

## Kelayakan Struktur Bangunan Akibat Perubahan Beban Dengan Metode Linear Moving Load

\* Heri Khoeri<sup>1,1</sup>, Haryo Koco Buwono<sup>2</sup>, Dwi Yulina Abdi Jayanti<sup>3</sup>, Andika Setiawan<sup>4</sup>  
<sup>1,2,4</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta  
<sup>3</sup>PT. Hesa Laras Cemerlang, Jakarta  
<sup>\*</sup>[haryo.koco@umj.ac.id](mailto:haryo.koco@umj.ac.id)

### Abstract

Related to the planned placement of an additional 1.2 tonnes of movable equipment in the Hospital Operating Room, it is necessary to check the strength of the existing structure that will be subjected to the additional load, to ensure the safety of the building and the safety and comfort of its users. From the visual observation, the repetitive concrete structure looks good, as well as from the interpretation of the UPV test results, the concrete quality of the tested structural elements can be stated in good and very good categories, with an average range of ultrasonic wave propagation speed of the elements between 3596 to 4567 m/sec. From the scan results with georadar, it was identified that the concrete thickness of the floor slab was + 20 cm with two-way reinforcement of two layers of D10-150 plus M6 top reinforcement. While the main beam reinforcement uses D22 and stirrups:  $\phi$ 12 and D13, with the number and spacing meeting the minimum requirements for reinforcement installation. By using input data from observations, tests and field concrete scans, structural modelling and analysis were carried out using SAP2000 software. The analysis results show that the structure still meets the strength requirements and deflection requirements in accordance with SNI SNI 2847-2019 Structural concrete requirements for buildings and SNI 1727-2020 Minimum loads for the design of buildings and other structures.

**Keywords:** Bridge, prestressed, tendons, static\_response, buckling

### Abstrak

Terkait dengan adanya rencana penempatan tambahan alat sebesar 1.2 ton yang dapat dipindah-pindahkan di dalam ruang Operasi Rumah Sakit, maka perlu dilakukan pengecekan kekuatan struktur eksisting yang akan dikenai beban tambahan tersebut, untuk memastikan keamanan bangunan dan keselamatan dan kenyamanan penggunaannya. Dari hasil pengamatan visual, struktur beton berulang terlihat baik, begitupula dari interpretasi hasil pengujian UPV, mutu beton elemen struktur yang diuji dapat dinyatakan dalam katagori baik dan sangat baik, dengan range average cepat rambat gelombang ultrasonic elemen antara 3596 sampai dengan 4567 m/detik. Dari hasil scan dengan georadar teridentifikasi tebal beton pelat lantai + 20 cm dengan tulangan dua arah dua lapis D10-150 ditambah tulangan atas M6. Sementara tulangan utama balok menggunakan D22 dan Senggang  $\phi$ 12 dan D13, dengan jumlah dan jarak memenuhi persyaratan minimal pemasangan tulangan. Dengan menggunakan input data hasil observasi, pengujian dan pemindaian beton lapangan selanjutnya dilakukan pemodelan dan analisis struktur menggunakan software SAP2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur masih memenuhi persyaratan kekuatan dan persyaratan lendutan sesuai dengan SNI SNI 2847-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung dan SNI 1727-2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.

**Kata Kunci:** Pelat, Static\_Moving\_Load, upv, georadar

## PENDAHULUAN

Berdasarkan Permenkes no 24 tahun 2016 bahwa identifikasi Rumah Sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Bangunan Rumah Sakit adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat dan kedudukannya, sebagian atau seluruhnya yang berada di atas tanah/perairan, ataupun di bawah tanah/perairan yang digunakan untuk penyelenggaraan Rumah Sakit. Prasarana Rumah Sakit adalah utilitas yang terdiri atas alat, jaringan dan sistem yang membuat suatu bangunan Rumah Sakit bisa berfungsi. Ruang adalah bagian dari Ruang merupakan tempat yang dibatasi oleh bidang-bidang fisik maupun non fisik yang memiliki fungsi spesifik [1].

Terkait dengan adanya rencana penempatan tambahan alat sebesar 1.2 ton pada ruang operasi dalam gedung rumah sakit di Jakarta, maka diperlukan pengecekan

pada struktur yang akan berikan beban tambahan akibat penempatan alat tersebut. Adapun diuji analisis struktur dengan menggunakan uji fisik lapangan dan uji perhitungan struktur.

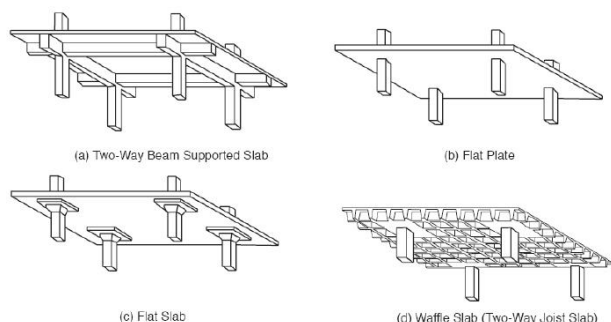
## LANDASAN TEORI

### Struktur Pelat

Sistem pelat lantai yang dipilih untuk suatu bangunan gedung berbeda-beda, tergantung pada fungsi ruangan dan batasan ekonomi dan kebutuhan arsitektural. Sistem pelat lantai beton bertulang dalam peraturan SNI 2847:2019 terdiri dari dua, yaitu one way slab (pelat satu arah) dan two way slab (pelat dua arah) seperti dijelaskan dalam Gambar 1.

One way slab (pelat satu arah) adalah pelat yang didukung oleh 2 balok yang diletakkan hanya pada dua sisi yang berseberangan dan memiliki rasio panjang (L) dibanding lebar (B) adalah lebih besar dari 2. Sedangkan two way slab (pelat dua arah) adalah pelat yang didukung

oleh balok pada keempat sisi pelat dan memiliki rasio  $L/B < 2$ . Beberapa sistem pelat dua arah yang dikenal adalah: (a) two-way beams supported slab, (b) flat plate, (c) flat slab, dan (d) waffle slab (two way joist slab). Perbedaan utama antara sistem pelat lantai satu arah dengan dua arah adalah pada sistem pelat lantai satu arah, beban lantai dianggap didistribusikan hanya dalam satu arah ortogonal (arah pendek) sedangkan pada sistem pelat lantai dua arah, beban lantai dianggap didistribusikan pada kedua arah ortogonal. Suatu pelat lantai dapat diberikan pengaku balok anak (floor beam) yang dapat mengurangi lendutan dan momen lentur pada pelat.



Gambar 1. Sistem Pelat Beton Bertulang Two-Way Slab (Wight & MacGregor, 2012)

Beban-beban yang sering dimodelkan pada saat analisis pelat adalah beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban lateral (beban angin dan beban gempa). Namun, banyak insinyur yang sering tidak memperhitungkan efek dari beban dinamik lain seperti beban yang berasal dari getaran, seperti gelombang suara, mesin atau ledakan. Desain pelat dalam perencanaan ideal adalah harus mampu dan efektif menahan beban apa saja yang kemungkinan bekerja pada pelat tersebut.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan respons dinamik struktur akibat beban mesin, yaitu dengan finite element method, finite difference method, metode Rayleigh-Ritz, atau modified Bolotin method. Modified Bolotin method adalah pengembangan dari metode Bolotin yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1960. Metode Bolotin dapat menyelesaikan permasalahan dinamika struktur pelat dengan kombinasi berbagai jenis tumpuan tepi pelat (H K Buwono et al., 2020). Metode Bolotin dikembangkan oleh Vijayakumar pada tahun 1971 dan 1974 (Vijayakumar, 1974), dan pada tahun 2000, Pevzner dan kawan-kawan memodifikasi metode ini untuk menyelesaikan masalah pelat dan cangkang (shell) secara numerik dengan menggunakan fungsi trigonometri (Pevzner et al., 2000). Modified Bolotin method mempunyai keuntungan dalam penyelesaian persamaan pelat karena dapat mendapatkan solusi yang akurat untuk bentuk ragam yang tinggi.

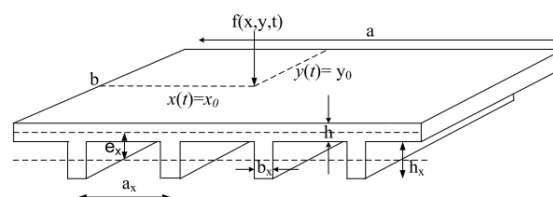
Dalam menganalisis suatu struktur, perlu diketahui bagaimana perilaku struktur tersebut terhadap beberapa macam eksitasi atau getaran. Salah satu besaran yang mencerminkan perilaku struktur adalah frekuensi alaminya. Frekuensi alami struktur dapat dicari dengan mengasumsi struktur tidak memiliki redaman dan tidak ada

pembebanan yang bekerja pada struktur, hanya ada initial condition saja. Hal ini juga sering dikenal sebagai analisis getaran bebas.

Persamaan diferensial pelat ortotropik elastis yang teredam diperoleh dengan menjumlahkan semua gaya dalam yang bekerja pada sistem pelat yang harus seimbang dengan beban luar yang bekerja (Alisjahbana et al., 2019).

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2B \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \xi h \frac{\partial w}{\partial t} = p_z(x, y) \quad (1)$$

Untuk pelat ortotropik persegi empat yang diperkaku dengan balok anak, persamaan di atas dapat digunakan untuk memperoleh respons pelat terhadap beban tertentu (Haryo Koco Buwono, Budiman, et al., 2021). Parameter geometri yang perlu diketahui pada suatu pelat ortotropik persegi empat yang diperkaku dengan balok anak dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pelat ortotropik persegi empat dengan balok anak (Haryo Koco Buwono, Alisjahbana, et al., 2021)

### Linier Moving Load

Masalah identifikasi *Linier Moving Load* (beban bergerak linier) telah dipelajari secara ekstensif dan memiliki sejarah yang panjang. Metode-metode utama dapat dibagi menjadi dua kategori: metode domain frekuensi dan metode domain waktu. Hu dkk. (2011) merangkum penelitian tentang metode-metode identifikasi beban bergerak dan aplikasi dalam domain frekuensi. Metode domain frekuensi mudah direalisasikan karena kuncinya adalah invers dari matriks karakteristik sistem. Sementara itu, transformasi Fourier harus diterapkan pada data respon. Oleh karena itu, metode dalam domain frekuensi cocok untuk beban bergerak stabil atau beban bergerak acak. Menurut Ory (1986), menyampaikan bahwa metode-metode ini tidak dapat digunakan untuk beban kejut, seperti yang terjadi pada kereta luncur roket yang bekerja pada rel. Dibandingkan dengan metode-metode identifikasi beban bergerak dalam domain frekuensi, metode-metode dalam domain waktu tidak perlu menggunakan bentuk trans Fourier. Metode-metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi beban jenis apapun dan mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh pemotongan modal. Jelas, metode domain waktu ini dapat digunakan dalam identifikasi beban kejut, yang memenuhi situasi kereta luncur roket yang bekerja pada rel. (Jingjing, 2019).

Elemen balok ramping yang mengalami gaya aksial banyak digunakan dalam struktur sipil, misalnya pada gelagar rangka atau struktur rangka ruang. Identifikasi eksperimental gaya aksial aktual dalam elemen-elemen ini sangat penting untuk memverifikasi perhitungan desain atau untuk memperkirakan kapasitas cadangan elemen-elemen yang menyusun struktur.

Metode ke depan dapat digunakan untuk mengestimasi gaya aksial dalam batang, misalnya dengan perhitungan elemen hingga. Namun demikian, sering kali, estimasi ke depan yang akurat dari gaya aksial dapat menjadi rumit karena ketidakpastian mengenai beban eksternal, kondisi penyangga dan sambungan ujung balok. Untuk alasan ini, metode inversi telah diusulkan, berdasarkan efek orde kedua dari gaya aksial pada kekakuan transversal batang. Metode statis pada awalnya diusulkan untuk penentuan gaya aksial pada tie-beam. Perluasan telah dilakukan untuk elemen balok yang merupakan bagian dari struktur rangka atau truss. Metode statis memanfaatkan deformasi terukur dari balok akibat satu atau lebih beban statis terkonsentrasi yang diketahui (Szilard, 2004).

Dalam situasi praktis, bagaimanapun juga, beban statis dengan ukuran yang cukup besar tidak dapat dengan mudah diaplikasikan dan pengukuran perpindahan sering kali sulit dilakukan karena tidak adanya posisi referensi yang stabil dan tetap. Metode dinamis memanfaatkan respons getaran, yang diukur pada beberapa titik yang didistribusikan di sepanjang struktur, atau pengukuran getaran lokal di sepanjang batang yang diinginkan. Sebagian besar metode dinamik yang ada didasarkan pada karakteristik modal batang yang teridentifikasi, yaitu frekuensi alami dan/atau mode shapes. Karakteristik modal ini bergantung pada kekakuan struktur dan, akibatnya, dipengaruhi oleh gaya aksial pada batang. Beberapa metode telah diusulkan untuk mengestimasi gaya aksial pada batang dari frekuensi alami mode tunggal atau beberapa mode. Semua metode ini bergantung pada asumsi kondisi tumpuan ujung tetap atau beresnel dari member balok (Juliana Maer Lucia I. R. Lefrandt, 2019).

Dalam prakteknya, bagaimanapun juga, kondisi batas sering kali kompleks dan sangat mempengaruhi karakteristik modal struktur. Sebagai alternatif untuk formulasi analitis, teknik pembaharuan model elemen hingga dan identifikasi sistem telah diusulkan, tetapi untuk metode-metode ini akurasi gaya aksial yang teridentifikasi sangat ditentukan oleh ketidakpastian pada model, yang dalam banyak kasus mencakup seluruh struktur. Tullini et al. mengusulkan sebuah metode, berdasarkan teori balok Euler-Bernoulli, yang mencakup informasi bentuk modus untuk mengestimasi gaya aksial member. Metode ini menggunakan frekuensi alami tunggal dan tiga komponen perpindahan dari bentuk mode yang sesuai. Gaya aksial serta kekakuan lentur dari kendala ujung dapat diidentifikasi di bawah asumsi kekakuan translasi tak terbatas pada ujung balok (Maes et al., 2013).

### Uji kelayakan Bangunan

Beton bertulang merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai sistem struktur infrastruktur sipil seperti bendungan, jembatan, sistem penahan tanah, serta bangunan gedung. Seiring dengan bertambahnya umur bangunan, terdapat kemungkinan bahwa material beton telah mengalami degradasi mutu. Oleh karena itu, diperlukan suatu pemeriksaan mutu beton pada bangunan eksisting, yang kebutuhannya akan semakin mendesak jika suatu bangunan eksisting akan dilakukan renovasi berkaitan dengan perubahan ataupun penambahan beban layan yang harus ditahan. Selain itu pemeriksaan

mutu beton juga biasanya diperlukan untuk keperluan penyusunan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) pada bangunan eksisting.

Pemeriksaan mutu beton terpasang suatu konstruksi ini bisa dilakukan dengan nondestruktif (NDT) dan destruktif. Beberapa contoh pengujian NDT antara lain adalah pengujian palu beton (Hammer Test), pengujian UPV (Ultrasonic Pulse Velocity), Pull Out Test, dll. Pengujian secara NDT sifatnya tidak mengukur langsung properti kuat tekan beton, melainkan mengukur beberapa properti tertentu pada material. Sementara itu pengujian destruktif yang umum dilakukan pada material beton adalah pengambilan sampel beton inti (core drill) yang memberikan nilai kuat tekan beton terpasang aktual. Salah satu pedoman yang menerangkan cara pengujian mutu beton terpasang sekaligus metode dalam mengolah dan menganalisis data hasil pengujian destruktif dan nondestruktif diantaranya adalah ACI 214.4R-10 dan ACI 228.1R-19 (Committee, 2016).

Dalam ACI 228.1R-19 dijelaskan bahwa untuk mengkuantifikasi perkiraan mutu beton terpasang menggunakan pengujian nondestruktif, perlu dilakukan pengkorelasikan data yang valid. Secara analisis statistik, hal ini dapat dilakukan dengan membuat kurva korelasi antara nilai hasil pengujian nondestruktif terhadap kuat tekan beton yang diperoleh dari hasil uji tekan sampel core (Committee, n.d.).

Banyak peneliti melakukan penelitian terkait metode dalam memperkirakan mutu beton terpasang berdasarkan nilai angka pantul hasil uji palu beton (*hammer test*). Tegangan yang terjadi pada spesimen beton mutu tinggi dapat mempengaruhi nilai angka pantul pada beton (Brozovsky et al., 2019). Perbedaan dari komposisi spesimen beton yang diuji dapat mempengaruhi secara signifikan hasil perkiraan kuat tekan beton terpasang, oleh karena itu dianjurkan agar hubungan korelasi harus dibentuk untuk setiap pekerjaan beton yang berbeda. Semakin besar nilai angka pantul palu beton menunjukkan perkiraan mutu beton terpasang yang lebih tinggi (Rahim et al., 2020). Pada umumnya, hubungan korelasi antara angka pantul hasil uji palu beton terhadap kuat tekan beton aktual dibentuk secara statistik dengan cara membuat garis regresi (Kocáb et al., 2019).

Pengujian beton dengan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test menunjukkan bahwa kondisi beton cukup baik yang cenderung sesuai dengan kuat tekan beton yang cenderung tetap moderat dan kemungkinan sedikit lebih rendah dari desain pada tes in-situ (Weerapol & Namboonruang, 2016).

Georadar atau Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk pemetaan bawah tanah khususnya deteksi benda – benda yang terkubur di bawah permukaan pada kedalaman tertentu. Dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang berupa radar dengan range frekuensi 10 MHz sampai dengan 1 Ghz. Metode ini bersifat tidak merusak (NDT) dan mampu menghasilkan resolusi tinggi tetapi terbatas pada kedalaman beberapa puluh meter (tergantung pada frekuensi yang dipakai dan keadaan lapangan). Prinsip kerja metode georadar dilakukan dengan memancarkan sinyal atau gelombang elektromagnetik oleh

antena Transmitter (Tx) yang kemudian sinyal hasil pantulan dan hamburan dari transmitter akan diterima oleh antena Receiver (Rx). Ketika gelombang yang di transmisikan dari transmitter mengenai suatu benda atau material di bawah permukaan yang memiliki konduktivitas yang tinggi, maka amplitudo gelombang yang terekam di receiver akan sangat kecil. Selain nilai konduktivitas, georadar juga dipengaruhi oleh konstanta dielektrik, dan permeabilitas magnetik dari suatu material atau medium. Penting untuk mengetahui besarnya nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) untuk mengestimasi kecepatan dari gelombang elektromagnetik yang menjalar melalui medium (Aplika & Fisika, 2012).

## METODOLOGI



Gambar 1. Dokumentasi pengujian Ultrasonic Pulse Velocity Test  
Sumber : Dokumentasi Survey

Permodelan diawali dengan pengujian data eksisting lapangan dengan menggunakan Hammer test, UPVT dan rebar scan, kemudian dilakukan pengolahan data lapangan untuk menentukan hasil luaran uji lapangan. Mutu material yang akan digunakan dalam analisis struktur ruang operasi rumah sakit adalah akan dipilih yang lebih kecil antara as built drawing dan hasil pengujian: 1. Material Beton K-350,  $f_c' = 290 \text{ kg/cm}^2$  (Berdasarkan as built drawing) atau nilai hasil pengujian UPV jika dipinterpretasi hasilnya lebih kecil dari as built drawing; 2. Material baja tulangan  $f_y = 390 \text{ MPa}$  (diasumsikan tidak ada penurunan mutu baja, karena bangunan relative masih baru). Selanjutnya menentukan kriteria pembebanan baik beban mati dan beban hidup.

Beban Mati (D) adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap termasuk segala tambahan, penyelesaian mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Karena struktur ini menggunakan material beton bertulang, maka beban mati yang diperhitungkan adalah berat sendiri struktur  $2400 \text{ kg/m}^3$  yang tergantung dari dimensi elemen struktur. Untuk beban mati tambahan seperti finishing lantai dan instalasi Mekanikal Elektrikal lainnya digunakan beban  $100 \text{ kg/m}^2$ .

Beban Hidup (L) adalah penggunaan semua beban yang terjadi akibat penggunaan suatu bangunan, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak

terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap gedung tersebut. Beban Hidup (LL) ruang operasi pada rumah sakit mengacu pada SNI 1727-2020; Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, ditambah beban tambahan alat 1.2 ton yang dapat dipindah-pindah dalam ruangan.

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan peraturan Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung SNI 1727:2020 sebagai berikut: 1.4 D dan 1.2 D + 1.6 L. Selanjutnya menentukan kriteria pemodelan yang menggunakan SAP 2000 sehingga hasil sudah diuji dengan mengevaluasi elemen menggunakan Elemen Hingga.

## HASIL NUMERIK DAN DISKUSI

Interpretasi hasil pengujian UPV mutu beton elemen struktur yang diuji masuk dalam katagori baik dan sangat baik, dengan range average cepat rambat gelombang ultrasonic elemen antara 3596 sampai dengan 4567 m/detik. Dengan rumus empirik dikorelasikan ke mutu beton,  $f_c'$  antara 266 sampai dengan 379  $\text{kg/cm}^2$ . Mutu rencana,  $f_c' = 290 \text{ kg/m}^2$  dengan toleransi deviasi 85%, maka dapat ditoleransi  $f_c' = (290 \pm 43.5) \text{ kg/cm}^2$ .

Hasil scan dengan georadar teridentifikasi tebal beton pelat lantai + 20 cm dengan tulangan dua arah dua lapis D10-150 ditambah tulangan atas M6. Sementara tulangan utama balok menggunakan D22 dan Sengkang  $\square 12$  dan D13, dengan jumlah dan jarak memenuhi persyaratan minimal pemasangan tulangan. Dalam kasus yang dianalisis dibatasi pada ruang Operasi, dan pengecekan dilakukan pada pelat dan balok untuk memastikan apakah struktur eksisting masih mampu menahan beban tambahan. Untuk itu perlu dibuat constraint pada struktur, sehingga tidak perlu menganalisis struktur secara keseluruhan, namun tetap merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Pembatasan yang dilakukan adalah:

- Struktur yang dianalisis hanya pada elemen struktur di sekitar Ruang Operasi
- Beban yang diaplikasikan dalam analisis hanya beban gravitasi yang terdiri dari beban mati (D) dan beban hidup (L).
- Kolom dan Pondasi diasumsikan aman, karena penambahan beban seberat 1.2 ton untuk system struktur secara general tidak berpengaruh significant.

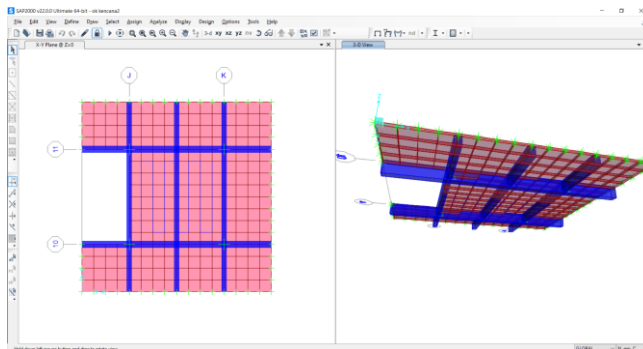
Selanjutnya modelisasi elemen-elemen struktur dimodelkan sebagai berikut:

- Elemen balok dimodelkan sebagai elemen 1 (satu) dimensi sebagai elemen frame dengan 6 derajat kebebasan
- Elemen pelat dan dinding beton dimodelkan sebagai elemen 2 (dua) dimensi sebagai element shell.

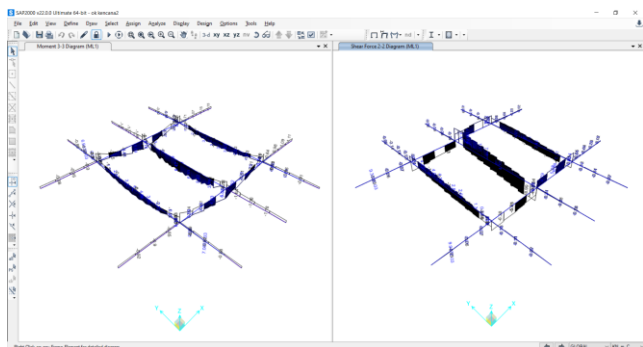
Dalam perencanaan bangunan dengan struktur beton, momen inersia penampang bruto/ Inertia Gross ( $I_g$ ) dari setiap komponen struktur direduksi karena mempertimbangkan terjadinya retak pada kondisi ultimitnya. Besarnya faktor reduksi dan pemodelan tiap elemen tersebut diatur dalam SNI 03-2847-2019.

Penerapan faktor modifikasi pada penampang bertujuan untuk mendapatkan nilai kekakuan elemen efektif yang direpresentasikan melalui nilai momen inersia. Sehingga, momen inersia bruto ( $I_g$ ) yang dikalikan dengan faktor modifikasi faktor akan menghasilkan nilai momen inersia efektif-nya ( $I_e$ ).

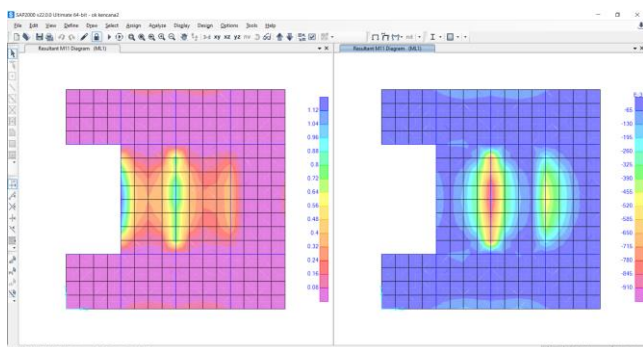
Pelat 200 mm dimodelkan sebagai elemen 2 dimensi Shell satu arah yang menumpu pada balok. Balok dimodelkan sebagai elemen 1 (satu) dimensi (frame). Karena yang dianalisis parsial pada ruang Operasi Rumah Sakit, maka modul balok dan pelat di sekitar ruang Operasi Rumah Sakit dipotong setengah bentangnya, selanjutnya pada sisi yang terputung, tiap joinnya diberikan tumpuan jepit rol. Modelisasi sistem struktur seperti pada gambar berikut:



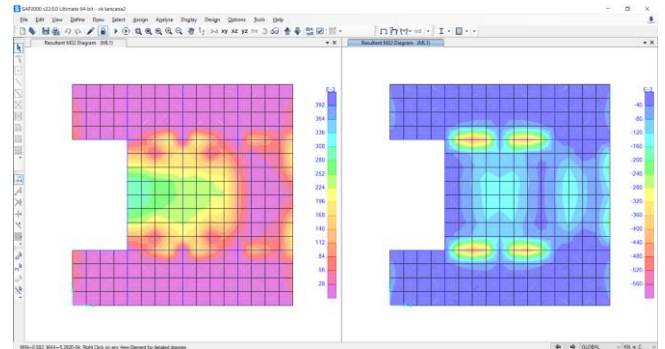
Gambar 2. Model 3D Struktur  
Sumber : Hasil Pemodelan



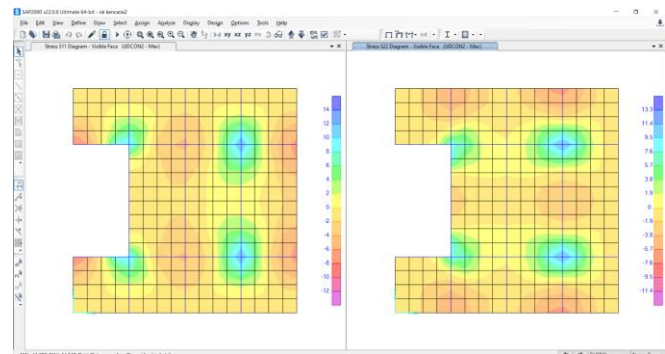
Gambar 3. Momen (kN.m) dan Geser (kN) akibat Moving Load (ML) envelope  
Sumber : Hasil Pemodelan



Gambar 4. M11 (kN.m/m) akibat Moving Load Envelope Max dan Min  
Sumber : Hasil Pemodelan

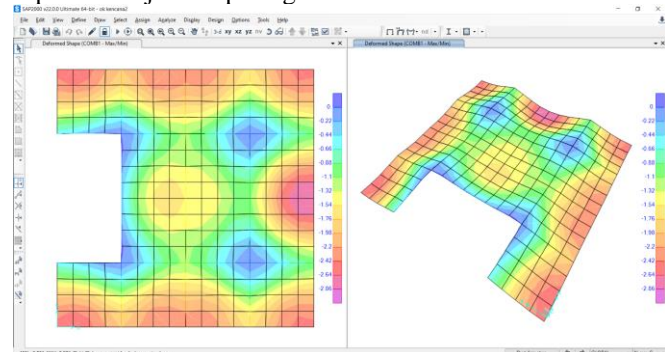


Gambar 5. M22 (kN.m/m) akibat Moving Load Envelope Max dan Min  
Sumber : Hasil Pemodelan



Gambar 6. S11 dan S22 envelope Max (MPa) akibat beban kombinasi terfaktor  
Sumber : Hasil Pemodelan

Lendutan yang terjadi pada pelat lantai akibat beban layan seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 7. Lendutan akibat kombinasi beban layan (DL+LL+ML), mm  
Sumber : Hasil Pemodelan

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil investigasi lapangan dan analisis struktur, dapat diambil kesimpulan:

1. Dari interpretasi hasil pengujian UPV mutu beton elemen struktur yang diuji masuk dalam katagori baik dan sangat baik, dengan range average cepat rambat gelombang ultrasonic elemen antara 3596 sampai dengan 4567 m/detik. Dengan rumus empirik dikorelasikan ke mutu beton,  $f_c'$  antara 266 sampai dengan 379  $\text{kg/cm}^2$ . Mutu rencana,  $f_c' = 290 \text{ kg/m}^2$  dengan toleransi deviasi 85%, maka dapat ditoleransi  $f_c' = (290 \pm 43.5) \text{ kg/cm}^2$ .

2. Dari hasil scan dengan georadar teridentifikasi tebal beton pelat lantai  $\pm 20$  cm dengan tulangan dua arah dua lapis D10-150 ditambah tulangan atas M6. Sementara tulangan utama balok menggunakan D22 dan Sengkang f12 dan D13, dengan jumlah dan jarak memenuhi persyaratan minimal pemasangan tulangan.
3. Dari hasil analisis dengan bantuan software structure SAP2000, dengan pembatasan analisis hanya pada elemen struktur di ruang Operasi Rumah Sakit dan beberapa elemen struktur di sekitarnya untuk keperluan pemodelan, diperoleh hasil bahwa struktur memenuhi persyaratan kekuatan dan persyaratan lendutan sesuai dengan SNI SNI 2847-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung dan SNI 1727-2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.

#### Daftar Pustaka

- Alisjahbana, S. W., Alisjahbana, I., Gan, B. S., Safrilah, & Putra, J. C. P. (2019). Dynamic behaviour of stiffened orthotropic plates subjected to Friedlander blast load. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012074>
- Aplika, J., & Fisika, S. I. (2012). *Interprestasi Data Lapangan Ground Penetrating Radar (GPR) dengan Pemodelan Kedepan 2D*. 8, 6–10.
- Brozovsky, J., Bodnarova, L., & Brozovsky, J. (2019). *Rebound Hammer Tests of High-Strength Concrete : Effects of Internal Stress and the Shape of the Impact Area of the Test Specimens on the Measurement Results*. 63(1), 215–221.
- Buwono, H K, Alisjahbana, S. W., & Najid. (2020). Modification Modeling Of The Friedlander's Blast Wave Equation Using The 6th Order Of Polynomial Equation. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 11(2), 183–191.
- Buwono, Haryo Koco, Alisjahbana, S. W., & Najid. (2021). Modified Reed Equation of Blast Load on Plate with Stiffener. *Civil and Environmental Engineering*, 17(1), 219–228. <https://doi.org/10.2478/cee-2021-0023>
- Buwono, Haryo Koco, Budiman, B., Satiawan, B., & Rohman, N. A. (2021). Perilaku Tekuk Pelat Isotropik Persegi Oleh Beban Uniaksial Dan Biaksial. *Konstruksia*, 12(2), 184. <https://doi.org/10.24853/jk.12.2.184-192>
- Committee, A. C. I. (n.d.). *228.IR-19: Report on Methods for Estimating In-Place Concrete Strength*.
- Committee, A. C. I. (2016). *Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results*. 10(Reapproved).
- Jingjing, Z. (2019). Identification of moving loads using a local linear embedding algorithm. *JVC/Journal of Vibration and Control*, 25(11), 1780–1790. <https://doi.org/10.1177/1077546319833137>
- Juliana Maer Lucia I. R. Lefrandt, J. A. T. (2019). Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Robert Wolter Monginsidi Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(12), 1569–1584.
- Kocáb, D., Misák, P., & Cikrle, P. (2019). Characteristic curve and its use in determining the compressive strength of concrete by the rebound hammer test. *Materials*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/ma12172705>
- Maes, K., Peeters, J., Reynders, E., Lombaert, G., & De Roeck, G. (2013). Identification of axial forces in beam members by local vibration measurements. *Journal of Sound and Vibration*, 332(21), 5417–5432. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2013.05.017>
- Rahim, M. A., Shahidan, S., Onn, L. C., Afiza, A., Bahari, S., Rahman, N. A., & Ayob, A. (2020). *The Behavior of Non-Destructive Test for Different Grade of Concrete The Behavior of Non-Destructive Test for Different Grade of Concrete*. January 2021. <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.09.001>
- Szilard, R. (2004). Theories and Applications of Plate Analysis: Classical, Numerical and Engineering Methods. In *Applied Mechanics Reviews* (Vol. 57, Issue 6). <https://doi.org/10.1115/1.1849175>
- Weerapol, & Namboonruang. (2016). The concrete testing by Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). *MATEC Web of Conferences*, 61, 1–4. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166105017>
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete - Mechanics and Design* (6th ed.). Pearson.