

ANALISIS PERBANDINGAN NILAI LENDUTAN PELAT LANTAI BETON BERTULANG MENGGUNAKAN ANALISA STRUKTUR BERDASARKAN SNI 2847:2019 DAN ABAQUS CAE

Nathanael Amando Lie*, Venchent May Alo

Unika Soegijapranata

Email: 19b10035@student.unika.ac.id

Abstract

Buildings consist of structural and non-structural aspects. Structural behavior is one part of the structural concept in civil engineering. A behavior that can occur in several structural elements is deflection. Indonesian National Standard 2847:2019 refers to structural concrete requirements for buildings that refer to the American Concrete Institute (ACI 318-14). Abaqus CAE has several supporting applications that can be used to model and evaluate structural behavior, which is also based on ACI 318-14. However, research regarding the comparative comparison of deflection values for the two methods that occur on reinforced concrete floor slabs based on SNI 2847:2019 and Abaqus CAE has never been carried out, so this research aims to compare the deflection values for the two methods that occur on reinforced concrete floor slabs based on SNI 2847:2019 and Abaqus CAE. This research is quantitative research using SAP 2000 and Abaqus CAE. The analysis results of the floor plate structure without joists based on SNI 2847:2019 and the Abaqus CAE application have output deflection values that are almost the same, with a difference of 3.44%. Modeling using transverse beams shows a significant reduction in deflection value, namely 197.74 mm. However, this value does not meet the permitted requirements.

Keywords: *Deflection, Abaqus CAE, Structural Analysis, SNI:2847:2019*

Abstrak

Bangunan terdiri dari aspek struktur dan non struktural. Perilaku struktur merupakan salah satu bagian dari konsep struktural pada ilmu teknik sipil. Perilaku yang dapat terjadi pada beberapa elemen struktur adalah lendutan. Standar Nasional Indonesia 2847:2019 merupakan acuan bagi persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung yang mengacu pada American Concrete Institute (ACI 318-14). Abaqus CAE merupakan beberapa aplikasi pendukung yang dapat digunakan untuk melakukan pemodelan dan evaluasi perilaku struktur yang juga didasarkan pada ACI 318-14. Meskipun demikian, penelitian mengenai perbandingan komparasi nilai lendutan terhadap kedua metode yang terjadi pada pelat lantai beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019 dan Abaqus CAE belum pernah dilakukan sehingga tujuan penelitian ini adalah melakukan komparasi nilai lendutan terhadap kedua metode yang terjadi pada pelat lantai beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019 dan Abaqus CAE. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan SAP 2000 dan Abaqus CAE. Hasil analisis struktur pelat lantai tanpa balok anak berdasarkan SNI 2847:2019 dan aplikasi Abaqus CAE memiliki *output* nilai lendutan yang hampir sama dengan selisih 3,44%. Permodelan menggunakan balok anak arah melintang menunjukkan reduksi nilai lendutan yang signifikan yaitu 197,74 mm. Namun nilai ini belum memenuhi syarat yang diizinkan.

Kata kunci: Lendutan, Abaqus CAE, Analisa Struktur, SNI:2847:2019

PENDAHULUAN

Pengembangan dalam aspek desain struktural pada bangunan dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu aspek struktural dan non-struktural. Bagian struktural yang menopang beban seperti fondasi, balok, kolom, pelat, dan sebagainya disebut sebagai bagian struktural. Sedangkan elemen nonstruktural, seperti dinding, *plafond*, dan sebagainya merupakan komponen suatu struktur yang tidak mampu menopang beban. Masing-masing komponen ini harus direncanakan untuk mencegah kegagalan bangunan (Mochtar et al., 2022). Serangkaian perhitungan yang disebut analisis struktur digunakan untuk memastikan respons struktur yang disebabkan oleh beban eksternal (Nurhaliza et al., 2021).

Pemahaman mengenai konsep struktural perlu dikuasai seorang ahli teknik sipil. Perilaku struktur merupakan salah satu bagian dari konsep struktural pada ilmu teknik sipil. Perilaku yang dapat terjadi pada beberapa elemen struktur adalah lendutan. Lendutan dapat terjadi di beberapa elemen struktur seperti pada pelat lantai, kolom, balok, dan pondasi. Lendutan dapat terjadi karena beberapa faktor diantaranya *overload*, korosi, dan kemampuan layan struktur yang kurang. Jika lendutan yang terjadi lebih besar dari lendutan izin dapat menyebabkan kegagalan struktur berupa retakan, dan bila dibiarkan akan menyebabkan kerusakan struktur yang fatal. Salah satu contoh permasalahan struktur adalah partisi yang ditopang oleh pelat lantai dapat mengalami dislokasi jika mengalami lendutan yang berlebihan (Wiyono, 2013). Oleh karena itu, lendutan pada pelat lantai perlu untuk diperhitungkan pada proses analisa struktur (Tuwanakotta, 2020).

Pada saat perencanaan, perilaku struktur harus diperhitungkan dengan baik salah satunya perhitungan lendutan.

Perencanaan struktur merupakan suatu proses desain berdasarkan peraturan-peraturan yang berlaku (Arifah et al., 2017). Perhitungan lendutan pada beberapa dekade belakangan dilakukan secara manual oleh seorang ahli teknik sipil. Dalam perencanaan, perlu dilakukan analisa struktur yang baik untuk menghindari kinerja struktur yang buruk.

Standar Nasional Indonesia 2847:2019 diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional pada tanggal 19 Desember 2019. Standar ini merupakan acuan bagi persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Standar ini mengacu kepada *American Concrete Institute* (ACI 318M-14 dan ACI 318RM) yang diadaptasi menjadi standar perancangan beton di Indonesia. Standar ini dibuat memiliki tujuan untuk menjamin keselamatan dan kekuatan dengan menetapkan persyaratan minimum sistem struktur untuk kemampuan layan kekuatan, stabilitas, durabilitas, dan perilaku setiap elemen struktur.

Seiring perkembangan perencanaan struktur, penerapan teknologi memberikan kemudahan dalam melakukan perhitungan dan menganalisis perilaku struktur. Berbagai aplikasi telah dirancang untuk dapat memodelkan dan menampilkan perilaku struktur bangunan yang terjadi. Perilaku pemodelan pada aplikasi tentunya telah melewati perhitungan dan analisis yang dilakukan menggunakan aplikasi. Perhitungan pada aplikasi pemodelan akan memunculkan bentuk dan prediksi perilaku pada struktur. Abaqus CAE merupakan salah satu aplikasi pendukung yang dapat digunakan untuk melakukan visualisasi pemodelan dan evaluasi perilaku struktur. Perhitungan pada aplikasi Abaqus CAE harus memiliki kesamaan dengan rumusan dan standar yang digunakan. Aplikasi ini mengadopsi standar dari ACI 318-14

sehingga telah memiliki kesamaan standar dengan SNI 2487:2019.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas mengenai perbandingan gaya dalam pada suatu portal. Gaya dalam yang bekerja dalam sebuah sistem struktur akan dianalisis menggunakan aplikasi struktur seperti SAP 2000 dan STAAD PRO (Fansuri et al., 2021).

Meskipun demikian, penelitian mengenai perbandingan komparasi nilai lendutan terhadap kedua metode yang terjadi pada pelat lantai beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019 dan Abaqus CAE belum pernah dilakukan dan menjadi *research gap* dalam penelitian ini. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah melakukan komparasi nilai lendutan terhadap kedua metode yang terjadi pada pelat lantai beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019 dan Abaqus CAE.

LANDASAN TEORI

Beton Bertulang

Beton merupakan campuran agregat halus, agregat kasar, semen, air, dan bahan tambah lainnya, serta dapat mengeras menjadi massa yang padat. Kombinasi beton dengan baja tulangan digunakan untuk menahan gaya tarik dan tekan bersama-sama. Beton bertulang harus sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2019, termasuk jenis prategang dan non prategang. Tulangan, berupa batang baja polos atau ulir yang digunakan untuk menahan gaya tarik pada elemen struktur, dengan perbedaan antara tulangan polos yang memiliki permukaan rata, dan tulangan *deform* yang bersirip atau berulir.

Perencanaan struktur beton harus mematuhi standar SNI 2847:2019 dan memperhatikan syarat-syarat perencanaan. Kriteria perencanaan struktur beton bertulang diantaranya kekuatan, nilai

ekonomis, kenyamanan, dan kemudahan perawatan. Hasibuan (2023) menyebutkan dua metode perencanaan, yaitu metode tegangan kerja dan kekuatan batas ultimit. Metode tegangan kerja mengharuskan beban kerja lebih kecil dari tegangan yang diizinkan, tetapi memiliki kendala terkait pembatasan tegangan total. Sementara itu, metode kekuatan batas memperhitungkan beban terfaktor untuk mencapai kekuatan ultimit yang diinginkan. Analisis struktur bertujuan memperkirakan gaya dan deformasi dengan menggunakan program komputer sebagai acuan, dengan tetap mengikuti prinsip keseimbangan gaya dan kompatibilitas deformasi untuk memastikan analisis struktur secara menyeluruh.

Pelat Lantai

Pelat lantai adalah elemen struktur bangunan yang berfungsi menopang beban dengan arah tegak lurus (Asroni, 2010). Metode penyaluran beban pada pelat lantai dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu beban searah dan beban dua arah, tergantung pada bentuk pelat lantai. Pelat lantai satu arah menyalurkan beban pada satu arah, biasanya diletakkan sebagai pelat kantilever di ujung bangunan. Perencanaan pelat lantai ini perlu memperhatikan ketebalan sesuai dengan SNI 2847:2019.

Pelat lantai dua arah menyalurkan beban ke dua arah yang berbeda dan dapat diilustrasikan sebagai metode *envelope*. Perencanaan pelat lantai dua arah juga memperhatikan ketebalan sesuai dengan tabel yang ditetapkan dalam standar. Selain itu, pelat beton bertulang merupakan struktur kaku horizontal yang berperan sebagai diafragma pengaku horizontal, terutama dalam ketegaran balok portal pada bangunan. Gambar kerja dan penulangan pelat lantai beton bertulang harus mengikuti standar perencanaan untuk memastikan ketahanan dan kinerja struktur secara keseluruhan.

Analisis Struktur

Menurut SNI 2847:2019, analisis struktur bertujuan memperkirakan gaya dalam dan deformasi untuk memastikan persyaratan kekuatan, kemampuan layan, dan stabilitas sesuai standar. Dalam era modern, penggunaan aplikasi dapat membantu analisis struktur yang kompleks. Keamanan suatu struktur tergantung pada lendutan yang tidak melebihi nilai izin. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pada analisis lendutan pelat lantai.

Dalam aplikasi Abaqus CAE, *input* yang dibutuhkan untuk analisis struktur yaitu dimensi elemen struktur, mutu material, beban, dan reaksi perletakan. Analisis lendutan pelat lantai melibatkan langkah-langkah seperti pembebanan, perhitungan momen inersia efektif, lendutan izin, dan lendutan seketika. SNI 2847:2019 menetapkan limitasi lendutan yang perlu dipatuhi.

Perbedaan signifikan antara ACI 318-14 dan SNI 2847:2019 terletak pada satuan yang digunakan. Kesalahan konversi satuan dapat memengaruhi perhitungan, seperti pada momen positif dan spasi tulangan. Abaqus CAE yang mengadopsi standar ACI digunakan untuk menganalisis lendutan pelat lantai pada portal struktur.

Pada penelitian ini, *homescreen* Abaqus CAE memberikan visualisasi perilaku struktur, termasuk tegangan, regangan, dan deformasi. Jenis bagian seperti *deformable*, *discrete rigid*, dan *analytical rigid* digunakan dalam tahapan analisis, melibatkan pemodelan pelat lantai, analisis, dan penarikan kesimpulan. Diagram alir pemodelan memberikan panduan dalam pelaksanaan analisis.

Perilaku dan Kontrol Lendutan

Menurut SNI 2847:2019 analisis struktur memiliki tujuan memperkirakan gaya dalam, lendutan, atau deformasi untuk memastikan kekuatan dan stabilitas sesuai

standar keselamatan. Analisis ini diperlukan dalam perencanaan sistem struktur untuk memenuhi persyaratan SNI 2847:2019. Menurut Wahzudi & Widjaja, (2014), pengabaian pada perencanaan lendutan pelat lantai dapat menyebabkan kerusakan serius pada bangunan, termasuk retak hingga keruntuhan.

Untuk mencegah kerusakan akibat lendutan pelat, diperlukan perencanaan yang cermat, terutama pada dimensi, tebal, dan beban yang akan diterima oleh pelat lantai. Faktor-faktor yang mempengaruhi lendutan diantaranya kekakuan batang, besar kecilnya gaya yang diberikan, jenis dan jumlah beban, serta dimensi dan ketebalan pelat lantai. Lendutan pelat lantai dihitung berdasarkan rumus dari Peraturan Beton Indonesia (PBI 1971) dan SNI 2847:2019 dalam satuan milimeter.

Batas izin lendutan perlu dipertimbangkan untuk mencegah penurunan kemampuan layan struktur saat menerima beban. Batas izin lendutan berbeda untuk setiap elemen struktur dan dipengaruhi oleh jenis dan dimensi panjang elemen. Lendutan pada pelat lantai, memiliki nilai batas lendutan yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019. Batas izin tersebut diperlihatkan pada Tabel 1.

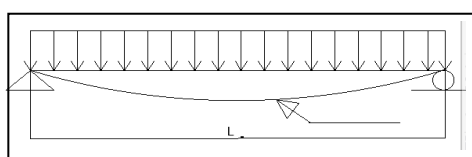
Tabel 1
Batas izin lendutan

Jenis Elemen Struktur	Batas Lendutan
Pelat Lantai	L/360
Atap atau Lantai	L/480

Menurut Nawy, (1998), hubungan beban dan lendutan pada beton bertulang dapat dibagi menjadi tiga daerah: daerah pra retak, daerah pascaretak, dan daerah pasca-*serviceability*. Lendutan dapat terbagi menjadi lendutan seketika dan lendutan jangka panjang, yang menyebabkan retakan ortogonal. Faktor-faktor yang mempengaruhi lendutan melibatkan beban, bentang, dan kekakuan elemen struktur.

Penting untuk memperhatikan dan merencanakan lendutan dengan baik agar tidak terjadi kerusakan struktural dan memberikan kenyamanan pengguna ruang. Faktor seperti beban, bentang, dan kekakuan elemen struktur sangat berpengaruh terhadap nilai lendutan yang terjadi. Contoh perilaku lendutan diperlihatkan pada Gambar 1.

Gambar 1
Perilaku Lendutan



Sumber: Wahzudi & Widjaja, 2014

Beban bangunan

Menurut SNI 1727:2020, beban pada bangunan melibatkan gaya atau aksi lain yang disebabkan oleh berat seluruh bahan konstruksi, penghuni, dan barang yang ada di dalamnya. Beban ini diatur dalam standar tersebut yang meliputi beban mati, hidup, tanah, angin, dan salju. Meskipun demikian, pada penelitian ini hanya mempertimbangkan beban mati dan hidup. Desain bangunan harus memastikan kekuatan yang cukup untuk menjaga

stabilitas struktural, melindungi elemen non-struktural, dan memenuhi persyaratan kemampuan layan. SNI 1727:2020 menetapkan kombinasi beban dasar, termasuk beberapa rumus yang meliputi beban mati (DL), beban hidup (LL), beban hujan (R), dan beban angin (W).

Beban mati adalah berat total bahan konstruksi yang dipasang di bangunan, termasuk dinding, atap, lantai, plafon, tangga, finishing, dan elemen struktural dan arsitektural lainnya. Penelitian ini memperhitungkan beban mati berdasarkan berat bahan konstruksi beton bertulang sesuai dengan volume portal yang akan digunakan. Beban mati terdiri dari beban sendiri struktur (akibat berat elemen beton) dan beban finishing lantai (seperti spesi, keramik, dan lantai kerja).

Beban hidup, pada SNI 1727:2020, berasal dari pengguna bangunan dan tidak termasuk beban konstruksi serta beban lingkungan. Pada penelitian ini, jenis bangunan yang dipakai adalah rumah sakit dengan fokus pada ruang klinik. Beban hidup diambil dari standar SNI 1727:2020 mengenai beban maksimal pada bangunan rumah sakit, yang diterapkan dalam satuan psf atau kN/m² atau terpusat dalam satuan kN. Terdapat kombinasi beban yang diperhitungkan dan yang digunakan dalam analisis ini adalah beban terbesar. Kombinasi beban tersebut adalah:

- 1,4 DL
- 1,2 DL+ 1,6 LL + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2 DL +1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)
- 1,2 DL + 1,0 W + L +0,5(Lr atau R)
- 0,9 DL+ 1,0 W

Keterangan:

DL = Beban mati

LL = Beban hidup

R = Beban hujan

W = Beban angin

Lr = Beban atap

Selain itu, *axial force* diterapkan pada kolom yang menahan beban dari lantai di atasnya. Nilai axial force diperoleh dari pemodelan keseluruhan gedung menggunakan aplikasi SAP 2000.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif atau penelitian yang dapat diukur melalui ukuran tertentu. Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit A dipilih sebagai studi kasus, dengan data yang mencakup dimensi elemen struktur, mutu beton, dan informasi kegunaan ruangan. Kesimpulan dan saran diambil dari tahapan sebelumnya, dan tahap akhir melibatkan penyempurnaan hasil melalui ujian tugas akhir atau pendaran. Penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Literatur dan Kajian Pustaka: Pengumpulan informasi dari jurnal dan standar yang berlaku saat ini.
2. Kajian pustaka melibatkan definisi dan sifat beton bertulang, analisis struktur, dan kontrol lendutan, serta penerapan aplikasi Abaqus CAE.
3. Pengumpulan Data Penelitian.
4. Pengolahan data, analisis, permodelan, dan pembahasan data penelitian. Data yang diperlukan mencakup dimensi elemen struktur, mutu beton, dan informasi kegunaan ruangan untuk pembebanan.
5. Perumusan kesimpulan dan saran berdasarkan pengolahan dan analisis data.
6. Proses penyempurnaan hasil melalui ujian tugas akhir atau pendaran. Tahap ini melibatkan perbaikan berdasarkan *feedback* dari seminar *draft* sebelumnya.

HASIL PENELITIAN

Analisis Konversi Satuan

Dalam melakukan analisa struktur berdasarkan SNI 2847:2019, satuan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. Panjang = Meter
- b. Beban = Kilonewton
- c. Lendutan = Milimeter

Pembebanan

Beban mati yang diperhitungkan adalah beban sendiri pelat lantai dan berat finishing lantai. Hasil perhitungan beban mati dijabarkan dalam Tabel 2.

Tabel 2
Hasil Perhitungan Beban Mati

Beban Pelat Lantai	Beban <i>Finishing</i>
312 kg/m ²	1,2 kg/m ² /m'

Total beban mati yang digunakan adalah beban sendiri pelat lantai dan beban finishing yaitu 313,2 kg/m² atau 3,132 kN/m². Beban hidup yang diperhitungkan diambil dari SNI 1727:2020 sesuai penggunaan ruangan. Beban hidup yang akan digunakan bersumber dari Tabel 4.3.1 dalam SNI 1727:2020. Beban hidup yang seharusnya digunakan sebagai bahan analisis adalah beban hidup pada ruang pasien dengan beban hidup sebesar 1,92 kN/m². Namun untuk analisis lendutan, beban yang digunakan adalah beban jalur darurat pada rumah sakit yaitu sebesar 4,79 kN/m².

Hasil Analisa Struktur

Hasil total beban mati didapatkan sebesar 313,2 kg/m² dan total beban hidup sebesar 479 kg/m². Hasil perhitungan beban terfaktor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3
Hasil Perhitungan Beban Terfaktor

Beban Terfaktor	Nilai Beban (Kg/m ²)
A	438,38
B	1.142,42
C	854,84
D	854,84
E	281,88

Keterangan beban terfaktor:

$$A = 1,4 Q_{DL}$$

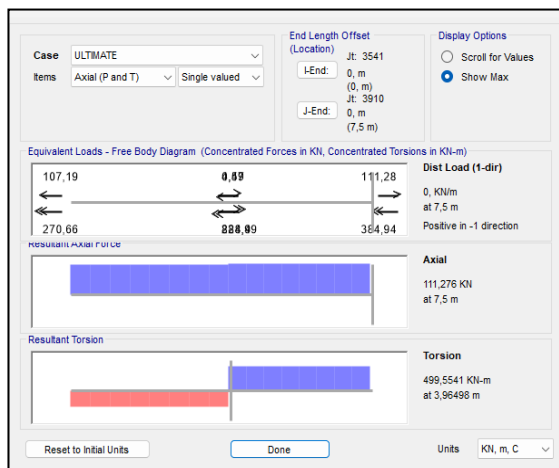
$$B = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$$

$$C = 1,2 Q_{DL} + 1,6 (Q_{LR} \text{ atau } QR) + (Q_{LL} \text{ atau } 0,5 Q_{WL})$$

$$D = 1,2 Q_{DL} + 1,0 Q_{WL} + Q_{LL} + 0,5 (Q_{LR} \text{ atau } QR)$$

$$E = 0,9 Q_{DL} + 1,0 Q_{WL}$$

Maka nilai beban *ultimate* yang digunakan adalah 1142,24 kg/m². Beban kombinasi 1142,24 kg/m² digunakan karena merupakan beban dengan nilai paling besar dari kombinasi beban yang lain. Beban terbesar digunakan karena dapat menghasilkan nilai lendutan yang lebih besar sehingga memudahkan untuk dianalisis. Permodelan dari SAP 2000 akan menghasilkan gaya dalam yang nanti akan dimasukkan. Gaya dalam yang diambil dari *output* permodelan SAP 2000 untuk dimasukkan ke dalam Abaqus CAE adalah nilai *axial force*. *Output* gaya dalam SAP 2000 diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2
Gaya Dalam Pada Kolom Hasil Analisis dari SAP 2000

Data pelat lantai yang digunakan sebagai input dalam analisis struktur dijabarkan di dalam Tabel 4.

Tabel 4
Data Pelat Lantai

Data	Nilai
Bentang Panjang	11.000 mm
Bentang Pendek	8.000 mm
Tebal Pelat	130 mm
Mutu Beton	25.000 kN/m ²
Modulus Elastisitas Beton	23,5 kN/mm ²
Momen Inersia	2.013.916.666,667 mm ⁴
Lendutan Izin	30,5 mm
Lendutan Seketika	288,2 mm

Berdasarkan hasil analisis struktur, dapat disimpulkan bahwa lendutan seketika pada elemen struktur pelat lantai dengan bentang 11 x 8 m melebihi batasan izin yaitu lendutan izin lebih kecil daripada lendutan seketika. Perbedaan nilai ini dikarenakan beban yang digunakan dalam perhitungan lendutan menggunakan beban *ultimate* atau beban maksimal yang melebihi beban yang disyaratkan pada SNI 1727:2020 sehingga perbedaan nilai lendutan cukup signifikan. Nilai lendutan harus ditinjau karena berpengaruh pada keamanan pengguna bangunan serta kekuatan struktur. SNI 2847:2019 menyebutkan bahwa dalam melakukan perencanaan, struktur harus kuat dan mampu menahan beban yang bekerja, serta memenuhi syarat keamanan.

Elemen struktur yang dinyatakan tidak aman dan dibutuhkan rekomendasi perkuatan struktur. Rekomendasi perkuatan struktur dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi elemen struktur, memperbesar mutu material, atau menambahkan balok anak.

Permodelan Portal Tanpa Balok Anak Abaqus CAE

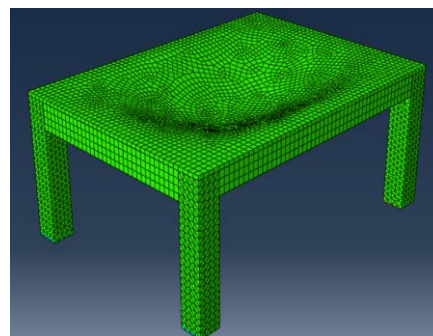
Pada aplikasi Abaqus CAE, terdapat beberapa cara untuk mengukur lendutan, seperti indikator warna dan pergeseran *node* (Simulia, 2013). Indikator warna digunakan untuk memvisualisasikan variabel seperti tegangan, regangan, atau perpindahan dalam tampilan 3D Abaqus CAE. Namun, pergeseran *node* memiliki indikator warna terpisah, terkadang dianggap kurang akurat karena melibatkan simpul elemen dan rata-rata perpindahan simpul dalam tiga arah (X, Y, Z).

Penelitian ini fokus pada pergerakan deformasi dalam satu sumbu, sehingga penggunaan metode warna menjadi kurang valid karena pengaruh dari beberapa variabel. Oleh karena itu, metode yang lebih tepat untuk mengukur lendutan adalah melalui pergeseran *node*. Simulia, (2013) menyatakan bahwa metode ini memberikan nilai perpindahan aktual pada simpul elemen, yang dapat dijadikan dasar justifikasi untuk mendapatkan nilai lendutan yang akurat dan sesuai dengan kondisi aktual. Sebagai contoh, nilai lendutan terbesar dalam portal struktur dapat dibaca menggunakan Ms Excel. Spesifikasi elemen struktur beserta materialnya dijabarkan di dalam Tabel 5.

Tabel 5
Spesifikasi Elemen Struktur

Data	Nilai
Mutu Beton	25 MPa
Mutu Baja Tulangan	420 MPa
Dimensi Kolom	0,8 m x 0,8 m
Dimensi Balok Bentang Panjang	0,7 m x 0,4 m
Dimensi Balok Bentang Pendek	0,85 m x 0,4 m
Dimensi Pelat Lantai	11 m x 8 m x 0,13 m
Diameter Tulangan	10 mm

Output aplikasi Abaqus CAE diperlihatkan pada Gambar 3 dan Tabel 6.



Gambar 3
Output result dari aplikasi Abaqus CAE

Tabel 6
Hasil Lendutan Abaqus CAE Tanpa Balok Anak

Keterangan	Deskripsi
<i>Node</i>	U (U ₃)
Label	@Loc 1
Nilai Lendutan Terbesar	524 mm

Nilai lendutan maksimum permodelan adalah 524 mm dan melebihi batas lendutan izin yaitu 30,5 mm. Analisis struktur berdasar SNI 2847:2019 dan aplikasi Abaqus CAE memiliki *output* nilai lendutan yang hampir sama dengan selisih 3,44%. Kondisi tersebut diakibatkan karena beban yang diterapkan merupakan beban maksimal dan melebihi batas yang diizinkan dari SNI 1727:2020. Faktor lain penyebab nilai lendutan jauh di atas lendutan izin adalah desain portal yang tidak menggunakan balok anak sehingga beban merata hanya ditransfer menuju arah bentang panjang 11 meter dan bentang pendek 8 meter. Oleh karena itu diperlukan perkuatan struktur berupa penambahan balok anak.

Permodelan Portal Balok Anak Memanjang Abaqus CAE

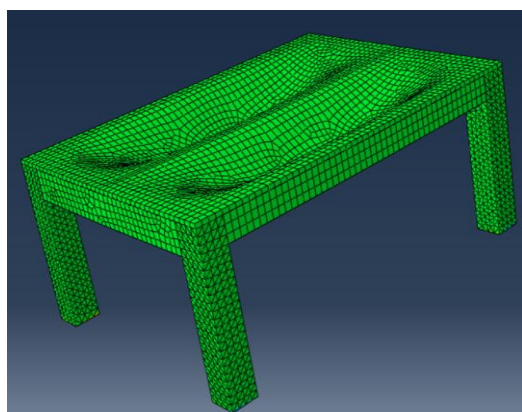
Variasi perkuatan struktur dilakukan dengan cara menambahkan satu balok anak dengan arah memanjang pada portal struktur yang ingin dianalisis.

Spesifikasi elemen struktur beserta materialnya dijabarkan dalam Tabel 7.

Tabel 7
Spesifikasi Elemen Struktur

Data	Nilai
Mutu Beton	25 MPa
Mutu Baja Tulangan	420 MPa
Dimensi Kolom	0,8 m x 0,8 m
Dimensi Penampang Balok Memanjang	0,7 m x 0,4 m
Dimensi Penampang Balok Melintang	0,85 m x 0,4 m
Dimensi Penampang Balok Anak Arah Memanjang	0,6 m x 0,25 m
Dimensi Pelat Lantai	11 m x 8 m x 0,13 m
Diameter Tulangan	10 mm

Output aplikasi Abaqus CAE diperlihatkan pada Gambar 4 dan Tabel 8.



Gambar 4
Output result dari aplikasi Abaqus CAE

Tabel 8
Hasil Lentutan Abaqus CAE Balok Anak Arah Memanjang

Keterangan	Deskripsi
Node	U (U ₃)
Label	@Loc 1
Nilai Lentutan Terbesar	523 mm

Dari hasil permodelan pada Tabel 8, pelat lantai yang semula memiliki ukuran 11 m x 8 m setelah ditambahkan balok anak

terbagi menjadi dua bagian masing-masing memiliki ukuran 11 m x 4 meter. Hasil visualisasi 3D, lendutan yang terjadi juga terbagi menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh balok anak arah memanjang. Dengan menambahkan balok anak arah memanjang, nilai lendutan pelat lantai mengalami reduksi yang semula bernilai 524 mm menjadi 523 mm. Reduksi yang terjadi belum menunjukkan penurunan nilai lendutan yang signifikan dan masih jauh di atas batas izin yang disyaratkan SNI 2847:2019.

Permodelan Portal Balok Anak Melintang Abaqus CAE

Perkuatan struktur dengan menambahkan balok anak arah memanjang tidak dapat menjadi rekomendasi karena reduksi nilai lendutan pelat lantai yang dihasilkan tidak signifikan dengan pelat lantai tanpa balok anak. Variasi perkuatan struktur dilakukan dengan cara menambahkan satu balok anak dengan arah melintang dilakukan dengan elemen struktur di dalam Tabel 9.

Tabel 9
Spesifikasi Elemen Struktur

Data	Nilai
Mutu Beton	25 MPa
Mutu Baja Tulangan	420 MPa
Dimensi Kolom	0,8 m x 0,8 m
Dimensi Penampang Balok Memanjang	0,7 m x 0,4 m
Dimensi Penampang Balok Melintang	0,85 m x 0,4 m
Dimensi Penampang Balok Anak Arah Melintang	0,6 m x 0,25 m
Dimensi Pelat Lantai	11 m x 8 m x 0,13 m
Diameter Tulangan	10 mm

Output aplikasi Abaqus CAE diperlihatkan pada Tabel 10.

Tabel 10
Hasil Lendutan Abaqus CAE Balok Anak Arah Melintang

Keterangan	Deskripsi
Node	U (U ₃)
Label	@Loc 1
Nilai Lendutan Terbesar	197,74 mm

Dengan menambahkan balok anak arah melintang, nilai lendutan pelat lantai mengalami reduksi yang semula bernilai 524 mm menjadi 197,74 mm. Reduksi yang terjadi masih di atas batas izin yang disyaratkan SNI 2847:2019.

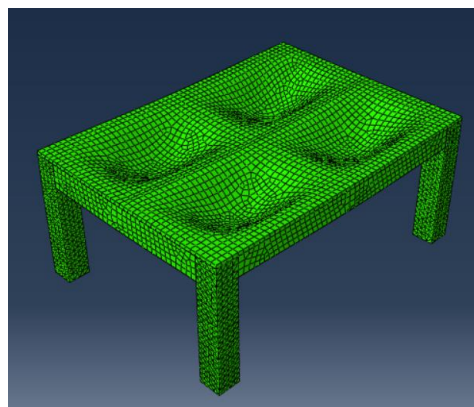
Permodelan Portal Balok Anak Memanjang dan Melintang Abaqus CAE

Variasi kekuatan struktur dilakukan dengan cara menambahkan satu balok anak dengan arah memanjang dan melintang dilakukan dengan elemen struktur di dalam Tabel 11.

Tabel 11
Spesifikasi Elemen Struktur

Data	Nilai
Mutu Beton	25 MPa
Mutu Baja Tulangan	420 MPa
Dimensi Kolom	0,8 m x 0,8 m
Dimensi Penampang Balok Memanjang	0,7 m x 0,4 m
Dimensi Penampang Balok Melintang	0,85 m x 0,4 m
Dimensi Penampang Balok Anak Arah Memanjang	0,6 m x 0,25 m
Dimensi Penampang Balok Anak Arah Melintang	0,6 m x 0,25 m
Dimensi Pelat Lantai	11 m x 8 m x 0,13 m
Diameter Tulangan	10 mm

Output aplikasi Abaqus CAE diperlihatkan pada Gambar5 dan Tabel 12.



Gambar 5
Output result dari aplikasi Abaqus CAE

Tabel 12
Hasil Lendutan Abaqus CAE Balok Anak Gabungan Arah Memanjang dan Melintang

Keterangan	Deskripsi
Node	U (U ₃)
Label	@Loc 1
Nilai Lendutan Terbesar	28,33 mm

Lendutan yang terjadi pada kekuatan gabungan tercatat sebesar 28,33 mm. Nilai tersebut sudah masuk ke dalam batas yang disyaratkan oleh SNI 2847:2019 sehingga portal dinyatakan aman. Hal ini terjadi karena distribusi beban yang sebelumnya hanya dibantu oleh balok anak baik itu arah memanjang atau melintang diubah menjadi distribusi beban dibantu oleh kedua balok anak arah memanjang dan melintang. Beban yang terjadi pada pelat didistribusikan dengan baik oleh kedua balok anak, sehingga lendutan yang terjadi pada pelat lantai bernilai kecil yaitu 28,33 mm.

SIMPULAN

Dari hasil analisis lendutan pelat beton bertulang menggunakan analisis struktur dan aplikasi Abaqus CAE, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis struktur berdasar SNI 2847:2019 dan aplikasi Abaqus CAE memiliki *output* nilai lendutan yang hampir sama dengan selisih 3,14%. Selisih ini dapat terjadi karena faktor perbedaan variabel analisis baik dalam proses analisa struktur berdasarkan SNI 2847:2019 dan aplikasi Abaqus CAE. Nilai lendutan yang terjadi pada kedua metode tersebut dinyatakan tidak memenuhi syarat batas izin lendutan. Oleh karena itu, direkomendasikan beberapa variasi perkuatan struktur yaitu dengan menambahkan balok anak dengan arah memanjang dan melintang.
2. Hasil nilai lendutan antara kedua metode tersebut menunjukkan hasil yang hampir sama karena *input* dan satuan yang dimasukkan pada dua metode tersebut disamakan. Jika analisis lendutan menggunakan kedua metode tersebut tidak memenuhi syarat izin, maka dilakukan perkuatan dengan menambahkan balok. Penambahan balok anak arah memanjang tidak dapat menjadi rekomendasi perkuatan struktur karena reduksi nilai yang dihasilkan tidak signifikan jika dibandingkan dengan permodelan tanpa balok anak.
3. Permodelan menggunakan balok anak arah melintang menunjukkan reduksi nilai lendutan yang signifikan yaitu 197,74 mm. Namun nilai ini belum memenuhi syarat yang diizinkan dalam SNI 2847:2019. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti dimensi balok yang kurang besar sehingga kinerja struktur dalam menahan lendutan akibat beban belum terlalu baik.
4. Variasi permodelan gabungan antara balok anak memanjang dan melintang dapat menjadi rujukan praktis

permodelan portal, karena nilai lendutan yang dihasilkan memenuhi syarat izin lendutan dalam SNI 2847:2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, A. G., Akbar, M. R., & Affandhie, R. B. A. (2017). Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Fakultas Teknik di Malang dengan Metode Sistem rangka Pemikul Momen Menengah. *Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- Asroni, A. (2010). Balok dan Pelat Beton Bertulang. *Yogyakarta: Graha Ilmu*.
- Fansuri, S., Desharyanto, D., & Diana, A. I. N. (2021). Perbandingan Model Struktur Menggunakan Metode Matriks dengan Program SAP 2000. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 9(2), 139–148.
- Hasibuan, S. A. R. S. (2023). *Buku Ajar Struktur Beton 1*. Universitas Medan Area Press.
- Mochtar, M. A., Al Zakina, B. L., & Santoso, T. B. (2022). Analisa Kuat Lentur Pelat Lantai Dengan Menggunakan Wire Mesh Dan Bambu Sebagai Pengganti Tulangan Pelat. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 46–57.
- Nawy, G. (1998). Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar. *RefikaAditama, Bandung*.
- Nurhaliza, N., Nuklirullah, M., & Bahar, F. F. (2021). Analisis Struktur Balok dan Pelat Lantai Akibat Alih Fungsi Bangunan (Studi Kasus: Gedung Rektorat Universitas Jambi). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 101–110.
- Simulia. (2013). *Abaqus CAE Finite Element Modeling, Visualization, and Process Automation*.

Tuwanakotta, E. (2020). Identifikasi Tingkat Kerusakan Pelat Lantai Tiga Kampus Politeknik Saint Paul Sorong. *Jurnal Karkasa*, 6(1), 22–26.

Wahzudi, & Widjaja, A. (2014). Studi Pengaruh Tebal Pelat Terhadap Lendutan Pelat Menerus Ditinjau dari

Fungsi Bangunan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil UNESA*, 2(2), 1–10.

Wiyono, D. R. (2013). Analisis Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 20–37.