemodelan dengan membaginya menjadi sistem yang setara dengan diskritisasi atau unit yang lebih kecil (elemen hingga) yang saling berhubungan pada titik-titik yang sama dengan dua elemen atau lebih (titik nodal, node) dan/atau garis batas dan/atau permukaan disebut diskritisasi.

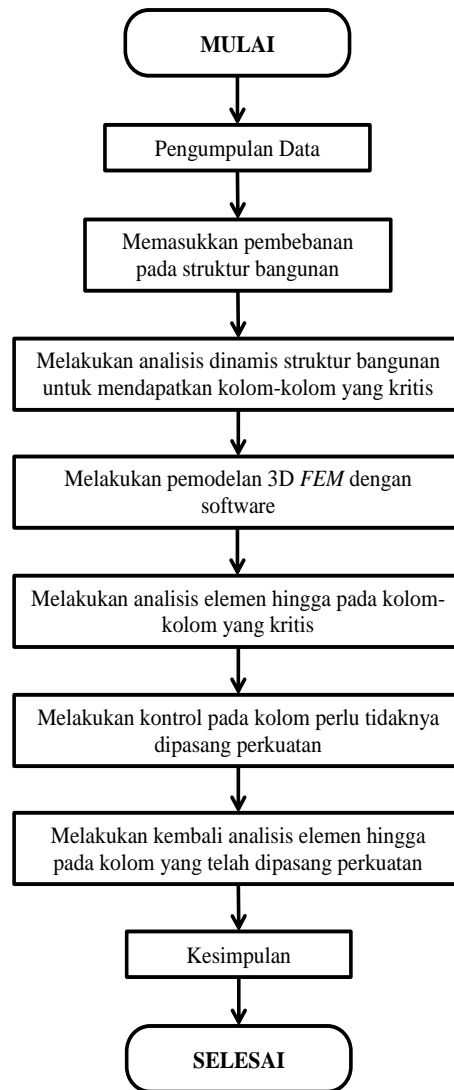
Finite Element Method pada ANSYS

Program ANSYS memiliki banyak kemampuan analisis elemen hingga, mulai dari analisis sederhana, seperti analisis linier, hingga analisis kompleks seperti analisis dinamis transien dan analisis nonlinier. Manual panduan analisis dalam kumpulan dokumentasi ANSYS menjelaskan prosedur spesifik untuk melakukan analisis di berbagai disiplin ilmu teknik.

Ansyp digunakan untuk menentukan bagaimana suatu produk akan berfungsi dengan spesifikasi yang berbeda, tanpa membuat produk uji atau melakukan uji tabrakan. Misalnya, perangkat lunak Ansys dapat mensimulasikan bagaimana jembatan akan bertahan setelah bertahun-tahun lalu lintas, cara terbaik memproses salmon dalam pengalengan untuk mengurangi limbah, atau bagaimana merancang slide yang menggunakan lebih sedikit material tanpa mengorbankan keselamatan.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

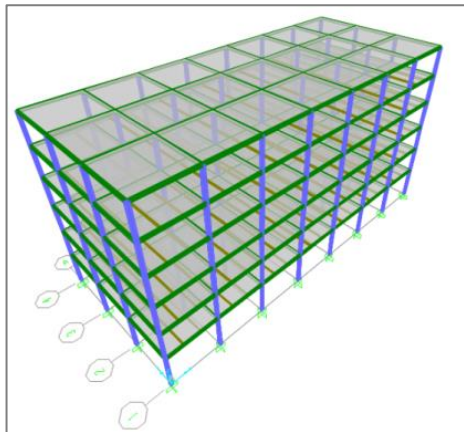
Data–Data Struktur Bangunan

Analisis struktur bangunan untuk mencari data perpindahan dan gaya–gaya pada kolom struktur bangunan menggunakan program aplikasi SAP2000. Struktur bangunan akan menggunakan analisis dinamis struktur yang terbagi atas empat kelompok, yaitu data geometri struktur bangunan, data profil penampang bangunan, data pelat lantai bangunan, dan data beban pada struktur bangunan seperti berikut:

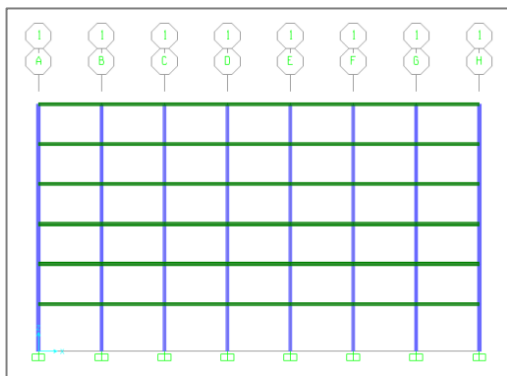
Data Geometri Bangunan

Data Struktur

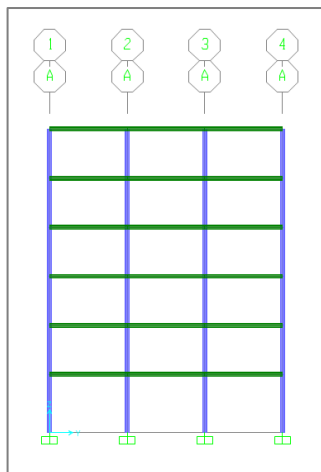
Bangunan yang akan ditinjau adalah bangunan gedung rumah sakit berlantai 6, dengan panjang 7×6 m, lebar 3×6 m, dan tinggi 23,5 m. Untuk gambar bangunan gedung rumah sakit yang dimodelkan pada program aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar 5. Tampak 3D Bangunan Gedung Rumah Sakit



Gambar 6. Portal Arah y Bangunan



Gambar 7. Portal Arah x Bangunan

Data Profil

Bangunan gedung rumah sakit merupakan struktur baja yang terdiri dari elemen balok, elemen kolom, dan pelat lantai beton. Material baja yang digunakan adalah mutu baja BJ 37, dengan:

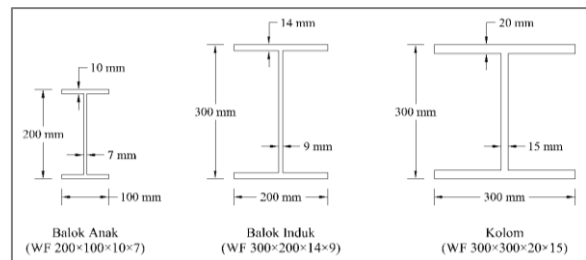
- Modulus elastisitas baja (E) = 200.000 MPa
- Angka rasio Poisson (v) = 0,3
- Tegangan leleh baja (fy) = 240 MPa

Data profil penampang elemen balok dan elemen kolom disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data Profil Balok dan Kolom

No.	Elemen	Dimensi
1	Balok Anak	WF 200 × 100 × 10 × 7
2	Balok Induk	WF 300 × 200 × 14 × 9
3	Kolom	WF 300 × 300 × 20 × 13

Untuk gambar detail profil penampang dapat dilihat pada gambar 12. dibawah ini.



Gambar 8. Profil Penampang Balok dan Kolom

Data Pelat Lantai

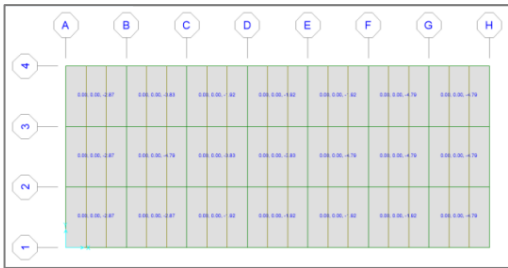
Data pelat lantai untuk setiap lantai bangunan adalah sama, dengan data-data sebagai berikut:

- Tebal pelat lantai 12 cm
- Material pelat beton dengan kuat tekan ($f'c$) = 30 MPa
- Menggunakan Bondek dengan tebal 2,5mm

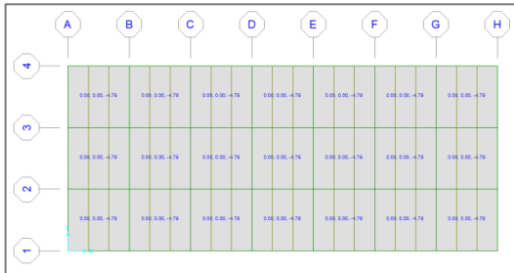
Data Beban Pada Struktur Bangunan

Seperti yang dijelaskan pada sebelumnya bahwa data beban hidup yang akan digunakan mengacu pada SNI 1727-2013. Beban hidup untuk ruang rawat inap atau kamar pasien adalah sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$, kemudian seluruh ruangan di lantai 4 akan dialihfungsikan menjadi ruang arsip dengan beban hidup sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$.

Untuk gambar denah beban hidup masing-masing lantai yang dimasukkan pada program aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini. Semua nilai yang tertera pada gambar adalah dalam satuan kN/m^2 .



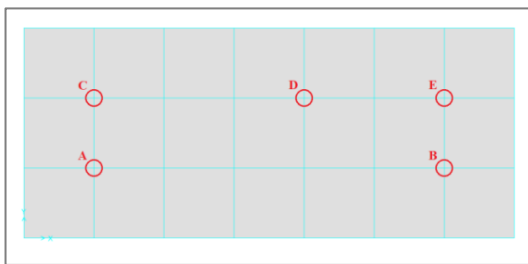
Gambar 9. Beban Hidup pada Lantai 4 Sebelum Alihfungsi (Ruang Rawat Inap)



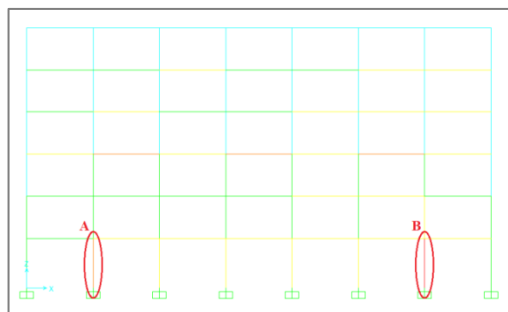
Gambar 10. Beban Hidup pada Lantai 4 Setelah Alihfungsi (Ruang Arsip)

Perhitungan Perpindahan dan Gaya-Gaya pada Kolom

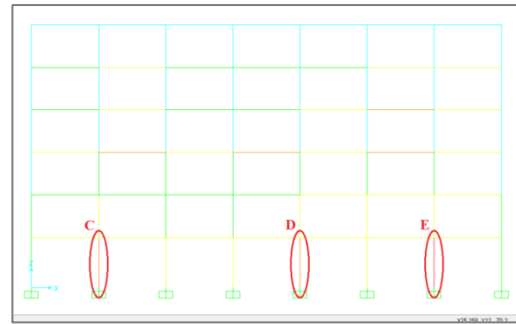
Setelah data-data struktur bangunan dan data beban pada struktur dimasukkan pada program aplikasi SAP2000, maka selanjutnya yaitu melakukan analisis struktur dinamis pada struktur bangunan tersebut. Kolom yang akan ditinjau untuk analisis elemen hingga adalah kolom yang kritis akibat alihfungsi ruangan. Posisi dari masing-masing kolom yang kritis dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar 11. Denah Lantai 1 Kolom-Kolom Kritis



Gambar 12. Kolom-Kolom Kritis pada Portal Bidang x-z Posisi y = 6 m



Gambar 13. Kolom-Kolom Kritis pada Portal Bidang x-z Posisi y = 12 m

Kolom-kolom tersebut kemudian akan ditinjau lebih lanjut untuk dilakukan analisis elemen hingga dengan bantuan program Ansys.

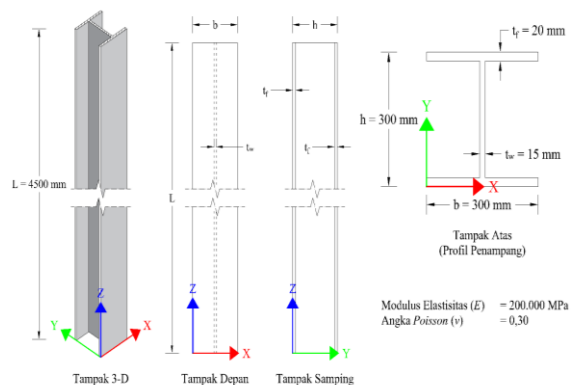
Analisis Visual Hasil FEM Kolom Sebelum Alihfungsi

Hasil program yang telah dibuat kemudian digunakan untuk analisis FEM kolom-kolom yang akan ditinjau. Kolom-kolom yang akan ditinjau adalah:

Kolom lantai 1:

- Kolom A, pada posisi $(x,y) = (6,6)$ m
- Kolom B, pada posisi $(x,y) = (36,6)$ m
- Kolom C, pada posisi $(x,y) = (6,12)$ m
- Kolom D, pada posisi $(x,y) = (24,12)$ m
- Kolom E, pada posisi $(x,y) = (36,12)$ m

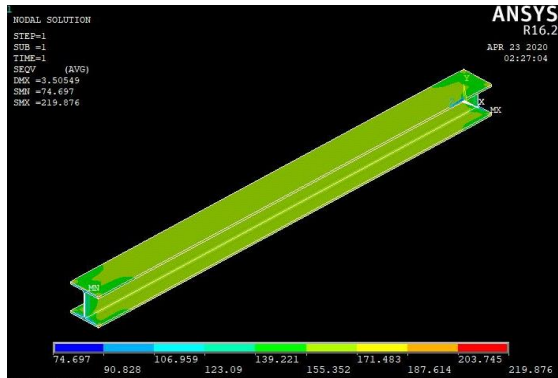
Namun, yang akan ditunjukkan langkah-langkah penggunaan program analisis FEM adalah kolom E. Hasil analisis FEM untuk semua kolom akan dirangkum dalam bentuk tabel, serta gambar visualisasi model kolom untuk semua kolom dapat dilihat pada lembar lampiran.



Gambar 14. Model dan Dimensi Kolom E

Analisis FEM kolom E yang akan dilakukan adalah analisis FEM sebelum alihfungsi ruangan (ruang rawat inap). Dengan memvisualisasikan tegangan normal arah-Z, tegangan utama ketiga

(*third principal stress*, σ_3), dan tegangan ekuivalen (*von-Mises-stress*, σ_e). Seperti pada gambar berikut:



Gambar 15. *Von-Mises-stress* (Ruang Rawat Inap)

Berdasarkan gambar-gambar tersebut, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai Tegangan Ruang Arsip E

No	Jenis Tegangan	Simbol Tegangan	Nilai Tegangan	
			Maksimal (MPa)	Minimal (MPa)
1	Tegangan Arah-z	σ_z	-124.481	-217.9
2	<i>Third Pirncipal Stress</i>	σ_3	-125.324	-241.732
3	<i>Von-Mises-Stress</i>	σ_e	219.876	74.697

Analisis Visual Hasil FEM Kolom Setelah Alihfungsi

Analisis FEM kolom E yang akan dilakukan adalah analisis FEM sesudah alihfungsi ruangan (ruang arsip). Dengan memvisualisasikan tegangan normal arah-Z, tegangan utama ketiga (*third principal stress*, σ_3), dan tegangan ekuivalen (*von-Mises-stress*, σ_e). Seperti pada gambar berikut:



Gambar 16. *von-Mises-stress* (Ruang Arsip E)

Berdasarkan gambar-gambar tersebut, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai Tegangan Ruang Arsip E

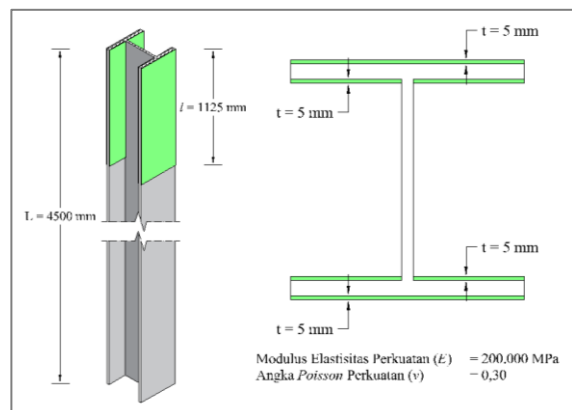
No.	Jenis Tegangan	Simbol Tegangan	Nilai Tegangan	
			Maksimal (MPa)	Minimal (MPa)
1	Tegangan Arah-z	σ_z	-124.56	-218.054
2	<i>Third Principal Stress</i>	σ_3	-125.404	-241.946
3	<i>Von-Mises-Stress</i>	σ_e	220.074	74.7454

Akibat alihfungsi ruangan dari ruang rawat inap menjadi ruang arsip, tegangan pada kolom mengalami kenaikan, dari 219,876 MPa menjadi 220,074 MPa. Karena nilai σ_e lebih kecil dari tegangan leleh baja yaitu $f_y = 240$ MPa, kolom tersebut belum leleh, sehingga dikatakan aman dalam memikul beban.

Namun, walaupun kolom masih aman, kolom tersebut tetap akan dipasang perkuatan. Perkuatan yang digunakan adalah perkuatan pelat baja, yang akan dipasang pada bagian kolom dengan tegangan terbesar, dalam hal ini yaitu pada sayap di daerah ujung atas kolom.

Analisis FEM Kolom dengan Perkuatan Seluruh Bagian Sayap Atas Baja

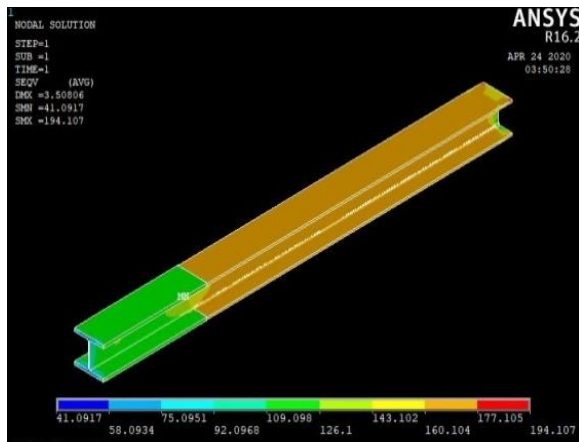
Analisis FEM kolom E yang akan dilakukan adalah analisis FEM setelah alihfungsi ruangan (ruang arsip), namun pada kolom akan dipasang perkuatan berupa perkuatan pelat baja. Untuk gambar model kolom E yang telah dipasang perkuatan disertai dimensinya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 17. Perkuatan pada Kolom E dan Dimensinya

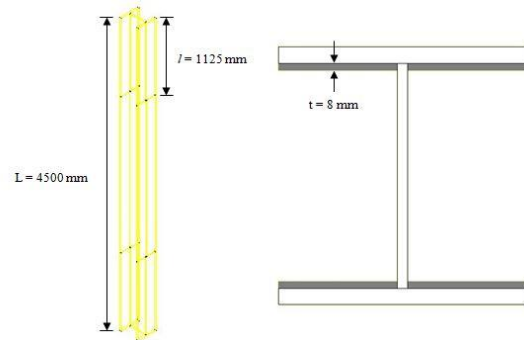
Analisis FEM Perkuatan kolom E yang akan dilakukan adalah analisis FEM setelah alihfungsi ruangan (ruang arsip) dengan ditambahkan perkuatan plat baja. Dengan memvisualisasikan

tegangan normal arah-Z, tegangan utama ketiga (*third principal stress*, σ_3), dan tegangan ekuivalen (*von-Mises-stress*, σ_2), seperti pada gambar berikut:



Gambar 18. von-Mises-stress (Perkuatan Variasi 1)

perkuatan plat baja yang diletakan pada bagian belakang flange baja.



Gambar 19. Perkuatan pada Bagian Belakang Flange Baja Kolom E dan Dimensinya

Dengan memvisualisasikan tegangan normal arah-Z, tegangan utama ketiga (*third principal stress*, σ_3), dan tegangan ekuivalen (*von-Mises-stress*, σ_2). Seperti pada gambar berikut:

Berdasarkan gambar-gambar tersebut, dapat disimpulkan sebagai berikut:

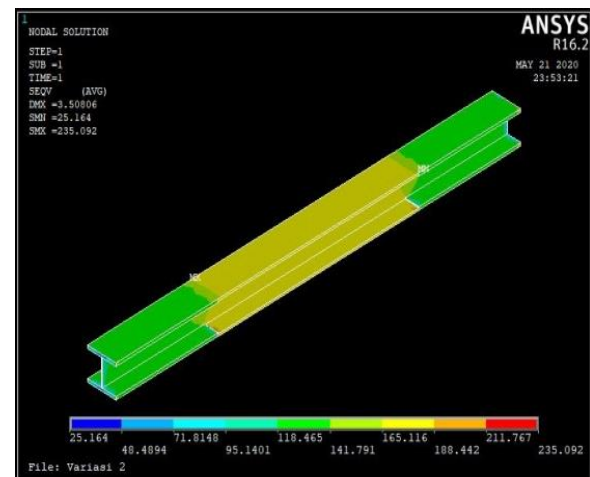
Tabel 4. Tegangan Perkuatan Ruang Arsip E

No.	Jenis Tegangan	Simbol Tegangan	Nilai Tegangan	
			Maksimal (MPa)	Minimal (MPa)
1	Tegangan Arah-z	σ_z	-31.0019	-281.524
2	Third Principal Stress	σ_3	-5.66889	-264.307
3	Von-Mises-Stress	σ_e	194.107	41.0917

Dari tabel diatas, terlihat bila dibandingkan dengan hasil analisis FEM kolom tanpa perkuatan, terlihat pada kolom yang dipasang perkuatan mengalami penurunan tegangan ekuivalen (σ_e). Hal ini dikarenakan oleh pemasangan perkuatan yang memperkecil tegangan kolom tersebut. Itu terjadi karena beban perpindahan yang digunakan sama, baik sebelum dan sesudah dipasang perkuatan, maka gaya yang bekerja menjadi lebih besar sehingga tegangan pada daerah kolom yang tidak dipasang perkuatan mengalami kenaikan dan yang dipasangkan perkuatan mengalami penurunan

Analisis FEM Kolom dengan Perkuatan pada Bagian Belakang Flange Baja

Analisis FEM Perkuatan kolom E yang akan dilakukan adalah analisis FEM setelah alihfungsi ruangan (ruang arsip) dengan ditambahkan



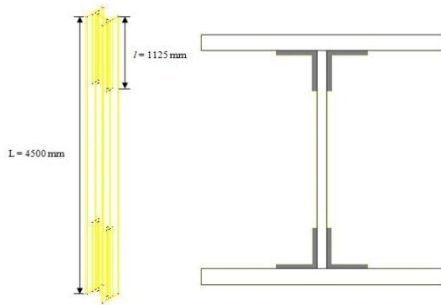
Gambar 20. von-Mises-stress (Perkuatan Variasi 2)

Tabel 5. Hasil Tegangan Perkuatan Pada Bagian Belakang Flange Baja Kolom Ruang Arsip E

No.	Jenis Tegangan	Simbol Tegangan	Nilai Tegangan	
			Maksimal (MPa)	Minimal (Mpa)
1	Tegangan Arah-z	σ_z	12,278	-263.877
2	Third Principal Stress	σ_3	3,36057	-270,764
3	Von-Mises-Stress	σ_e	235,092	25,164

Dengan perkuatan menggunakan plat baja hanya pada pada bagian belakang flange baja di dapatkan bahwa bagian kolom yang dipasang perkuatan mengalami kenaikan tegangan ekuivalen (σ_e).

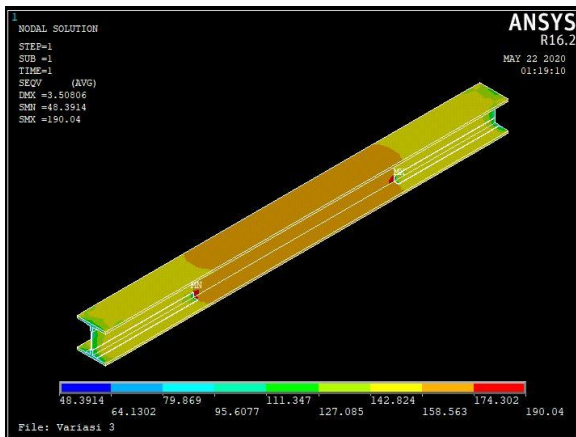
Analisis FEM Kolom dengan Perkuatan pada Bagian Kritis Baja Menggunakan Baja Siku



Gambar 21. Perkuatan Pada Bagian Kritis Baja Kolom E Menggunakan Baja Siku dan Dimensinya

Analisis FEM Perkuatan kolom E yang akan dilakukan adalah analisis FEM setelah alihfungsi ruangan (ruang arsip) dengan perkuatan pada bagian kritis baja menggunakan baja siku dengan ukuran $L \times 50 \times 5$.

Dengan memvisualisasikan tegangan normal arah-Z, tegangan utama ketiga (*third principal stress*, σ_3), dan tegangan ekuivalen (*von-Mises-stress*, σ_e). Seperti pada gambar berikut:



Gambar 22. von-Mises-stress (Perkuatan Variasi 3)

Tabel 6. Hasil Tegangan Perkuatan dengan lebar plat baja 200 mm pada Bagian Kritis Baja Kolom Ruang Arsip E

No	Jenis Tegangan	Simbol Tegangan	Nilai Tegangan	
			Maksimal (MPa)	Minimal (MPa)
1	Tegangan Arah-z	σ_z	-5,55867	-235,676
2	Third Principal Stress	σ_3	-32,2327	-251,129
3	Von-Mises-Stress	σ_e	190,04	48,3914

Pada variasi perkuatan dengan mengoptimalkan perkuatan pada bagian kritis baja menggunakan

baja siku dengan ukuran $L \times 50 \times 5$ didapatkan bahwa bagian kolom yang dipasang perkuatan hanya pada bagian kritisnya mengalami penurunan tegangan ekuivalen (σ_e) lebih besar dibandingkan dengan variasi perkuatan lainnya.

Rangkuman Hasil Analisis Elemen Hingga

Hasil analisis FEM untuk semua kolom dirangkum dalam tabel 11.

Pembahasan

Dari rangkuman tabel 11 dapat dilihat hasil analisis elemen hingga kolom-kolom yang kritis sebelum dipasang perkuatan menggunakan ANSYS menunjukkan bahwa tegangan σ_e maksimum umumnya terjadi pada sayap di ujung atas kolom. Akibat alihfungsi ruangan dari ruang rawat inap menjadi ruang arsip, tegangan σ_e mengalami kenaikan tegangan. Karena nilai tegangan σ_e maksimum lebih kecil dari tegangan leleh baja yaitu $f_y = 240$ MPa, kolom-kolom tersebut belum leleh, sehingga dikatakan masih aman dalam memikul beban. Namun perkuatan tetap akan dipasang pada kolom, yaitu pada bagian kolom dengan tegangan terbesar.

Variasi perkuatan yang dilakukan adalah yang pertama perkuatan dipasang pada kolom berupa perkuatan pelat baja pada seluruh bagian atas baja. Hasil analisis elemen hingga kolom-kolom yang telah dipasang perkuatan bila dibandingkan dengan hasil analisis tanpa perkuatan menunjukkan bahwa nilai tegangan σ_e pada daerah kolom yang dipasang perkuatan mengalami penurunan, sedangkan yang tidak dipasang perkuatan mengalami kenaikan, seperti yang terlihat pada tabel 11.

Variasi yang kedua adalah mengoptimalkan perkuatan yang dipasangi plat baja hanya pada titik kritis kolom baja.

Hasil analisis elemen hingga kolom-kolom tersebut bila dibandingkan dengan hasil analisis pada variasi pertama menunjukkan bahwa nilai tegangan σ_e pada daerah kolom yang dipasang perkuatan terjadi sedikit kenaikan, sedangkan nilai variasi kedua jika dibandingkan dengan tanpa perkuatan tetap mengalami penurunan tegangan σ_e terlihat pada tabel 11.

Variasi yang ketiga ialah perkuatan dengan plat baja hanya pada titik kritis kolom baja, namun tidak selebar flange. Maka lebar plat baja yang digunakan adalah 200 mm. Hasil analisis elemen hingga kolom-kolom tersebut bila dibandingkan dengan hasil analisis pada variasi pertama dan kedua menunjukkan bahwa nilai

Tabel 11. Hasil Analisa FEM Semua Kolom Kritis

Nama Kolom	Jenis Kolom	Nilai Tegangan					
		Arah-Z		Third Principal Stress		von-Mises-stress	
		Maksimal	Minimal	Maksimal	Minimal	Maksimal	Minimal
A	Sebelum di alihfungsikan	-107,24	-187,929	-107,963	-208,794	189,719	64,473
	Sesudah di alihfungsikan	-111,882	-196,042	-112,637	-217,836	197,909	67,2704
	Perkuatan Variasi 1	-5,10881	-237,933	-27,935	-253,411	174,505	36,7302
	Perkuatan Variasi 2	11,0135	-237,317	3,01152	-243,514	210,729	22,5173
	Perkuatan Variasi 3	-4,98264	-210,913	-28,9532	-224,768	170,649	43,4053
B	Sebelum di alihfungsikan	-119,279	-209,166	-120,086	-231,682	211,243	71,7362
	Sesudah di alihfungsikan	-121,117	-212,435	-121,937	-235,429	214,544	72,844
	Perkuatan Variasi 1	-5,52257	-256,941	-30,2026	-273,678	188,773	39,9617
	Perkuatan Variasi 2	11,9446	-256,742	3,37435	-263,444	229,008	24,4788
	Perkuatan Variasi 3	-5,40193	-229,767	-31,3975	-244,834	185,12	47,0811
C	Sebelum di alihfungsikan	-113,127	-198,541	-114,018	-220,044	200,438	67,9717
	Sesudah di alihfungsikan	-117,216	-205,636	-118,131	-227,95	207,601	70,4176
	Perkuatan Variasi 1	-5,34967	-249,593	-29,2512	-265,83	182,783	38,5141
	Perkuatan Variasi 2	11,5455	-248,764	3,1528	-255,259	220,898	23,6056
	Perkuatan Variasi 3	-5,22803	-220,854	-30,3194	-235,288	178,697	45,4988
D	Sebelum di alihfungsikan	-104,441	-182,769	-105,149	-202,535	184,527	62,6312
	Sesudah di alihfungsikan	-109,317	-191,309	-110,058	-212,042	193,122	65,56
	Perkuatan Variasi 1	-4,975	-232,129	-27,2057	-247,244	170,119	36,0134
	Perkuatan Variasi 2	10,769	-231,593	2,94451	-237,688	205,991	22,0575
	Perkuatan Variasi 3	-4,87712	-206,361	-28,2637	-219,899	166,623	42,4414
E	Sebelum di alihfungsikan	-124,481	-217,9	-125,324	-241,732	219,876	74,697
	Sesudah di alihfungsikan	-124,56	-218,054	-125,404	-241,946	220,074	74,7454
	Perkuatan Variasi 1	-5,66889	-264,307	-31,0019	-281,524	194,107	41,0917
	Perkuatan Variasi 2	12,278	-263,877	3,36057	-270,764	235,092	25,164
	Perkuatan Variasi 3	-5,55867	-235,676	-32,2327	-251,129	190,04	48,3914

Sumber: Hasil Olahan.

tegangan σ pada daerah kolom yang dipasang perkuatan dengan lebar plat baja 200 mm mengalami penurunan dan nilai variasi ketiga jika di dibandingkan dengan tanpa perkuatan tetap mengalami penurunan tegangan σ terlihat pada tabel 11.

Dengan adanya visualisasi perkuatan pada kolom baja maka dapat diketahui letak-letak tegangan maksimal dan minimal dari setiap kolom baja yang ditinjau dengan menggunakan ANSYS. Sebelum perkuatan, tegangan maksimal dan minimal dari ruang arsip kolom E berada di ujung top flange. Setelah perkuatan dengan variasi 1, tegangan maksimal berpindah ke bagian bawah ujung plat baja pada bagian top flange dan tegangan minimal terjadi pada bagian ujung bottom flange kolom baja.

Pada variasi 2, terjadi beberapa perpindahan tegangan maksimal dan minimal. Pada tegangan arah-Z, tegangan maksimal terdapat pada plat bagian bottom flange kolom baja, sedangkan tegangan minimal terdapat dibagian *top flange* kolom baja. Kemudian, pada tegangan *third principal*, tegangan maksimal terjadi di dekat tegangan minimal, yakni pada plat bagian top flange kolom baja. Pada tegangan von-mises, tegangan maksimal terjadi pada plat bagian top

flange kolom baja dan tegangan minimal terjadi pada plat bagian bottom flange kolom baja atau kebalikan dari hasil visualisasi tegangan arah-Z

Pada perkuatan variasi 3, tegangan pada arah-Z dan *third-principal* menghasilkan letak tegangan maksimal dan minimal yang sama yakni tegangan maksimal berada di ujung atas baja siku di bagian bottom flange kolom baja dan tegangan minimal terjadi di ujung top flange kolom baja. Sedangkan pada tegangan von-mises, tegangan maksimal terjadi diujung atas baja siku dibagian bottom flange kolom baja dan tegangan minimal terjadi diujung bawah baja siku dibagian top flange kolom baja.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Dengan penambahan beban karena alihfungsi ruangan dilantai 4 di gedung berlantai 6 yang awalnya ruang rawat inap menjadi ruang arsip didapatkan kolom-kolom kritis yang berjumlah 5 kolom pada gedung rumah sakit tersebut.
2. Adanya alihfungsi ruangan dari ruang rawat inap menjadi ruang arsip maka, terjadilah

kemaksimalan tegangan σ_e . Tegangan tersebut terjadi di sayap ujung atas kolom yang ditinjau. Tegangan $\sigma_{maksimum}$ yang didapat ternyata masih lebih kecil dibandingkan dengan tegangan leleh baja yaitu $f_y = 240$ MPa. Maka dari itu, kolom-kolom tersebut belum dinyatakan leleh. Namun perkuatan tetap dipasang pada bagian kolom yang memiliki tegangan terbesar.

3. Variasi–variasi perkuatan yang dipasang pada kolom–kolom kritis berupa perkuatan pelat baja umumnya memiliki hasil analisis elemen hingga yang menunjukkan bahwa pengaruh perkuatan pada daerah kolom yang kritis menghasilkan nilai tegangan σ_e yang mengalami penurunan tegangan, sedangkan yang tidak dipasang perkuatan mengalami kenaikan tegangan σ_e .
4. Dengan adanya visualisasi perkuatan pada kolom baja maka dapat diketahui letak–letak tegangan maksimal dan minimal dari setiap kolom baja yang di tinjau dengan menggunakan ANSYS. Tegangan maksimum dan minimum yang terjadi memiliki tempat yang berbeda–beda pada setiap *Contour Plot-Nodal Solution* yang ditinjau. Seperti pada variasi 1, tegangan maksimum terjadi di bagian bawah ujung plat baja pada bagian *top*

flange dan tegangan minimal terjadi pada bagian ujung *bottom flange* kolom baja. Pada variasi 2, tegangan maksimum lebih cenderung berada di *top flange* dan tegangan minimum cenderung berada di *bottom flange* dan pada variasi 3, tegangan maksimal terjadi diujung atas baja siku dibagian *bottom flange* kolom baja dan tegangan minimal terjadi diujung bawah baja siku dibagian *top flange* kolom baja.

Saran

1. Dalam menggambarkan geometri elemen harus di perhatikan *contact surfaces* dari perkuatan yang menggunakan plat baja. Agar pada saat penyelesaian model tidak terjadi failure atau kegagalan dalam pemodelan.
2. Pemilihan *Element Type* untuk pemodelan elemen harus di perhatikan karena dapat pengaruhi hasil *meshing*. Karena, dengan tipe elemen yang tidak sesuai maka element tersebut tidak dapat didiskritisasi (*meshing*).
3. Semakin kecil proses pemodelan dari struktur/objek dalam membaginya dalam elemen-elemen kecil, maka pada proses meshing akan sangat kecil sehingga data hasil analisis FEM menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727-2013*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2015. *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729-2015*. Jakarta.
- Bargess, M. F., Lesmana, C., Tallar, R. Y., 2009. *Analisis Struktur Bendung dengan Metode Elemen Hingga*, Jurnal Teknik Sipil, Vol 5 No 1 (2009), Universitas Kristen Maranatha.
- Dewobroto, W., 2016. *Struktur Baja, Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*, Edisi ke-2, Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH, Jakarta.
- Logan, Daryl L., 2012. *A First Course in the Finite Element Method*. Cengage Learning, Stanford.
- Murdianto, W., Handono, Banu D., Windah, Reky S., 2019. *Evaluasi Peningkatan Kapasitas Tekuk Kolom Baja Profil Kastela dengan Variasi Tinggi Potongan*, Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.2 Februari 2019 (237-250) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Pandaleke, S., Handono, Banu D., Dapas, Servie O., 2019. *Perencanaan Ulang Bangunan Struktur Baja Rumah Sakit Umum Ratumbuang di Kota Manado.*, Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.6 Juni 2019 (723-732) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi. Manado.

- Paskah, Mega T., Dapas, Servie O., Manalip, H., 2019. *Studi Kuat Tekan Kolom Baja Profil Kanal U Ganda dengan Variasi Jarak Antar Profil*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.3 Maret 2019 (329-336) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Ruus, K., Handono, Banu D., Pandaleke, R. E., 2017. *Pengaruh Bentuk Badan Profil Baja terhadap Kuat Tekan.*, Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.5 Juli 2017 (249-262) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Segui, W. T., 2007. *Steel Design*, 4th Edition, Thompson Publishing Company.
- Storlaski, T., Nakasone, Y., Yoshimoto, S., 2006. *Engineering Analysis with ANSYS Software*. Oxford, United Kingdom.
- Tayu, B., Handono, Banu D., Pandaleke, R. E., 2017. *Perilaku Sambungan Baut Flush End-Plate Balok Kolom Baja pada Kondisi Batas.*, Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.5 Juli 2017 (237-247) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Tumimomor, Monika E., Dapas, Servie O., Mondoringin, Mielke R. I. A. J., 2016. *Analisis Penghubung Geser (Shear Connector) pada Balok Baja dan Pelat Beton*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.8 Agustus 2016 (461-470) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.