

Analisis Struktur Bangunan Apartemen 10 lantai Menggunakan Software SANSPRO V.5.20

Meiborn Simanjuntak¹, Widayat Widayat^{1,2}, Abdul Syakur^{1,3}

¹Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Soedarto SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}Corresponding author: simanjuntakmeiborn@gmail.com

(Received: June 07, 2023 ; Accepted: June 19, 2023)

Abstract

This study discusses the analysis of reinforced concrete structures of an apartment building, aiming to obtain information about the reliability of the structure of the buildings reviewed. The object of research is in South Cikarang. Site surveys are conducted to visually observe the actual condition of apartment building structures. Non-destructive testing is carried out to determine the quality of concrete and the configuration of concrete reinforcement installed in structural elements. From the data from the test results without damage, the apartment buildings reviewed were made into 3-dimensional form, and structural analysis was carried out using SANSPRO V.5.20 software applied seismic requirements that are currently applicable to evaluate the level of capacity of apartment building structural elements.

The results of the structural analysis show that the minimum floor drift value of 1.777 mm and the maximum drift value of 7.319 mm in the X direction have not met the permit drift limit of 6.154 mm and the minimum floor drift value of 1.334 mm and the maximum drift value of 5.058 mm in the Y direction still meet the permit drift limit of 6.154 mm and have met the applicable requirements.

Keywords: non-destructive testing, structural analysis, structural reinforcement

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang analisis struktur beton bertulang suatu bangunan apartemen, bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang keandalan struktur dari bangunan yang ditinjau. Obyek penelitian berada di Cikarang Selatan. Survei lapangan dilakukan untuk mengamati secara visual kondisi aktual dari struktur bangunan apartemen. Pengujian tanpa merusak dilakukan untuk mengetahui mutu beton dan konfigurasi tulangan beton yang terpasang didalam elemen struktur. Dari data hasil pengujian tanpa merusak, bangunan apartemen yang ditinjau dibuatkan kedalam bentuk 3-Dimensi dan dilakukan analisis struktur dengan menggunakan software SANSPRO V.5.20 diterapkan persyaratan seismik yang saat ini berlaku untuk mengevaluasi tingkat kapasitas dari elemen struktur bangunan apartemen.

Hasil Analisis struktur menunjukkan nilai drift lantai minimum sebesar 1.777 mm dan nilai drift maksimum sebesar 7.319 mm arah X belum memenuhi batas drift izin sebesar 6.154 mm dan nilai drift lantai minimum sebesar 1.334 mm dan nilai drift maksimum sebesar 5.058 mm arah Y masih memenuhi batas drift izin sebesar 6.154 mm dan telah memenuhi persyaratan yang berlaku.

Kata kunci: pengujian tanpa merusak, analisis struktur, kekuatan struktur

How to Cite This Article: Simanjuntak, M., Widayat, W., Abdul, S., (2023), Analisis Struktur Bangunan Apartemen 10 lantai Menggunakan Software SANSPRO V.5.20, JPII 1 (5), 175-185

PENDAHULUAN

Apartemen North Tower PT. TTL Residences yang berlokasi di Lippo Cikarang merupakan bangunan hunian dengan kapasitas hunian sekitar 500 orang. Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences berlokasi tepatnya di Jl. Pajajaran No.7 Lippo Cikarang. Kabupaten Bekasi. Jawa Barat. Untuk menjamin keamanan dan kenyamanan bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences ingin mengetahui kelayakan struktur gedung eksisting. Oleh karena itu, perlu dilakukan investigasi, pengujian dan analisis struktur pada Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences Lippo Cikarang.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai Mutu Material Beton dan Mutu Kuat Tarik Baja Penulangan. Ketidak-beraturan Struktur. Efek P-Delta. Drift Lantai. Rasio Tulang Perlu Dengan Terpasang untuk Kolom. Balok dan Pelat. dan Kondisi Aktual Kapasitas Struktur Bangunan Apartemen 10 lantai North Tower. terhadap beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019.

Penelitian untuk keandalan struktur bangunan apartemen mengacu pada beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 ini dilakukan karena banyaknya kejadian gempa yang terjadi di seluruh wilayah Indonesia. yang sebagian besar menimbulkan kerusakan pada bangunan. Banyaknya korban jiwa karena runtuhnya bangunan yang terkena gempa, korban jiwa meninggal dunia maupun korban cedera ringan dan berat.

Gempa bumi di Kabupaten Cianjur. Jawa Barat. Indonesia pada 21 November 2022 pukul 13.21 WIB berkekuatan 5.6 MW pada kedalaman 10 km. Kekuatan gempa ini dapat dirasakan hingga Bandung, DKI Jakarta. Tangerang. Rangkasbitung. sampai Lam-pung Pada Gempa Cianjur. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menginformasikan sebanyak 335 orang tewas. dimana data dari pemerintah Kabupaten Cianjur menunjukkan jumlah korban tewas mencapai 635 orang atau hampir dua kali lipat dari data resmi BNPB. Sebagian besar korban yang meninggal disebabkan oleh ter-timpa reruntuhan bangunan. Belasan siswa terluka tertimpa puing-puing reruntuhan sekolah. dan masih banyak korban yang terkubur dibawah reruntuhan (sumber: <https://id.wikipedia.org>).

Kejadian Gempa bumi Banten tahun 2019 berkekuatan magnitudo 6.9 terjadi pada hari jumat 2 Agustus 2019, Pukul 19.05 WIB, dengan titik pusat gempa di Samudra Hindia. Jarak Pusat gempa sekitar 164 km dari Daerah Sumur, Kabupaten Serang, Provinsi Banten dengan kedalaman pusat gempa 48 Km. Getaran gempa bumi ini dirasakan oleh sebagian masyarakat di pulau jawa dan sebagian masyarakat sumatera bagian selatan. Informasi dari Badan

Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) gempa telah mengakibatkan 5 orang korban meninggal dunia dan 4 orang mengalami luka-luka serta 1.050 orang telah mengungsi. (sumber: <https://id.wikipedia.org>)

Beberapa penelitian terkait keandalan struktur bangunan telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Analisis pushover digunakan untuk menganalisis pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dan merupakan salah satu performance based design dengan konsep suatu bangunan diberikan pola beban lateral statik secara bertahap sampai memenuhi target perpindahan lateral yang direncanakan. yang nilainya ditingkatkan secara terus menerus sampai melampaui batas pembebanan sehingga akan menyebabkan terjadinya sendi plastis dalam struktur bangunan. Kemudian diberikan beban lateral statik pada struktur yang kemudian secara bertahap terus ditingkatkan dengan faktor pengali sampai target perpindahan lateral terhadap titik acuan tercapai. Diperlihatkan pada kurva kapasitas terdapat kondisi linier sebelum mencapai leleh dan berperilaku non-linier. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi aktual bangunan eksisting apartemen ditinjau dari Persyaratan Mutu. Pengaruh P-Delta dan Gaya Geser Lantai, besaran drift dan displacement antar tingkat serta, ketidakaturan struktur akibat perbedaan kuat lateral antar tingkat. Diperoleh kesimpulan bahwa pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong mempengaruhi kurva pushover (C. Utomo, 2012).

Muhammad Ismail (2014). melakukan analisis kinerja struktur pada gedung 7 lantai menggunakan shearwall dimodifikasi dengan menambahkan shearwall di sepanjang tepi bangunan dan melakukan variasi posisi dan bentuk tiap shearwall. Perbandingan besaran gaya momen, geser, aksial, volume, dan lendutan atau simpangan yang terjadi pada masing-masing pemodelan yang menggunakan Sistem Rangka Pembawa Momen Biasa (SRPMB) volumenya lebih kecil dibandingkan pemodelan lain yang menggunakan Shearwall atau Special Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPMK). Dimana simpangan atau lendutannya lebih besar terjadi pada struktur lantai bangunan yang lebih tinggi.

Edy Purnomo dkk (2014) melakukan evaluasi struktur beton bertulang suatu bangunan hotel di Semarang dengan menggunakan "Performance Base Design Method" dilakukan pemeriksaan simpangan antar lantai terhadap persyaratan batas layan ($0.03/R$) x H terhadap pengaruh beban gempa rencana arah X dan arah Y. Diperoleh hasil untuk struktur arah sumbu X sudah memenuhi persyaratan batas layan kinerja struktur. sementara untuk struktur arah sumbu Y. pada lantai teratas belum memenuhi persyaratan batas layan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung ditinjau dari besaran

nilai displacement, drift dan base shear.

Perilaku nonlinier elemen beton bertulang di bawah beban seismik dapat berbeda dari perilaku desain yang diprediksi. Kekakuan lentur efektif penampang (EI) dari elemen ini tidak memiliki nilai yang sama dengan proses desain. Situasi ini adalah salah satu parameter yang paling penting mempengaruhi kinerja nonlinier dari struktur beton bertulang. Untuk menentukan perilaku bagian retak elemen beton bertulang, ada pendekatan yang berbeda dalam kode desain gempa. Pendekatan ini digunakan untuk menganalisis dan menilai kinerja struktur beton bertulang. Dalam studi tersebut, nilai kekakuan lentur efektif (EI) bagian retak mengacu pada Eurocode-8, kode Seismik Turki 2007 dan draft baru seismik Turki kode 2016. didalam studi kasus struktur beton bertulang. Bagian retak EI dari elemen struktural pada struktur ini dihitung menurut pendekatan kode desain yang berbeda. Mereka juga dievaluasi menggunakan hubungan momen-kelengkungan dalam program Xtract. Analisis pushover adalah diterapkan menggunakan semua nilai yang berbeda ini pada tipe struktural yang berbeda. Reaksi gaya dasar puncak terhadap perpindahan, perpindahan lantai dan drift, mekanisme engsel plastis diperoleh dari analisis dibandingkan (Gokhan Do et al. 2018).

Audit struktur dilakukan pada bangunan Gedung asrama Pusdiklat PPATK untuk mengetahui kemampuan struktur bangunan dalam menerima gaya gempa, kemudian dilakukan analisis struktur dengan metode pushover, dengan menggunakan bantuan software SAP2000. Diperoleh hasil analisis bahwa perpindahan (displacement) yang terjadi pada bangunan semakin berbanding lurus dengan besar gaya dasar (base force) yang diberikan. Beban gempa maksimum yang mampu diterima adalah 730.383 kN. Dengan mengacu pada ATC-40 batas kinerja bangunan berada pada level Immediate Occupancy (IO). disimpulkan bahwa bangunan masih aman digunakan saat terjadi gempa (Tatya Putri Utami, et al. 2019).

Perencanaan yang telah dibuat untuk Collaborative Research Gedung Center (CRC) masih menggunakan peraturan atau standar yang sebelumnya. Studi ini menganalisis kapasitas struktur bangunan gedung CRC dengan metode analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Metode penelitian dilakukan mulai dari pengumpulan data, pemodelan struktur, perhitungan pembebanan, pemeriksaan kesesuaian struktur, dan pemeriksaan kinerja struktur. Pemodelan dari Struktur gedung CRC dikerjakan berdasarkan dokumen as built drawing. Perhitungan pembebanan pada bangunan struktur termasuk beban gravitasi dan lateral.

Hasil besaran partisipasi massa yang ada sudah lebih dari 90%, dimana untuk nilai periode

struktur dan gaya geser dasar dina-mis telah tercapai dikendalikan untuk memenuhi persyaratan sesuai SNI 1726:2019. Berdasarkan nilai drift ratio, CRC tingkat kinerja gedung adalah Immediate Occupancy (IO). Hasil pemeriksaan pengaruh P-Delta nilai θ yang diperoleh tidak melebihi nilai θ maksimum sehingga bangunan CRC dapat dikatakan stabil (Muhammad Hilmi et al. 2019).

Penelitian evaluasi kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan Program Sanspro V.4.7. Sanspro digunakan untuk membuat pemodelan, analisis, disain, penggambaran, dan perhitungan rencana anggaran biaya struktur, dapat juga digunakan untuk meningkatkan mutu dalam suatu disain. Program ini dapat digunakan untuk perencanaan struktur dengan konsep kapasitas. Dilakukan pemeriksaan perilaku struktur rangka bertulang yang direncanakan tanpa konsep kapasitas dengan konsep kapasitas. Bangunan yang digunakan untuk dilakukan penelitian adalah struktur rangka beton bertulang dengan jumlah tingkat 6 lantai, berada di wilayah gempa 2 Indonesia, memiliki denah yang sama pada semua lantai. Kemudian struktur diberikan beban gempa El Centro. Sebagian dari model yang uji masih bersifat elastis, karena gempa El Centro 1940N-S dikategorikan sebagai gempa kecil sampai sedang di wilayah gempa 2 di wilayah Indonesia. Dengan mengacu pada pembebanan gempa 200 tahun terlihat bahwa model struktur yang direncanakan dengan cara kapasitas menunjukkan hasil yang sangat baik. Proses terjadinya sendi plastis sesuai dengan yang direncanakan. Balok dan kolom memiliki Daktilitas yang cukup baik untuk memencarkan energi gempa (Singgih Subagyo. 2020).

Pengujian Gedung dilakukan dengan melakukan analisis pemodelan struktur 3D dengan menggunakan Program Analisa Struktur SAP2000 V.14, memiliki tujuan untuk mengetahui kapasitas struktur bangunan Eksisting. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi awal tentang kapasitas struktur bangunan. Model struktur yang dibuat dalam bentuk 3 dimensi. Untuk rencana pembebanan menggunakan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) tahun 1987. Rekomendasi yang diberikan adalah bangunan struktur dalam kondisi aman untuk dipergunakan (Andi Isdyanto. 2021).

Penelitian pada struktur gedung flat slab 10 tingkat dianalisis menggunakan Time History Respon Spectrum Analysis dengan bantuan software OpenSees Navigator menggunakan beberapa rekaman gempa yaitu Kobe (Jepang, 1995), Imperial Valley (California, 1979) dan Tabas (Iran, 1978) digunakan spektra desain kota Yogyakarta. Dari hasil analisis menggunakan OpenSees Navigator diperoleh hasil bahwa nilai story drift masih memen-

uhi persyaratan dalam peraturan yang berlaku, dibahwa gedung yang ditinjau masih dalam batas perencanaan life safety (Samsul A Rahman Sidik Hasibuan et al. 2022).

METODE PENELITIAN

Metodologi pelaksanaan pemeriksaan dan pengujian Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences Lippo Cikarang secara umum diuraikan dalam tahapan sebagai berikut:

Survey Instansional. Koordinasi dan Review Dokumen

Kegiatan meliputi koordinasi dengan pihak terkait untuk menentukan arah kegiatan dan proses sinkronisasi rencana kegiatan yang berhubungan dengan perijinan dan koordinasi wilayah pemeriksaan pada gedung, review dokumen dan data Dokumentasi teknis struktur eksisting gedung dari pihak pengelola yang dimiliki oleh pemilik gedung sangat penting untuk dicermati sebelum dilakukan pemeriksaan. Data-data yang bersumber pada dokumen tersebut harus diverifikasi dengan pemeriksaan lapangan bila dianggap perlu. Sementara data-data penting yang tidak tersedia harus dapat diperoleh melalui pemeriksaan lapangan.

Dokumen teknis struktur antara lain:

1. Dokumen-dokumen dan gambar-gambar perencanaan
2. Dokumen-dokumen dan gambar-gambar pelaksanaan (As-built-drawing)
3. Dokumen-dokumen sertifikat bahan dan hasil uji bahan

Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual dilakukan terhadap elemen-elemen gedung dan kondisi lingkungannya dimaksudkan untuk memperoleh data dan informasi mengenai struktur gedung. Pemeriksaan visual dilakukan dengan menggunakan indera penglihatan untuk memeriksa setiap elemen-elemen struktur, yang kemudian setiap jenis elemen struktur serta lokasi akan didokumentasikan

Pemeriksaan Khusus

Merupakan pengamatan/pengujian/pengukuran yang dilakukan lebih cermat dan mendetail yang merupakan tindak lanjut dari pengamatan kerusakan pada pemeriksaan detail. Pemeriksaan khusus dilakukan untuk memperoleh data yang lebih akurat dari kerusakan yang terjadi pada elemen gedung khususnya elemen struktural. Pemeriksaan khusus meliputi beberapa lingkup pekerjaan yaitu:

1. Pengujian Tingkat Kekerasan Permukaan Beton (Hammer Test)
2. Pengujian untuk identifikasi mutu beton dengan menggunakan rambatan gelombang ultrasonik didalam beton (UPV Test)
3. Pemeriksaan Konfigurasi Tulangan (Covermeter)
4. Pengujian Mutu Kuat Tarik Baja (Brinell Test)

Analisis Struktur Menggunakan SANSPRO V.5.20. untuk mengetahui kapasitas bangunan

eksisting. Pengolahan data hasil pemeriksaan khusus dilakukan dengan menggunakan alat bantu software SANSPRO V.5.20. dengan membuat modeling struktur bangunan eksisting. memasukkan input parameter.

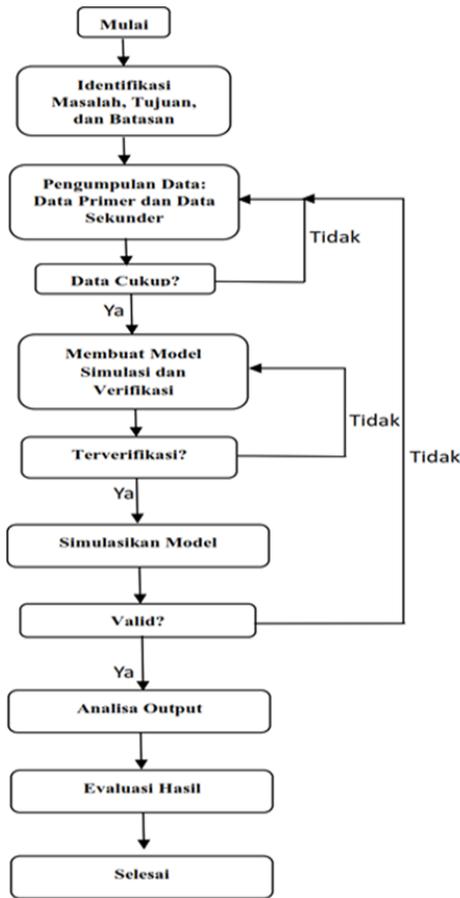
Untuk melaksanakan pekerjaan audit struktur. digunakan perlengkapan keselamatan kerja. yang meliputi:

1. Helm
2. Kacamata Pengaman (Safety Glasses)
3. Masker
4. Sarung Tangan (Safety Glove)
5. Wear Pack atau Baju Kerja/ Cover All
6. Safety Shoes

Dalam melaksanakan pekerjaan audit struktur ada beberapa potensi bahaya yang mungkin timbul saat bekerja. antara lain:

1. Bekerja di ketinggian. potensi terjatuh karena kurang kokohnya scaffolding atau tangga
2. Terpeleset akibat lantai licin
3. Terpukul alat kerja
4. Tergores alat kerja
5. Kejatuhan benda dari atas

Untuk mengantisipasi potensi bahaya tersebut. maka direncanakan mitigasi bahaya dalam Job Safety Analysis. Selanjutnya. penulis melakukan Analisis struktur dengan menggunakan data-data primer tersebut. Analisis struktur dilakukan menggunakan bantuan software SANSPRO V.5.20 baik itu pemodelan. simulasi pembebanan dan perhitungan gaya-gaya dalam serta tegangan tegangan yang timbul akibat kombinasi pembebanan yang diberikan mengacu pada SNI Gempa 1726:2019 dan Standar Nasional Indonesia 1727:2020. Pada awal penelitian dilakukan identifikasi masalah. tujuan penelitian dan batasan masalah yang akan dibahas. Kemudian dilakukan pengumpulan data primer (As Built Drawing. Spesifikasi Teknis. Data hasil pengujian mutu material struktur) dan Data Sekunder (hasil pengujian *NonDestructive Test*. Periksa kecukupan data yang ada. bila data dinyatakan cukup buat model simulasi dan lakukan verifikasi. bila data tidak cukup. lakukan kembali pengumpulan data primer dan data sekunder. Apabila model simulasi tidak lulus verifikasi. buat ulang model simulasi lalu lakukan verifikasi ulang. Setelah model simulasi terverifikasi lalu lakukan simulasi pada model. periksa apakah simulasi model sudah valid. bila sudah valid. lakukan Analisa output. bila simulasi model belum valid. ulangi proses dari pengumpulan data sampai proses selanjutnya. Setelah analisa output diperoleh. lakukan evaluasi terhadap hasil Analisa maka proses dinyatakan selesai. Keseluruhan pekerjaan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Keandalan Struktur Gedung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Awal pemeriksaan diperlukan data-data terkait yang akan diuji. Berikut adalah data inventarisasi sebagai acuan awal gambaran struktur yang akan diuji.

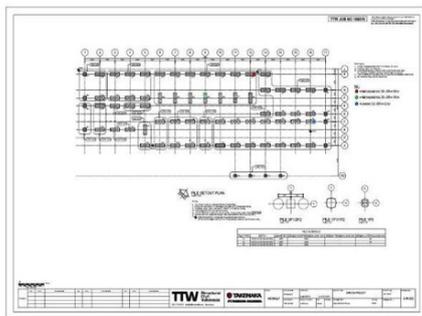
Nama Struktur : Struktur Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences, Lippo Cikarang

Tahun Pemeriksaan: Agustus 2021

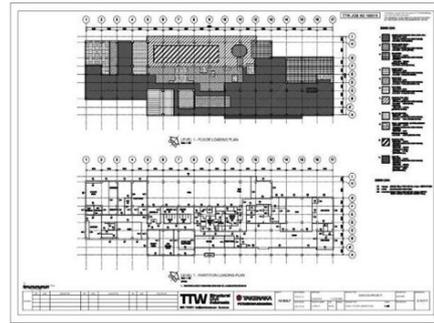
Struktur Utama : Struktur Beton

Denah Struktur

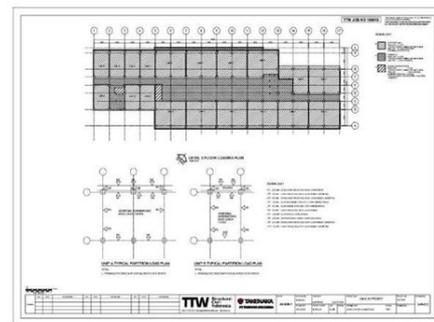
Adapun denah semua lantai dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



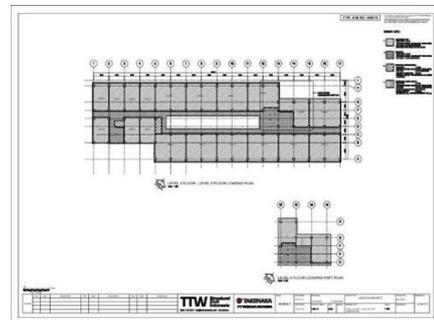
Gambar 2. Layout Pondasi Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences
Sumber: Dokumen PT. TTL Residences



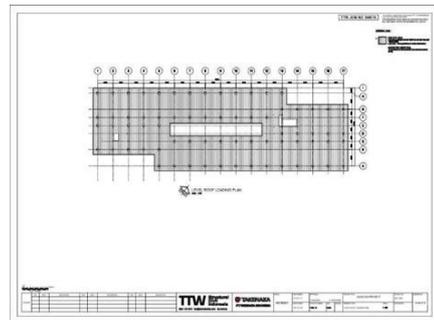
Gambar 3. Layout Lantai 1 Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences
Sumber: Dokumen PT. TTL Residences



Gambar 4. Layout Lantai 2 Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences
Sumber: Dokumen PT. TTL Residences



Gambar 5. Layout Lantai 3 - 9 Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences
Sumber: Dokumen PT. TTL Residences



Gambar 6. Layout Lantai Atap Bangunan Apartemen North Tower PT. TTL Residences
Sumber: Dokumen PT. TTL Residences

Hasil Pengujian Hammer Test

Untuk hasil pemeriksaan struktur menggunakan hammer test dapat dilihat dalam tabel 1 di bawah ini:

Tabel.1. Hasil Pengujian Hammer Test

NO	LOKASI TITIK PENGUKUAN	UMUR BETON (hari)	SUDUT TEST	PENCAMAN RESONANSI VALUE (R)										F _n RATA-RATA	NILAI TERKECIL	NILAI TERBESAR	FAKTOR KOREKSI	(R)	NILAI KUAT TEKAN (kg/cm ²)
				PADA ALAT HAMMER TEST															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1	LANTAI 1 KOLOM BALOK	0'	32,92	35,19	34,02	34,56	33,94	32,52	33,03	35,25	33,33	34,74	33,94	32,52	35,25	0,90	30,55	311,47	
			33,09	34,62	32,13	33,49	33,71	34,62	33,24	32,92	34,62	34,12	33,66	32,13	34,62	0,90	30,29	308,88	
2	LANTAI 2 KOLOM BALOK PELAT	0'	34,52	35,08	35,65	35,93	34,80	34,52	33,67	34,80	34,24	35,37	34,90	33,67	35,08	0,90	31,41	320,25	
			34,52	33,95	34,80	34,24	35,08	34,52	33,95	33,67	35,08	34,52	34,43	33,67	35,08	0,90	31,75	323,80	
3	LANTAI 3 KOLOM BALOK PELAT	0'	33,95	35,65	33,67	34,52	36,22	34,52	35,65	35,37	35,37	35,08	35,00	33,67	36,22	0,90	31,50	321,21	
			33,95	34,52	33,95	33,67	34,52	33,95	34,52	33,95	33,67	34,80	34,09	33,39	34,80	0,90	30,68	312,90	
4	LANTAI 4 KOLOM BALOK PELAT	0'	35,08	35,08	35,08	35,08	34,52	33,67	33,95	34,80	33,39	35,08	34,63	33,39	35,65	0,90	31,17	317,81	
			35,08	35,08	35,08	34,80	36,22	35,65	35,08	33,95	34,80	35,08	35,22	33,95	36,22	0,90	31,70	323,27	
5	LANTAI 5 KOLOM BALOK PELAT	0'	33,95	34,24	33,95	34,52	33,95	35,08	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	33,95	35,08	0,90	31,19	318,07	
			33,95	34,24	33,95	34,52	33,95	35,08	34,80	34,80	34,80	34,80	34,80	33,95	35,08	0,90	31,22	318,33	
6	LANTAI 6 KOLOM BALOK PELAT	0'	33,22	33,33	33,65	33,33	33,59	33,65	33,65	33,94	34,29	33,42	33,67	33,22	34,29	0,90	30,25	308,42	
			33,95	35,08	34,52	33,95	34,52	33,95	34,24	33,95	35,08	33,95	34,80	35,37	34,49	33,95	35,37	0,90	31,04
7	LANTAI 7 KOLOM BALOK PELAT	0'	33,77	34,34	33,21	33,33	33,39	33,54	33,54	33,72	33,84	33,02	33,57	33,02	34,34	0,90	30,21	308,08	
			33,77	34,34	33,21	33,33	33,39	33,54	33,54	33,72	33,84	33,21	33,59	33,21	34,34	0,90	30,23	308,25	
8	LANTAI 8 KOLOM BALOK PELAT	0'	33,95	34,52	34,80	33,95	35,37	35,37	35,37	33,95	34,52	34,69	33,95	35,37	0,90	31,22	318,35		
			33,95	34,52	34,80	33,95	35,37	35,37	35,37	33,95	34,52	34,69	33,95	35,37	0,90	31,22	318,35		
9	LANTAI 9 KOLOM BALOK PELAT	0'	36,32	35,37	35,37	35,65	36,50	36,22	35,37	35,65	36,22	35,65	35,89	35,37	36,50	0,90	32,30	329,36	
			33,95	33,67	33,77	33,90	34,08	34,11	33,26	33,30	33,33	33,44	33,64	33,26	34,11	0,90	30,28	308,76	
10	LANTAI ROOF BALOK PELAT	0'	33,15	33,16	33,27	33,43	33,55	33,67	33,73	33,84	33,80	33,03	33,48	33,03	33,93	0,90	30,13	307,24	
			33,44	33,30	33,80	33,65	33,71	33,84	33,21	33,31	33,50	33,48	33,53	33,21	33,84	0,90	30,18	307,71	

No Test	ID Sample	Test Location			Velocity [m/s]	Distance (m)	Indirect/Direct Factor**	Direct Velocity [m/s]	Average Direct Velocity [m/s]
		Location	Type	As					
302	U-19	Ll. 3	Pelat	A-B1/9-10	2836	0.200	1.1	3120	3018
303					2722	0.200	1.1	2994	
304					2633	0.200	1.1	2896	
305					2763	0.200	1.1	3039	
306					2783	0.200	1.1	3039	
307	U-20	Ll. 2	Kolom	E/10	2858	0.200	1.1	3177	3205
308					2828	0.200	1.1	3109	
309					3002	0.200	1.1	3300	
390					2925	0.200	1.1	3216	
391					2866	0.200	1.1	3153	
392	U-21	Ll. 2	Balok	E/10-11	2865	0.200	1.1	3152	3142
393					2896	0.200	1.1	3186	
394					2874	0.200	1.1	3161	
395					2895	0.200	1.1	2965	
396					2955	0.200	1.1	3251	
397	U-22	Ll. 2	Pelat	A1-B1/8-9	2875	0.200	1.1	3163	3000
398					2895	0.200	1.1	2965	
400					2987	0.200	1.1	3297	
401					2980	0.200	1.1	3207	
402					2589	0.200	1.1	2848	
403	U-23	Ll. 2	Balok	A-B1/10	2513	0.200	1.1	2764	3205
404					2711	0.200	1.1	2982	
405					2863	0.200	1.1	3149	
406					2731	0.200	1.1	3004	
407					2848	0.200	1.1	3131	
408	U-23	Ll. 2	Balok	A-B1/10	2864	0.200	1.1	2982	3205
409					3087	0.200	1.1	3396	
410					3019	0.200	1.1	3321	
411					2983	0.200	1.1	3261	
411					2862	0.200	1.1	3148	

Hasil Pengujian UPV Test

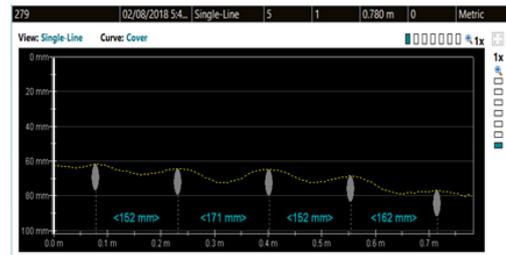
Untuk hasil pemeriksaan struktur menggunakan UPV test dapat dilihat dalam tabel 2 di bawah ini:

Tabel.2 Hasil Pengujian UPV Test

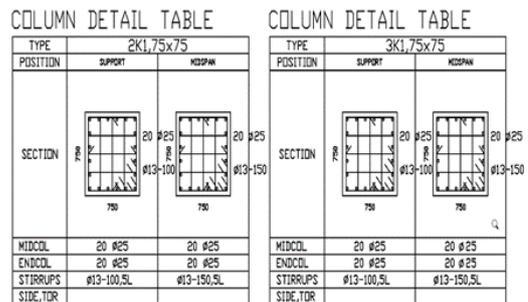
No Test	ID Sample	Test Location			Velocity [m/s]	Distance (m)	Indirect/Direct Factor**	Direct Velocity [m/s]	Average Direct Velocity [m/s]
		Location	Type	As					
305	U-16	Ll. 4	Balok	E-F1/7	3012	0.200	1.1	3313	3231
306					2805	0.200	1.1	3204	
307					2889	0.200	1.1	3175	
308					2886	0.200	1.1	3175	
370					3012	0.200	1.1	3313	
371	U-17	Ll. 4	Pelat	E-F1/7-8	3085	0.200	1.1	3394	3000
372					2866	0.200	1.1	3263	
373					2886	0.200	1.1	3285	
374					2166	0.200	1.1	2303	
375					3006	0.200	1.1	3307	
376	U-18	Ll. 3	Pelat	E-F1/11-12	2536	0.200	1.1	2790	2995
377					2632	0.200	1.1	2895	
378					2856	0.200	1.1	3142	
379					2496	0.200	1.1	2746	
380					2785	0.200	1.1	3042	
381	U-18	Ll. 3	Pelat	E-F1/11-12	2865	0.200	1.1	3152	2995
381					2865	0.200	1.1	3152	

Hasil Pengujian Covermeter Test

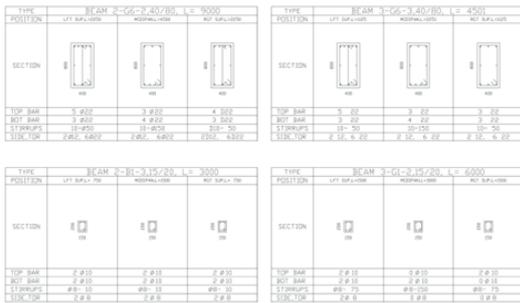
Untuk hasil pemeriksaan struktur menggunakan Covermeter test dapat dilihat dalam Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10 di bawah ini:



Gambar 7 Hasil Data Covermeter



Gambar 8 Detail Tulangan Kolom



Gambar 9 Detail Tulangan Balok



Gambar 10 Detail Tulangan Pelat

Hasil Pengujian Brinell Hardness Test

Untuk hasil pemeriksaan struktur menggunakan Brinell Hardness test dapat dilihat dalam Tabel 3 di bawah ini:

Tabel.3. Hasil Pengujian Brinell Test

No.	ID Sample	Location Test		Average	Tensile Strength	
		Location	Type		Test Field (MPa)	SNI 2052-2017 (MPa)
1	B-01	Lantai 3	Kolom Tulangan Polos	110	370	350
2	B-02	Lantai 3	Kolom Tulangan Polos	100	340	350
3	B-03	Lantai 3	Balok Tulangan Polos	114	385	350
4	B-04	Lantai 3	Balok Tulangan Polos	100	340	350
5	B-05	Lantai 4	Pelat Tulangan Polos	94	330	350
6	B-06	Lantai 4	Pelat Tulangan Polos	106	360	350
7	B-07	Lantai 2	Kolom Tulangan Polos	114	385	350
8	B-08	Lantai 2	Kolom Tulangan Polos	106	360	350
9	B-09	Lantai 2	Balok Tulangan Polos	114	385	350
10	B-10	Lantai 2	Balok Tulangan Polos	94	330	350

ANALISIS STRUKTUR

- a. Nama Proyek : Apartemen North Tower PT. TTL Residences.
- b. Lokasi : Lippo Cikarang. Kab. Bekasi. Jawa Barat.
- c. Deskripsi Gedung
Bangunan ini terdiri dari 1 tower yang terdiri dari:
 - Jumlah lantai : 9 Lantai + 1 Lantai Atap
 - Sistem struktur : Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
- a. Deskripsi Gedung
Bangunan ini terdiri dari 1 tower yang terdiri dari:
 - Jumlah lantai : 9 Lantai + 1 Lantai Atap
 - Sistem struktur: Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
- b. Sistem Pondasi
Pondasi menggunakan pondasi dalam dengan Bore Pile.

Peraturan/Code

- SNI 1727:2020: Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung;
- SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung;
- SNI 726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung;
- Peta Gempa Indonesia Tahun 2017;
- Building Code Requirement for Reinforcement Concrete with Design Application (ACI 318-14);
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14);
- International Building Code (IBC 2016);
- Minimum Design loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-16).4. American Society for Testing and Material (ASTM);
- Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-16);
- Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (AISC 341-16).

Pembebanan

Mengacu pada spesifikasi proyek dan SNI2847:2019. kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

- U = 1,4DL
- U = 1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr atau R)
- U = 1,2DL + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)
- U = 1,2DL + 1,0WL + 1,0LL + 0,5(Lr atau R)
- U = 1,2DL + 1,0EQL + 1,0LL
- U = 0,9DL + 1,0WL
- U = 0,9DL + 1,0E

Beban Komponen Non-Struktur

Beban komponen non-struktur berikut ini dimodelkan sebagai beban garis pada balok Dinding partisi pasangan bata ringan (t = 15cm): 1.5 kN/m².

Beban Superimpose Lantai

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen-elemen tambahan atau finishing yang bersifat permanen. Berdasarkan SNI 1727:2020 elemen struktur sebagai berikut:

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal C3.1. Hal. 273-277 maka beban mati tambahan yang dibebankan pada pelat lantai sebagai berikut:

- Beban Keramik = 0.235 kN/m²
- Beban Spesi Ubin = 3 x 0.206 KN/m² = 0.618 kN/m²
- Mekanikal Elektrikal = 0.245 kN/ m²
- Beban Plafon + penggantung= 1.274 kN/m

Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yg terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung; termasuk beban2 pada lantai yg berasal dari barang2 yg dapat berpindah. mesin2 serta peralatan yg tidak merupakan bagian yg tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung tersebut. Berdasarkan fungsi gedung ini sebagai bangunan hunian. Untuk nilai bebannya Sebesar 4.79 KN/m²

Reduksi Beban Hidup

Koefisien reduksi beban hidup kumulatif diterapkan pada perencanaan unsur-unsur vertikal seperti kolom, dinding geser, dan pondasi berdasarkan persyaratan dari Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2020.

Beban hidup berat

Beban hidup yang melebihi 100 lb/ft² (4.79 kN/m²) tidak boleh direduksi.

Garasi mobil penumpang

Beban hidup untuk garasi mobil penumpang tidak boleh direduksi.

Beban Gempa

Perencanaan Gaya Dasar Seismik Gaya Dasar Seismik, V, dihitung sesuai persamaan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1:

$$V = C_s \times W$$

Keterangan:

V = base shear

W = berat seismik efektif menurut 7.7.2.

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1; diperoleh hasil perhitungan gaya dasar seismik sesuai tabel 4 dibawah ini

Tabel.4 Hasil Perhitungan Gaya Dasar Seismik

Story	W _i (kg)	h _i (m)	h _i ^k (m)	W _i h _i ^k (kg.m)	C _{v(z,z)}	F _x 100% (kg)	F _y 30% (kg)
RF	1,730,197	3,65	13,32	23,050,517,67	0,1012	3,236,97	1,371,09
19	1,745,766	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
18	1,745,766	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
17	1,745,766	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
16	1,745,765,94	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
15	1,745,766	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
14	1,745,766	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
13	1,745,766	3,40	11,56	20,181,054,27	0,0886	4,585,04	1,375,51
12	2,096,682	5,50	30,25	63,424,622,91	0,2785	14,109,77	4,322,93
11	489,204		0,00	-	0,0000	0,00	0,00
TOTAL	16,536,144			83,612,702,92	1,000	51,742,02	15,322,61

Output Hasil Analisis Struktur Menggunakan Software Sanspro V.5.20

a. Perancangan Struktur

Struktur atas dimodelkan sebagai sistem rangka beton bertulang yang dijepit pada lantai basement dan terdiri atas kolom, balok dan pelat dengan dimodelkan menggunakan program komputer Sanspro V.5.20 secara 3 dimensi.

b. Pelat Lantai

Pelat direncanakan menggunakan beton konvensional dengan Analisis perhitungan menggunakan bantuan formula Excel.

c. Konsep Perhitungan Struktur

c.1 Kolom

Kolom direncanakan sebagai kolom beton dengan Analisis dari output Sanspro V.5.20 dan pengecekan dengan perhitungan secara manual.

c.2 Balok

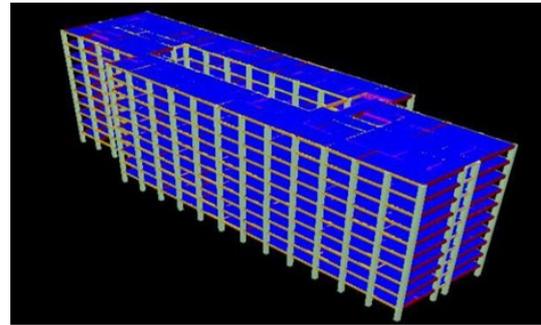
Balok direncanakan menggunakan balok beton dengan Analisis output Sanspro dan pengecekan perhitungan secara manual.

c.3 Pelat Lantai

Pelat direncanakan menggunakan beton konvensional dengan analisa perhitungan menggunakan bantuan formula Excel.

d. Pemodelan Struktur Eksisting

Pemodelan struktur eksisting dengan bantuan Program Sanspro V.5.20, dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini:



Gambar 9 Pemodelan 3-D Struktur Eksisting

Keterangan:

- Nama Bangunan : Apartemen North Tower
- Jumlah Lantai : 10 Lapis
- Struktur Utama : Beton Bertulang
- Nama Kota : Cikarang
- Bujur / Longitude : 107.13395090223388 Degrees
- Lintang / Latitude : -6.329057634210374 Degrees
- Kelas Situs : SE - Tanah Lunak

Respons Spektra Peta Gempa Indonesia 2021

- PGA = 0.382751 g
- PGAm = 0.549056 g
- CRs = 0.000000
- CR1 = 0.000000
- Ss = 0.815367 g
- S1 = 0.383460 g
- TL = 20.000000 detik
- Fa = 1.247706
- Fv = 2.466160
- Sms = 1.017339 g
- Sm1 = 0.945674 g
- Sds = 0.678226 g
- Sd1 = 0.630449 g
- T0 = 0.185911 detik
- Ts = 0.929556 detik

e. Hasil Pengecekan Ketidak-beraturan Struktur

Untuk hasil Pengecekan ketidakberaturan struktur untuk arah X dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 dibawah ini:

Tabel 5 Hasil Pengecekan ketidakberaturan struktur Arah

Floor	dmin	dmax	davg	dmax/davg	RI Irregularity	Ax,ratio < 3.
10	7.319	7.325	7.322	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
9	6.990	6.996	6.993	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
8	6.518	6.524	6.521	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
7	5.900	5.905	5.903	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
6	5.147	5.152	5.150	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
5	4.279	4.283	4.281	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
4	3.321	3.324	3.323	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
3	2.308	2.310	2.309	1.001	0 = Regular	0.695 -> 1.0
2	1.304	1.305	1.304	1.001	0 = Regular	0.695 -> 1.0
1	0.432	0.433	0.432	1.001	0 = Regular	0.695 -> 1.0

Tabel 6 Hasil Pengecekan ketidakberaturan struktur arah Y

Floor	dmin	dmax	davg	dmax/davg	RI Irregularity	Ax,ratio < 3.
10	7.319	7.325	7.322	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
9	6.990	6.996	6.993	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
8	6.518	6.524	6.521	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
7	5.900	5.905	5.903	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
6	5.147	5.152	5.150	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
5	4.279	4.283	4.281	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
4	3.321	3.324	3.323	1.000	0 = Regular	0.695 -> 1.0
3	2.308	2.310	2.309	1.001	0 = Regular	0.695 -> 1.0
2	1.304	1.305	1.304	1.001	0 = Regular	0.695 -> 1.0
1	0.432	0.433	0.432	1.001	0 = Regular	0.695 -> 1.0

f. Hasil Pengecekan P-Delta

Untuk hasil Pengecekan P Delta pada lantai untuk arah X dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 dibawah ini:

Tabel 7 Hasil Pengecekan P-Delta arah-X

Floor	Fi	Vi	Fi (Frame)	Vi (Frame)	Drift	Theta	P-Delta Status
10	210794.714	210794.714	210794.714	210794.714	2.40	0.007	P-DELTA OK
9	135169.729	345964.443	135169.729	345964.443	3.42	0.014	P-DELTA OK
8	120150.870	466115.313	120150.870	466115.313	4.48	0.020	P-DELTA OK
7	105132.011	571247.324	105132.011	571247.324	5.44	0.027	P-DELTA OK
6	90113.152	661360.477	90113.152	661360.477	6.27	0.034	P-DELTA OK
5	75094.294	736454.770	75094.294	736454.770	6.92	0.041	P-DELTA OK
4	60075.435	796530.205	60075.435	796530.205	7.32	0.047	P-DELTA OK
3	45056.576	841586.781	45056.576	841586.781	7.26	0.050	P-DELTA OK
2	33910.866	875497.647	33910.866	875497.647	6.32	0.048	P-DELTA OK
1	16955.433	892453.080	16955.433	892453.080	3.15	0.026	P-DELTA OK

Tabel 8 Hasil Pengecekan P-Delta arah-Y

Floor	Fi	Vi	Fi (Frame)	Vi (Frame)	Drift	Theta	P-Delta Status
10	210794.714	210794.714	210794.714	210794.714	2.40	0.007	P-DELTA OK
9	135169.729	345964.443	135169.729	345964.443	3.42	0.014	P-DELTA OK
8	120150.870	466115.313	120150.870	466115.313	4.48	0.020	P-DELTA OK
7	105132.011	571247.324	105132.011	571247.324	5.44	0.027	P-DELTA OK
6	90113.152	661360.477	90113.152	661360.477	6.27	0.034	P-DELTA OK
5	75094.294	736454.770	75094.294	736454.770	6.92	0.041	P-DELTA OK
4	60075.435	796530.205	60075.435	796530.205	7.32	0.047	P-DELTA OK
3	45056.576	841586.781	45056.576	841586.781	7.26	0.050	P-DELTA OK
2	33910.866	875497.647	33910.866	875497.647	6.32	0.048	P-DELTA OK
1	16955.433	892453.080	16955.433	892453.080	3.15	0.026	P-DELTA OK

g. Hasil Pengecekan Building Floor Displacement

Untuk hasil pengecekan displacement lantai dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10 dibawah ini:

Tabel 9 Displacement lantai arah X

Floor	Drift X-Direction		Node Id	Load Comb	Scaled Drift		Maximum Drift		STATUS
	Min	Max			Min	Max	dmax1	dmax2	
1	-0.572	0.437	5083,5083	6,11	-3.146	2.403	8.000	6.154	OK
2	-1.149	0.876	5084,5084	6,11	-6.317	4.818	8.000	6.154	NOT OK
3	-1.321	1.006	5085,5085	5,12	-7.263	5.534	8.000	6.154	NOT OK
4	-1.331	1.013	5086,5086	5,12	-7.319	5.570	8.000	6.154	NOT OK
5	-1.259	0.957	5087,5087	5,12	-6.322	5.262	8.000	6.154	NOT OK
6	-1.140	0.866	5088,5088	5,12	-6.272	4.761	8.000	6.154	NOT OK
7	-0.990	0.750	5089,5089	5,12	-5.443	4.123	8.000	6.154	OK
8	-0.814	0.615	5090,5090	5,12	-4.478	3.380	8.000	6.154	OK
9	-0.622	0.467	5091,5091	5,12	-3.423	2.569	8.000	6.154	OK
10	-0.435	0.323	5092,5092	5,12	-2.395	1.777	8.000	6.154	OK

Tabel 10 Displacement lantai arah Z

Floor	Fi	Vi	Fi (Frame)	Vi (Frame)	Drift	Theta	P-Delta Status
10	210794.714	210794.714	210794.714	210794.714	1.79	0.005	P-DELTA OK
9	135169.729	345964.443	135169.729	345964.443	2.54	0.010	P-DELTA OK
8	120150.870	466115.313	120150.870	466115.313	3.25	0.015	P-DELTA OK
7	105132.011	571247.324	105132.011	571247.324	3.88	0.019	P-DELTA OK
6	90113.152	661360.477	90113.152	661360.477	4.41	0.024	P-DELTA OK
5	75094.294	736454.770	75094.294	736454.770	4.82	0.029	P-DELTA OK
4	60075.435	796530.205	60075.435	796530.205	5.06	0.032	P-DELTA OK
3	45056.576	841586.781	45056.576	841586.781	4.97	0.034	P-DELTA OK
2	33910.866	875497.647	33910.866	875497.647	4.41	0.033	P-DELTA OK
1	16955.433	892453.080	16955.433	892453.080	2.40	0.020	P-DELTA OK

h. Hasil Pengecekan Mutu Beton terhadap Persyaratan SNI 2847-2019

Untuk hasil pengecekan syarat mutu beton minimum sesuai SNI 2847-2019. diperoleh hasil dengan nilai minimum seperti ditunjukkan dalam Tabel 11 dibawah ini:

Tabel 11 Tabulasi Hasil Pengecekan Mutu Beton

No	Lokasi Titik Pengujian	Umur Beton (Hari)	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Mutu Beton Minimum Bahan Seismik Menurut SNI 2847 2019 (MPa)	Remark									
1	LANTAI 1 KOLOM BALOK	28 HARI	30.55	21	OK									
			30.29	21	OK									
			2	LANTAI 2 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI	31.41	21	OK						
						30.99	21	OK						
						31.75	21	OK						
						3	LANTAI 3 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI	31.50	21	OK			
									30.68	21	OK			
									31.50	21	OK			
									4	LANTAI 4 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI	31.17	21	OK
												31.70	21	OK
31.07	21	OK												
5	LANTAI 5 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI										31.19	21	OK
			31.04	21	OK									
			31.22	21	OK									
			6	LANTAI 6 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI							30.25	21	OK
						30.11	21	OK						
						31.09	21	OK						
						7	LANTAI 7 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI				30.21	21	OK
									30.23	21	OK			
									31.22	21	OK			
									8	LANTAI 8 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI	32.26	21	OK
30.19	21	OK												
30.12	21	OK												
9	LANTAI 9 KOLOM BALOK PELAT	28 HARI										32.30	21	OK
			30.28	21	OK									
			30.17	21	OK									
			10	LANTAI ROOF BALOK PELAT	28 HARI							30.13	21	OK
						30.18	21	OK						

Keterangan:

Sesuai Persyaratan SNI 2847-2019:

Nilai mutu beton \geq 21 MPa dinyatakan "OK" Nilai

mutu beton <21 MPa dinyatakan “NOT OK”

Diperoleh hasil bahwa semua lantai struktur pada arah X dan arah Y dinyatakan “OK” karena masih memenuhi persyaratan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7

i. Hasil Pengecekan Kapasitas Penulangan Balok
Untuk hasil output penulangan balok dapat dilihat dari jumlah luasan tulangan perlu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dibawah ini:



Gambar.10 Penulangan Balok

Rasio Tulangan Kolom menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.1

Rasio tulangan minimum = 1% ≤ ρ ≤ 6%

= (1.5 % x Apenampang) / As tul :

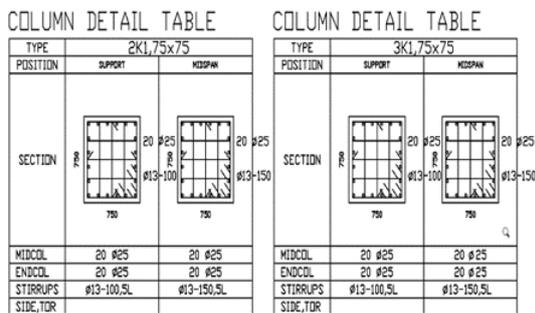
= (1.5%x(750x750))/((22/7)x(22/2)^2

= 17.18 bh dibulatkan menjadi 18 bh.

Tulangan perlu. 17D25 - Terpasang. 20D25 → OK

j. Pengecekan Penulangan Kolom

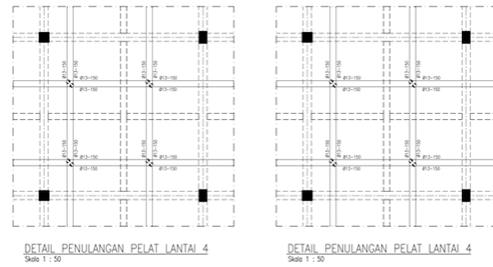
Untuk hasil output penulangan kolom dapat dilihat dari jumlah luasan tulangan perlu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 dibawah ini:



Gambar.11 Penulangan Kolom

k. Hasil Pengecekan Kapasitas Penulangan Pelat

Untuk hasil output penulangan Pelat dapat dilihat dari jumlah luasan tulangan perlu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 dibawah ini:



Gambar.12 Penulangan Pelat

Jumlah Tulangan Perlu Pelat:

Rasio Tulangan Pelat menurut SNI 2847 2019 Pasal 8.10.2

Rasio tulangan pada kondisi balance.

$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0.0253$

Rasio tulangan maksimum. $\rho_{maks} = 0.75 * \rho_b = 0.0190$

Rasio tulangan minimum.

syarat 1 : $\rho_{min} = 420/f_y * 0.0018 = 0.0018$

syarat 2 : $\rho_{min} = 0.0014 = 0.0014$

Rasio Tulangan Balok menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.1 yaitu:

$\rho \leq \rho_{max}$

$\rho = A_s / (b * d) = 1900.664 \text{ mm}^2 / (400 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}) = 0.64\%$

$\rho_{max1} = 0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$

$\rho_{max2} = 2.5\%$

diperoleh: $0.64\% \leq 2.5\% \rightarrow \text{OK}$

Rasio tulangan terpasang. $\rho = 1 / m * (1 - [1 - 2 * m * R_n / f_y] 0.5) = 0.0099$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$

0.0018 0.0099 0.0190 → [OK]

l. Hasil Pengecekan Mutu Kekuatan Tarik Tulangan dengan Brinnel Test

Untuk hasil pengecekan Mutu Kekuatan Tarik Tulangan dapat dilihat pada Tabel 12 dibawah ini:

Tabel 12 Mutu Kekuatan Tarik Tulangan
Keterangan:

No.	ID Sample	Location Test		Average	Tensile Strength		REMARKS
		Location	Type		Test Field (MPa)	SNI 2052-2017 (MPa)	
1	B-01	Lantai 3	Kolom Tulangan Polos	110	370	350	OK
2	B-02	Lantai 3	Kolom Tulangan Polos	100	340	350	NOT OK
3	B-03	Lantai 3	Balok Tulangan Polos	114	385	350	OK
4	B-04	Lantai 3	Balok Tulangan Polos	100	340	350	NOT OK
5	B-05	Lantai 4	Pelat Tulangan Polos	94	330	350	NOT OK
6	B-06	Lantai 4	Pelat Tulangan Polos	106	360	350	OK
7	B-07	Lantai 2	Kolom Tulangan Polos	114	385	350	OK
8	B-08	Lantai 2	Kolom Tulangan Polos	106	360	350	OK
9	B-09	Lantai 2	Balok Tulangan Polos	114	385	350	OK
10	B-10	Lantai 2	Balok Tulangan Polos	94	330	350	NOT OK

Sesuai Persyaratan SNI 1729-2020:

Nilai kuat Tarik Tulangan ≥ 350 MPa dinyatakan “OK”

Nilai kuat Tarik Tulangan <350 MPa dinyatakan “NOT OK”

KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian tanpa merusak dan Analisis struktur dengan alat bantu software Sanspro V.5.20 pada Struktur Apartemen 10 Lantai yang di Analisis dengan mengacu Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 1726:2019. dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur bangunan apartemen ditinjau dari segi mutu materialnya untuk material beton masih memenuhi persyaratan minimum menurut SNI 2847-2019 yaitu minimal 21 MPa. Namun ada beberapa kolom, balok dan pelat yang mutu kuat Tarik baja tulangnya masih belum memenuhi persyaratan minimal F_y 420 MPa menurut SNI 2847-2019;
2. Struktur bangunan apartemen. ditinjau dari Pengecekan Ketidak-beraturan Struktur. semua lantai struktur pada arah X dan arah Y adalah "Regular";
3. Struktur bangunan apartemen. ditinjau dari Pengecekan Efek P-Delta. semua lantai struktur pada arah X dan arah Y adalah dalam kondisi "OK";
4. Struktur bangunan apartemen. ditinjau dari Pengecekan Drift Lantai. lantai struktur pada arah X dan arah Y semua lantai dalam kondisi "OK";
5. Struktur bangunan apartemen ditinjau dari rasio tulang perlu dan terpasang untuk Kolom, balok dan pelat masih memenuhi persyaratan SNI 2847-2019 dalam kondisi "OK";
6. Secara umum, struktur bangunan apartemen 10 lantai North Tower, masih Laik Fungsi sebagai bangunan fungsi Apartemen / Hunian, dengan harus melakukan perkuatan struktur sesuai dengan rekomendasi teknis terhadap hasil analisis struktur untuk meningkatkan mutu tulangan pada struktur kolom, balok dan pelat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan Dr. Nathan Madutujuh sebagai pemilik software SANPRO yang telah mendukung keberlangsungan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Laporan Kajian Teknis Struktur Bangunan Apartemen North Tower Cikarang. PT. Pasura Sinergi Maduma Jaya. 2022.

Laporan Final Audit Struktur Gedung Sarinah Jakarta. PT. Yodya Karya. 2018.

Tutorial Basic Building Design with SANSPRO 5 20 Dr. Ir. Nathan Madutujuh. M.Sc.

(Sumber: <https://youtu.be/inMpPDcy8fg>).

Laporan Kajian Teknis Struktur Bangunan Apartemen Mahogani Cikarang. 2022. PT. Paromas Persada Cipta. 2022.

Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). Pemutakhiran Sumber Dan Peta Gempa Indonesia 2017.

Standar Nasional Indonesia 1726:2019. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

Standar Nasional Indonesia 1727:2020. Beban disain minimum dan kriteria terkait untuk

Dok. G. Ozturk. H. Demir. A. Caglar. N. (2018). Effect of Effective Bending Rigidity in Pushover Analysis Considering Different Code Approach.

Hilmi. M. Erizal. Febrita. J. (2019). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019.

Utami. P.T. Warastuti. N. (2019). Analisis Kekuatan Bangunan Terhadap Gaya Gempa Dengan Metode Pushover Studi Kasus bangunan Gedung dan struktur lainnya

Standar Nasional Indonesia 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung

ASTM. American Society for Testing and Material.

AISC 360-16. Specification for Structural Steel Buildings.

AISC 341-16. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

Utomo. C. Susanto. I.R. (2014). Evaluasi Struktur Dengan Pushover Analysis Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta.

Ismail. M. (2014). Analisis Kinerja Struktur Atas Gedung 7 lantai Dengan Variasi Dimensi dan Lokasi Shearwall Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel.

Purnomo. E. Purwanto. E. Supriyadi. A. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang). Gedung Asrama Pusdiklat Ppatk. Depok.

Subagyo. S. (2020). Penggunaan Program Komputer Pada Gedung Bertingkat Menggunakan Paket Program Sanspro V 4.7.

Isdyanto. A. (2021). Analisis Struktur Bangunan Rumah Sakit Pratama Kabupaten Sinjai Dengan Sap2000 Versi 14.

Hasibuan. S.R.A.S. Arfiadi. Y. Utomo. J. (2022). Analisis Riwayat Waktu Nonlinier Struktur Flat Slab dengan OpenSees Navigator.