

No	Tanggal	Keterangan
1	27 Agustus 2020	Penulis korespondensi mengirimkan naskah publikasi ke redaksi.
2	8 September 2020	Redaksi memberikan hasil review yaitu Diterima dengan Revisi.
3	8 September 2020	Redaksi memberikan Letter of Acceptance.
4	9 September 2020	Penulis mengirimkan naskah yang sudah direvisi.
5	8 Januari 2021	Redaksi menyatakan status naskah Diterima (Accepted).
	8 Januari 2021	Naskah memasuki proses editing.
6	8 Januari 2021	Naskah terbit pada Volume 9 Nomor 1 Tahun 2021.

Berikut ini kami lampirkan Naskah Review dan LoA. Terdapat beberapa bagian yang harus direvisi pada naskah. Bagian yang telah direvisi harap diberi tanda atau komen untuk memudahkan pemeriksaan. Naskah akan diterbitkan di jurnal BENTANG edisi Januari 2021 biaya FREE, **Jurnal Cetak** akan dikirim ke alamat yang tertera pada naskah.

asriegunarti
2020-09-08 03:07
PM

Salam

 asriegunarti, Journal manager, 4 Naskah Asli Yoserifat review.docx

 asriegunarti, Journal manager, 4 Hasil Turnitin Naskah Yosafat.pdf

 asriegunarti, Journal manager, 4 LoA Yosafat.pdf

NO.	KOMPONEN PENILAIAN Review	KOMENTAR PEMERIKSAAN
1.	Judul Artikel Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang	<i>Komentar: Judul sudah sesuai standar penulisan judul dari segi jumlah kata dan unsur</i>
2.	Abstrak dan Kata kunci	<i>Abstrak cukup Jelas, terdapat masalah, tujuan, metode, hasil, dan kata kunci.</i>
3.	Kecukupan State of The Art Overview (min ref 10 thn terakhir) Penelitian/Artikel Jurnal Sebelumnya	<i>Referensi cukup (yang digunakan 10 tahun terakhir)</i>
4.	Jelas dan Tidaknya Gap Analysis (justifikasi mengapa riset ini perlu dilakukan dan apa keunikan paper ini dibanding paper2 sebelumnya?)	<i>Tambahkan referensi/sitasi penelitian yang serupa (relevan) pada pendahuluan untuk memunculkan state of art naskah</i>
5.	Jelas dan Tidaknya Tujuan Penelitian atau hipotesis	<i>tujuan penelitian berisi cukup jelas</i>
6.	Jelas dan tidaknya Penulisan Metode Penelitian	<i>Materi dan Metode penelitian cukup jelas disampaikan. Tidak perlu penulisan keterangan di bawah tabel untuk penelitian yang dilakukan sendiri. (jika tabel tersebut milik sendiri maka tidak perlu dicantumkan sumbernya) (contoh: Sumber:Hasil penelitian)</i>
7.	Apakah Hasil dan Pembahasan ditulis secara jelas dan memenuhi aspek scientific merit (unsur what/how?, why?, dan what else?)	<i>Memenuhi semua aspek</i>
8.	Adakah perbandingan dengan hasil-hasil penelitian orang lain di Pembahasan?	<i>Ada. Cukup</i>
9.	Apakah Kesimpulan cukup menjawab Tujuan Penelitian?	<i>Cukup</i>
10.	Penulisan Daftar Pustaka (konsistensi dan benar-tidaknya; minimum 15 daftar pustaka; dan usahakan sebagian besar dari jurnal ilmiah)	<i>Kebaruhan pustaka cukup update 10 tahun terakhir, namun Referensi yang dicantumkan pada daftar referensi ini seharusnya adalah referensi yang di mention pada naskah. Sitasi atau referensi yang tidak masuk dalam tubuh naskah, agar tidak dituliskan dalam daftar reference.</i>
11.	Komentar Lainnya:	<i>Minor Revisi, Hasil cek similarity: 6% < 20% (memenuhi standar publikasi)</i>

► Kepada yth. Redaksi
di tempat

yosafatap
2020-09-09 09:39
AM

Dengan hormat,
Saya sampaikan revisi Naskah Paper, sesuai arahan redaksi dan hasil review oleh Reviewer. Terima kasih atas perhatian dan kesempatan yang telah diberikan.

Hormat saya,
Yosafat Aji Pranata
Penulis

📎 yosafatap, Author, 2197-Article Text-6536-1-18-20200908-REVISI.docx



Anita Setyowati Srie Gunarti <sumarlinsaja89@gmail.com>
to me

Fri, Jan 8, 2021, 2:15 PM ☆ 😊 ↶ ⋮

Translate to English ✕

You have a new notification from BENTANG : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil:

You have been added to a discussion titled "EVALUASI NASKAH JURNAL BENTANG Vol 9 No 1 Januari 2021" regarding the submission "Evaluasi Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang".

Link: <http://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/bentang/authorDashboard/submission/2197>

Anita Setyowati Srie Gunarti

[BENTANG : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil](#)

Workflow

Publication

Submission

Review

Copyediting

Production

Round 1

Round 1 Status

All recommendations are in and a decision is needed.

Review Discussions

[Add discussion](#)

Name	From	Last Reply	Replies	Closed
EVALUASI NASKAH JURNAL BENTANG Vol 9 No 1 Januari 2021	asriegunarti 2021-01-08 07:12 AM	-	0	<input type="checkbox"/>

Status: Published

This version has been published and can not be edited.

Title & Abstract

Bahasa Indonesia

English

Contributors

Metadata

References

Galley

Prefix

Examples: A, The

Title

Subtitle

Abstract

B *I* x^2 x_2

Several coastal areas in Indonesia are at risk of moderate to high tsunami disasters, this is related to the condition that Indonesia is located in an earthquake high risk area. At this time there are many buildings located on the coast with a low-rise stilt house system with the main structural system, namely beams and columns using timber materials. The building structure design includes the performance evaluation process, namely strength, stiffness and structural stability. The purpose of this research is to study the evaluation behavior of performance levels, especially the strength and stiffness of low-rise timber buildings, namely the level of structural performance due to gravity and lateral loads, namely earthquakes. The research scope is a three-story building with a beam and column

Save

Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang

Yosafat Aji Pranata^{1,*}, Fadlillah Ariani Suroso², Bernardinus Herbudiman²

¹ Program Studi Teknik Sipil; Universitas Kristen Maranatha; Jalan Suria Sumantri 65, Bandung, Indonesia. E-mail: yosafat.ap@gmail.com, yosafat.ap@eng.maranatha.edu.

² Program Studi Teknik Sipil; Institut Teknologi Nasional; Jalan PHH Mustopha 23, Bandung, Indonesia

* Korespondensi: e-mail: yosafat.ap@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa wilayah pesisir pantai di Indonesia memiliki resiko bencana tsunami moderat hingga berat, hal ini berkaitan dengan kondisi bahwa Indonesia terletak pada daerah rawan gempa. Pada saat ini terdapat banyak bangunan gedung yang berlokasi di pesisir pantai dengan sistem rumah panggung bertingkat rendah dengan sistem struktur utama yaitu balok dan kolom menggunakan material kayu. Desain struktur bangunan gedung antara lain mencakup proses evaluasi kinerja yaitu kekuatan, kekakuan hingga stabilitas struktur. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku evaluasi tingkat kinerja khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan lateral yaitu gelombang laut. Ruang lingkup penelitian yaitu bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom. Kolom berbentuk lingkaran dan balok mempunyai bentuk penampang persegi. Beban yang diperhitungkan ialah gravitasi dan lateral. Kekuatan yang dibahas adalah kapasitas lentur balok dan kapasitas tekan kolom. Untuk mendapatkan perilaku bangunan gedung yang mendekati kondisi riil, khususnya pada sambungan join balok-kolom, maka digunakan data sekunder yaitu data empiris kurva *envelope* beban-deformasi sambungan join balok-kolom hasil pengujian di laboratorium (dimodelkan sebagai properti *link*). Evaluasi kinerja struktur dimulai dengan analisis struktur dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000, untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan simpangan gedung. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti *link* pada sambungan join balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan join balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan join tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

Kata kunci: gedung, kayu, properti *link*, beban lateral, perilaku

ABSTRACT

Several coastal areas in Indonesia are at risk of moderate to high tsunami disasters, this is related to the condition that Indonesia is located in an earthquake high risk area. At this time there are many buildings located on the coast with a low-rise stilt house system with the main structural system, namely beams and columns using timber materials. The building structure design includes the performance evaluation process, namely strength, stiffness and structural stability. The purpose of this research is to study the evaluation behavior of performance levels, especially the strength and stiffness of low-rise timber buildings, namely the level of structural performance due to gravity and lateral loads, namely sea waves. The research scope is a three-story building with a beam and column frame structure system. Columns are circular and beams have a square cross section. The loads taken into account are gravity and lateral. The strengths discussed are the bending capacity of the beam and the compressive capacity of the

Received: ...; Revised: ...; Accepted: ...; Available Online: ... (diisi oleh Tim Editor)

Copyright©2021. Universitas Islam 45

column. In order to obtain building behavior that is closer to real conditions, especially in beam-column joints, secondary data is used, namely empirical data on the envelope load-deformation curve of the beam-column joint test results in the laboratory (modeled as link property). Evaluation of structural performance begins with structural analysis using SAP2000 software, to obtain internal forces and building drift. The results show that the use of link properties in beam-column joint joints in the timber building structures shows greater deformation results compared to rigid joint models, this indicates that modeling the structure with beam-column joint joints modeled as link property has an impact on building stiffness. Lower and represents the condition of a timber building with beam-column joint characteristics closer to the actual condition. The existence of a hole size in the column (to insert the beam) which is larger than the cross-sectional size of the beam results in the rotation of the joint not being zero and a slip occurs when the joint works to transmit internal forces.

Keywords: *building, timber, link properties, lateral load, behavior*

1. PENDAHULUAN

Bangunan kayu dengan sistem struktur utama *frame* balok dan kolom banyak dijumpai pada daerah khususnya lokasi pariwisata. Fungsi utama bangunan yaitu untuk kepentingan komersial seperti hotel, restoran, dan bangunan pendukung lokasi objek pariwisata tersebut. Salah satu tujuannya pemanfaatan material kayu lokal sebagai material bangunan. Beberapa lokasi wisata khususnya di pinggir pantai membuat konsep bangunan-bangunan kayu tersebut menggunakan sistem rumah bertingkat rendah dengan lantai dasar sebagai panggung dan lantai di atasnya berfungsi untuk aktivitas penghuninya.



Gambar 1. Gudang dan rumah kayu tipe panggung (dokumentasi pribadi).

Rumah dengan konsep panggung pada daerah pesisir pantai perlu diperhatikan kekuatan, kekakuan, dan stabilitasnya terhadap adanya beban gelombang, yang bekerja sebagai beban lateral pada bangunan. Dengan adanya evaluasi kinerja struktur akibat beban lateral tersebut maka diharapkan dapat diketahui perilaku struktur akibat beban-beban yang bekerja sehingga dapat diketahui tingkat kinerjanya.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan beban lateral yaitu gelombang laut.

Ruang lingkup penelitian yaitu antara lain:

1. Bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom.
2. Kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm dan balok mempunyai bentuk penampang persegi dengan ukuran 250 mm x 250 mm.
3. Bangunan gedung dikenai beban gravitasi dan lateral. Pembebanan yang dilakukan meliputi beban mati, beban hidup, beban gelombang, dan beban gempa. Dalam penelitian ini beban gempa tidak dominan dan nilainya lebih rendah dibandingkan beban gelombang.
4. Perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010) menjadi alat bantu untuk simulasi analisis struktur.

5. Gelombang laut yang diperhitungkan merupakan gelombang laut akibat bangkitan oleh angin. Sedangkan gempa rencana yang digunakan yaitu statik ekuivalen dan respon spektrum.
6. Konstruksi rangka atap diperhitungkan terpisah dan dimodelkan sebagai beban gravitasi pada struktur bangunan gedung.
7. Bangunan gedung dimodelkan dengan dua tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan join balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019)). Sedangkan tipe kedua sambungan join balok-kolom dimodelkan kaku.
8. Data sifat mekanika kayu yaitu Modulus Elastisitas dan Berat Jenis menggunakan data sekunder hasil penelitian Pranata (Pranata, 2018) dan Atlas Kayu Indonesia Jilid IV (PPPKK, 2013).
9. Perhitungan beban gravitasi mengikuti kaidah peraturan SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). Perhitungan beban gempa rencana mengikuti kaidah peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Perhitungan kapasitas kolom dan balok mengacu pada SNI 7973:2013 (BSN, 2013). Perhitungan beban gelombang mengacu pada API RP 2A-WSD (API, 2000) dan persamaan Morison (Morison dkk., 1950).

2. METODE PENELITIAN

Bangunan Kayu

Kayu diperoleh dari tumbuhan alami dan mempunyai keunggulan dan kelemahan. Kayu termasuk dalam kategori material ortotropik yaitu mempunyai tiga arah sumbu utama yang mana arah sumbu terkuat yaitu sumbu longitudinal kekakuan dan kekuatannya besar, kemudian kelemahannya adalah kayu relatif lemah dan lunak pada sumbu radial dan tangensial. Pohon mempunyai variasi alami berbeda-beda tergantung beberapa faktor luar antara lain jenis iklim, jenis tanah, faktor internal yaitu usia pohon.

Struktur bangunan kayu dengan konsep sistem struktur *frame*, komponen-komponen struktur utamanya adalah kolom dan balok. Jika mengacu pada persyaratan desain sesuai SNI 7973:2013 (BSN, 2013) maka komponen struktur kolom dapat direncanakan dengan metode Desain Faktor Beban Ketahanan (DFBK) maupun metode Desain Tegangan Ijin (DTI). Desain dalam hal ini adalah ukuran penampang kolom diperhitungkan berdasarkan pengaruh dari gaya dalam yang timbul pada kolom akibat beban-beban. Desain kolom memperhitungkan pula pengaruh kelangsingan kolom. Pada komponen struktur balok desain dapat menggunakan pula metode DFBK maupun DTI yaitu mencakup pemeriksaan terhadap persyaratan kekuatan lentur, kekuatan geser, lendutan balok, serta pengaruh kelangsingan balok.

Kapasitas lentur balok (M') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.a sebagai berikut,

$$M' = F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S \quad (1.a)$$

Kapasitas geser balok (V') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.b sebagai berikut,

$$V' = F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d \quad (1.b)$$

Kapasitas tekan kolom (P') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.c sebagai berikut,

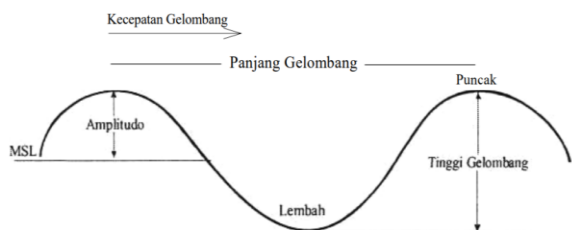
$$P' = F_c \times C_M \times C_i \times C_t \times C_F \times C_P \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A \quad (1.c)$$

dengan F_B^* adalah kapasitas lentur balok dikalikan seluruh faktor koreksi kecuali faktor stabilitas balok (C_L), S adalah modulus penampang elastik balok kayu, C_M adalah faktor layan basah, C_i adalah faktor tusuk untuk kayu dimensi, C_t adalah faktor temperatur, C_F adalah faktor ukuran untuk kayu gergajian, K_F adalah faktor konversi format, λ adalah faktor efek waktu, ϕ_v adalah faktor ketahanan geser, ϕ_c adalah faktor ketahanan tekan dan C_{fu} adalah faktor penggunaan rebah (BSN, 2013; Pranata dan Suryoatmono, 2019).

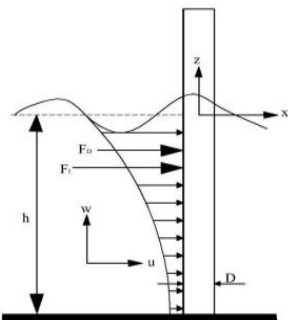
Beban Gelombang

Gelombang laut dipengaruhi oleh pembangkitnya, yaitu antara lain dibangkitkan oleh adanya angin yang mana dominan terjadi pada daerah terbuka seperti halnya di pesisir pantai. Menurut *Shore Protection Manual* (API, 2000) gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin mengandung energi yang paling besar. Artinya gelombang tersebut menimbulkan tekanan atau kerusakan yang paling berat terhadap bangunan gedung.

Air mengalami pergerakan turun dan naik yaitu arahnya tegak lurus serta membentuk pola grafik sinusoidal, dengan tiga parameter karakteristik gelombang yaitu panjang, periode dan tinggi gelombang (Asiz, 2006). Perhitungan beban gelombang selanjutnya dapat dilakukan dengan persamaan sinusoidal tersebut (Baba, 2014).



Gambar 2. Bentuk gelombang laut (Asiz, 2006).



Gambar 3. Beban gelombang (Haritos, 2007).

Kolom merupakan komponen struktur yang akan menerima beban gelombang karena struktur bangunan berada di area lepas pantai. Perhitungan gaya gelombang pada kolom dengan kondisi gelombang tidak pecah menggunakan Persamaan Morison (Morison dkk., 1950) yaitu ditampilkan pada Persamaan 2.a. Persamaan Morison menggunakan beberapa parameter yaitu gaya gelombang (F_x) adalah gabungan dari gaya inersia dan gaya hambatan (F_{imax} dan F_{dmax}) yaitu seperti ditampilkan pada Persamaan 2.b dan Persamaan 2.c. Total gaya horisontal tersebut selanjutnya disebut beban yang bekerja pada kolom.

$$F_x = F_{dmax} \cos \omega t - F_{imax} \sin \omega t \quad (2.a)$$

$$F_{dmax} = (1/16) \gamma_w g C_d D H^2 \{ \sinh(2kh) + 2kh \} / \sinh(2kh) \quad (2.b)$$

$$F_{imax} = (\pi/8) \gamma_w g C_m D^2 H \{ \tanh(kh) \} \quad (2.c)$$

API (API, 2000) menyatakan bahwa untuk desain struktur lepas pantai, besar koefisien C_d dan C_m adalah seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter C_d dan C_m (API, 2000)

Keterangan	C_d	C_m
Halus	0,65	1,60
Kasar	1,05	1,20

Gempa Rencana

Gempa rencana, yaitu berupa gaya lateral pada bangunan dapat diperhitungkan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum berdasarkan SNI Gempa Indonesia yaitu SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Gaya geser dasar bangunan yang mana merupakan fungsi linier dari berat bangunan dihitung terlebih dahulu untuk selanjutnya dapat dihitung distribusi gaya lateral yang bekerja pada tiap lantai bangunan gedung. Gaya geser dasar nominal (BSN, 2012).

$$V > 0,85 V_{\text{statik}} \quad (3)$$

Respon spektrum adalah beban gempa yang diambil pada percepatan maksimum tanah dasar. Respon spektrum diambil adalah respon gempa di wilayah tertentu, mengacu pada ketentuan umum berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), sedangkan faktor keutamaan diambil sebesar $I_e = 1,0$ (bangunan komersial), hal ini sesuai terhadap kategori risiko struktur bangunan berada pada kategori risiko II. Selanjutnya koefisien modifikasi respon (R) mengikuti kaidah SNI 1726:2012 (BSN, 2012), dimana untuk analisis beban gempa gedung digunakan nilai R sebesar 3,50 sesuai dengan kategori untuk sistem rangka lainnya (diasumsikan dalam studi kasus penelitian ini adalah struktur bangunan kayu).

Evaluasi Kinerja Kekakuan Bangunan

Kinerja struktur bangunan gedung dalam konteks kekakuan struktur dapat diperhitungkan dan diprediksi berdasarkan besarnya simpangan horisontal pada taraf elevasi struktur atap/struktur gedung lantai paling atas dan diperhitungkan terhadap besarnya nilai batasan ijin. *Applied Technology Council* (ATC, 1996) mengklasifikasikan taraf kinerja bangunan gedung (komponen struktur bangunan) menjadi beberapa tingkat/level kinerja.

Bangunan dalam konteks ini adalah bangunan dengan masa layan 50 tahun. Tingkat/level kinerja yaitu SP-1 *Immediate Occupancy* (IO), SP-2 *Damage Control* (DC), SP-3 *Life Safety* (LS), SP-4 *Limited Safety*, SP-5 *Structural Stability* (SS), dan SP-6 *Not Considered* (NC).

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kinerja bangunan (ATC, 1996).

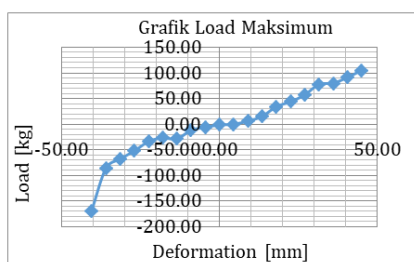
Simpangan antar lantai	SP-1	SP-2	SP-3	SP-5
Total simpangan maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan inelastik maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batas	Tidak ada batas

Secara umum untuk tingkat kinerja bangunan SP-4 bukan merupakan kategori utama karena berada pada rentang *Life Safety* dan *Structural Stability*, sedangkan kategori SP-6 bangunan telah mengalami kegagalan struktur secara berat sehingga tidak memungkinkan dilakukan perbaikan-perbaikan.

Kurva Envelope Beban-Deformasi Sambungan Balok-Kolom dan Sifat Mekanika Kayu

Dalam penelitian ini, pemodelan dan analisis struktur bangunan kayu menggunakan 2 (dua) tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan join balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019). Sedangkan tipe kedua sambungan join balok-kolom dimodelkan kaku.

Untuk mendapatkan informasi terkait kurva kapasitas sambungan balok-kolom kayu maka diperlukan pengujian empiris di laboratorium, yaitu melalui pengujian siklik dengan cara memberikan pembebanan statik dua arah bolak-balik (Pranata, 2019). Pembebanan bolak-balik (siklik) akan menghasilkan kurva beban dengan simpangan bolak-balik yang disebut kurva histeresis. Kurva *Envelope* dibuat dari kurva histeresis dengan mengambil nilai dari masing-masing beban puncak tiap siklus pembebanan, yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.



(a). Kurva *Envelope* beban vs deformasi lateral.



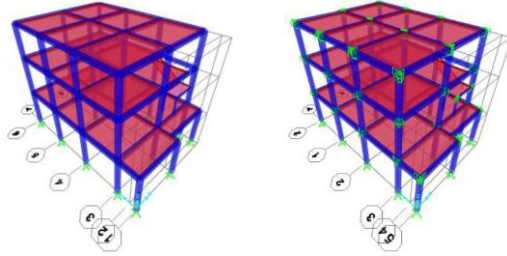
(b). Pengujian sambungan join balok-kolom di laboratorium.

Gambar 4. Tinjauan literature pengujian sambungan join balok-kolom kayu (Pranata, 2019).

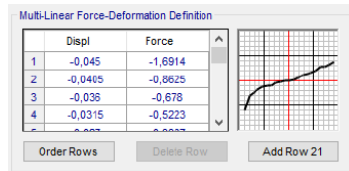
Data sifat mekanika kayu yaitu modulus elastisitas kayu (E), berat jenis kayu, serta kekuatan lentur (F_b) diperoleh dari data sekunder hasil penelitian sebelumnya oleh Pranata (Pranata, 2018) yaitu E sebesar 13060,99 MPa (arah longitudinal atau sejajar serat kayu), berat jenis kayu 450 kg/m³, dan F_b sebesar 11,51 MPa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur bangunan gedung kayu dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) lantai dengan sistem struktur *frame* yaitu balok dan kolom. Gambar 5 memperlihatkan skematik model 3D bangunan. Pemodelan disajikan pada Gambar 5.a untuk pemodelan konvensional yaitu sambungan join balok-kolom kaku, dan Gambar 5.b untuk pemodelan sambungan join balok-kolom kayu dengan pemodelan properti *link*. Model properti *link* dibuat dengan pendekatan model kuva hubungan beban vs deformasi secara multilinier (Gambar 6) dengan data-data empiris yang telah diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya (data sekunder, yaitu data pada Gambar 4).



(a). Tipe-1 (sambungan kaku). (b). Tipe-2 (sambungan dengan properti *link*).
Gambar 5. Skematik model 3D bangunan gedung kayu (Suroso, 2019).



Gambar 6. Pemodelan kurva beban vs deformasi multi linier sebagai model properti *link* (Suroso, 2019).

Seluruh kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm. seluruh balok berbentuk penampang persegi dengan ukuran penampang 250 mm x 250 mm. Data untuk tinggi dan periode gelombang menggunakan data sekunder hasil penelitian terdahulu (Rabung, 2014) pada pantai di Makassar yaitu $H = 3$ meter dan $T = 9$ detik untuk elevasi permukaan air laut $h = 2,5$ meter. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan alat bantu perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010).

Struktur atap dalam hal ini seluruh beban yang bekerja pada atap (termasuk berat sendiri) diperhitungkan terpisah dan diaplikasikan pada bangunan sebagai beban-beban gravitasi. Beban gelombang diperhitungkan menggunakan Persamaan 2.a, Persamaan 2.b, dan Persamaan 2.c dan selanjutnya diaplikasikan sebagai beban horisontal yang bekerja pada masing-masing kolom pada bangunan tersebut (Suroso, 2019). Hasil analisis struktur yang ditinjau adalah kinerja kekuatan dan kekakuan struktur bangunan gedung.

Waktu Getar Struktur Bangunan

Periode fundamental struktur harus dibatasi untuk mengetahui struktur bangunan aman terhadap gempa. Periode getar struktur untuk model gedung Tipe-1 menghasilkan periode 0,34 detik dan pemodelan bangunan gedung Tipe-2 menghasilkan periode 0,49 detik. Hasil ini mengindikasikan bahwa gedung Tipe-2 yaitu sistem sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* lebih besar sebesar 30,25%, artinya bangunan lebih fleksibel. Hal ini terjadi mengingat sambungan kayu kondisi sebenarnya adalah tidak kaku dikarenakan ukuran lubang pada kolom untuk menempatkan/memasukkan balok lebih besar daripada ukuran penampang balok, sehingga terjadi *slip* dan rotasi yang terjadi tidak nol, hal ini sesuai hasil penelitian empiris oleh Pranata (Pranata, 2019) yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.

Gaya Geser Dasar

Hasil analisis selanjutnya yang dapat diperoleh adalah gaya geser dasar bangunan gedung ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Secara umum baik bangunan gedung yang dihitung gaya gesernya berdasarkan analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum, gedung Tipe-1 dan Tipe-2 menghasilkan gaya geser yang tidak terlalu berbeda (%-beda berkisar 2,67 s.d. 7,06%).

Perbedaan ini dapat terjadi dikarenakan volume kayu (berat) kayu yang lebih kecil untuk model gedung Tipe-2 khususnya pada bagian-bagian sambungan join balok-kolom.

Dari hasil kontrol gaya geser dasar dengan menggunakan Persamaan 4, dapat diperoleh hasil bahwa gaya geser dasar pada arah-X dan arah-Y telah memenuhi persyaratan sesuai SNI 1726:2012 (BSN, 2012) yaitu sebesar 85% gaya geser dasar statik ekuivalen, sehingga dalam hal ini tidak diperlukan pembesaran faktor pengali.

Tabel 3. Gaya Dasar Statik (Analisis Statik Ekuivalen) (Suroso, 2019).

Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	32,89	30,57	7,06
Arah-Y	32,89	30,57	7,06

Tabel 4. Gaya Geser Dasar Dinamik (Analisis Respons Spektrum) (Suroso, 2019).

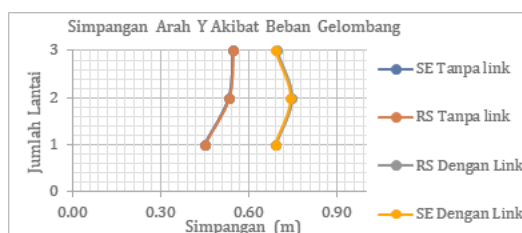
Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	52,37	50,97	2,67
Arah-Y	57,21	55,19	3,54

Simpangan Struktur

Selanjutnya dari analisis struktur akibat beban lateral diperoleh pula simpangan bangunan gedung untuk arah-X maupun arah-Y. simpangan tersebut selanjutnya ditinjau terdapat batasan ijin, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat/level kinerja struktur. Hasil dari analisis selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Simpangan struktur untuk model gedung (Tipe-1 dan Tipe-2) dengan tinjauan beban gempa respons spektrum lebih besar dibandingkan dengan simpangan struktur dengan tinjauan beban gempa statik ekuivalen.



Gambar 7. Grafik simpangan arah-X akibat beban gelombang (Suroso, 2019).



Gambar 8. Grafik simpangan arah-Y akibat beban gelombang (Suroso, 2019).

Hasil analisis pada Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan bahwa gedung Tipe-2 menghasilkan simpangan horisontal pada kedua arah utama bangunan yang lebih besar dibandingkan gedung Tipe-1. Hasil analisis mengindikasikan bahwa deformasi akibat beban gelombang terbesar terjadi berdasarkan arah gelombang yang datang membebani struktur yaitu dari arah-Y.

Kontrol Kekuatan Komponen Balok dan Kolom

Kontrol kekuatan komponen balok dan kolom dilakukan untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya-gaya dalam khususnya gaya geser dan momen lentur yang timbul pada balok akibat kombinasi beban maksimum berdasarkan peraturan beban SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). demikian pula untuk kolom, perlu dipastikan bahwa kapasitas tekan kolom harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya normal yang timbul pada kolom.

Hasil perhitungan cek kapasitas balok yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M' &= F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S = 38,73 \text{ kN.m} \\ M_U &= 31,92 \text{ kNm (balok dengan momen lentur terbesar)} \\ M' &> M_U; \text{ artinya kapasitas lentur balok aman dan kuat.} \\ V' &= F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d = 329,64 \text{ kN} \\ V_U &= 186,69 \text{ kN (balok dengan gaya geser terbesar)} \\ V' &> V_U; \text{ artinya kapasitas geser balok aman dan kuat.} \end{aligned}$$

Sedangkan hasil perhitungan cek kapasitas kolom yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P' &= F_c \times C_M \times C_i \times C_t \times C_P \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A \\ &= 296,86 \text{ kN} \\ P_U &= 128,84 \text{ kN} \\ P' &> P_U; \text{ artinya kapasitas tekan kolom aman dan kuat.} \end{aligned}$$

Pembahasan hasil analisis struktur secara umum, yaitu bahwa waktu getar struktur bangunan gedung Tipe-2 30,25% lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1. Hal ini memperlihatkan secara umum bahwa gedung Tipe-2 sambungan join balok-kolomnya tidak kaku, rotasi yang terjadi tidak nol (referensi pada Gambar 4), dalam hal ini merepresentasikan kondisi sambungan join balok-kolom kayu yang sebenarnya. Sistem pemodelan struktur tipe-2 juga memperlihatkan bahwa akibat beban gelombang, maka deformasi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1, sehingga tingkat/level kinerja struktur gedung Tipe-2 termasuk dalam kategori SP-2 berdasarkan ATC-40 (ATC, 1996) untuk arah-X sedangkan untuk arah-Y adalah SP-5. Deformasi bangunan gedung akibat beban gelombang menghasilkan nilai yang lebih besar berdasarkan dari arah gelombang datang sehingga sangat penting dalam perencanaan untuk mengevaluasi bangunan akibat beban gelombang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Pranata, 2019) memperlihatkan bahwa hasil pengujian empiris sambungan join balok-kolom (untuk pemodelan properti *link*) yaitu perilaku sambungan akibat beban dorong dan tarik berbeda, rotasi balok tidak nol sehingga sambungan tidak rigid, hal tersebut dapat terlihat berdasarkan trend grafik kurva envelope beban-deformasi yaitu pada Gambar 4. Beban lateral yaitu beban gelombang lebih dominan untuk studi kasus lokasi dimana bangunan gedung kayu berada dalam penelitian ini dibandingkan beban lateral gempa.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti link pada sambungan join balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar

dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti link memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan join balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan join tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

REFERENSI

- American Protolum Institute (2000). API Recommended Practice 2A-WSD 2000, American Protolum Institute.
- Applied Technology Council (1996). ATC 40 Part 1 and Part 2, Applied Technology Council.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan (2013). Atlas Kayu Indonesia Jilid IV 2013, Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air Dilaut, Oseana, Volume XXXI, Nomor 4, Tahun 2006 : pp 9-21 ISSN 0216-1877.
- Baba, A. (2014). Concept of Hydrodynamic Load Calculation on Fixed Jacket Offshore Structures - An Overview of Vertically Mounted Cylinder, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-03, Issue-03, pp-65-74, www.ajer.org e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012 Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedu Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 7973:2013 Spesifikasi Desain Konstruksi Kayu, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013b). SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya, Badan Standardisasi Nasional.
- Computer and Structures Inc. (2010), SAP2000 User Guide, Computer and Structures Inc., 1995 University Ave., Berkeley, CA 94704, USA.
- Haritos, N. (2007). Introduction to the Analysis and Design of Offshore Structures-An Overview, University of Melbourne, Australia.
- Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W., Schaaf, S.A. (1950). The force exerted by surface waves on piles. Trans. Am. Inst. Min. Engrs., 189 (1950), pp. 149-154.
- Pranata, Y.A. (2018). Laporan Akhir Pengujian Parsial Material Kayu Struktur Rumah Adat Tradisional Nias. Bandung.
- Pranata, Y.A. (2019). Laporan Pengujian Sambungan Join Balok-Kolom Kayu Rumah Tradisional Nias.
- Pranata, Y.A., Suryoatmono, B. (2019). Struktur Kayu, Penerbit PT Remaja Rosdakarya, Bandung, ISBN: 978-602-446-303-8.
- Rabung, F. (2014). Prediksi Gelombang Signifikan Sekitar Pantai Makassar Untuk Perencanaan Pembangunan Infrastruktur Pantai, Conference : Hasil Penelitian Teknologi Terapan Group Teknik Sipil, Engineering Faculty, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia, Prosiding Volume 8, ISBN : 978-979-17225-4-4.
- Suroso, F.A. (2019). Kinerja Struktur Bangunan Kayu Bertingkat Akibat Beban Gelombang, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung.

Commented [WU1]: Referensi yang dicantumkan pada daftar referensi ini adalah referensi yang di mention pada naskah. Sitasi atau referensi yang tidak masuk dalam tubuh naskah, agar tidak dituliskan dalam daftar reference.

Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang

Yosafat Aji Pranata^{1,*}, Fadlillah Ariani Suroso², Bernardinus Herbudiman²

¹ Program Studi Teknik Sipil; Universitas Kristen Maranatha; Jalan Suria Sumantri 65, Bandung, Indonesia. E-mail: yosafat.ap@gmail.com, yosafat.ap@eng.maranatha.edu.

² Program Studi Teknik Sipil; Institut Teknologi Nasional; Jalan PHH Mustopha 23, Bandung, Indonesia

* Korespondensi: e-mail: yosafat.ap@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa wilayah pesisir pantai di Indonesia memiliki resiko bencana tsunami moderat hingga berat, hal ini berkaitan dengan kondisi bahwa Indonesia terletak pada daerah rawan gempa. Pada saat ini terdapat banyak bangunan gedung yang berlokasi di pesisir pantai dengan sistem rumah panggung bertingkat rendah dengan sistem struktur utama yaitu balok dan kolom menggunakan material kayu. Desain struktur bangunan gedung antara lain mencakup proses evaluasi kinerja yaitu kekuatan, kekakuan hingga stabilitas struktur. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku evaluasi tingkat kinerja khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan lateral yaitu gelombang laut. Ruang lingkup penelitian yaitu bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom. Kolom berbentuk lingkaran dan balok mempunyai bentuk penampang persegi. Beban yang diperhitungkan ialah gravitasi dan lateral. Kekuatan yang dibahas adalah kapasitas lentur balok dan kapasitas tekan kolom. Untuk mendapatkan perilaku bangunan gedung yang mendekati kondisi riil, khususnya pada sambungan join balok-kolom, maka digunakan data sekunder yaitu data empiris kurva *envelope* beban-deformasi sambungan join balok-kolom hasil pengujian di laboratorium (dimodelkan sebagai properti *link*). Evaluasi kinerja struktur dimulai dengan analisis struktur dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000, untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan simpangan gedung. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti *link* pada sambungan join balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan join balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan join tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

Kata kunci: gedung, kayu, properti *link*, beban lateral, perilaku

ABSTRACT

Several coastal areas in Indonesia are at risk of moderate to high tsunami disasters, this is related to the condition that Indonesia is located in an earthquake high risk area. At this time there are many buildings located on the coast with a low-rise stilt house system with the main structural system, namely beams and columns using timber materials. The building structure design includes the performance evaluation process, namely strength, stiffness and structural stability. The purpose of this research is to study the evaluation behavior of performance levels, especially the strength and stiffness of low-rise timber buildings, namely the level of structural performance due to gravity and lateral loads, namely sea waves. The research scope is a three-story building with a beam and column frame structure system. Columns are circular and beams have a square cross section. The loads taken into account are gravity and lateral. The strengths discussed are the bending capacity of the beam and the compressive capacity of the column. In order to obtain building behavior that is closer to real conditions, especially in beam-column

Received: ...; Revised: ...; Accepted: ...; Available Online: ... (diisi oleh Tim Editor)

joints, secondary data is used, namely empirical data on the envelope load-deformation curve of the beam-column joint test results in the laboratory (modeled as link property). Evaluation of structural performance begins with structural analysis using SAP2000 software, to obtain internal forces and building drift. The results show that the use of link properties in beam-column joint joints in the timber building structures shows greater deformation results compared to rigid joint models, this indicates that modeling the structure with beam-column joint joints modeled as link property has an impact on building stiffness. Lower and represents the condition of a timber building with beam-column joint characteristics closer to the actual condition. The existence of a hole size in the column (to insert the beam) which is larger than the cross-sectional size of the beam results in the rotation of the joint not being zero and a slip occurs when the joint works to transmit internal forces.

Keywords: *building, timber, link properties, lateral load, behavior*

1. PENDAHULUAN

Bangunan kayu dengan sistem struktur utama *frame* balok dan kolom banyak dijumpai pada daerah khususnya lokasi pariwisata. Fungsi utama bangunan yaitu untuk kepentingan komersial seperti hotel, restoran, dan bangunan pendukung lokasi objek pariwisata tersebut. Salah satu tujuannya pemanfaatan material kayu lokal sebagai material bangunan. Beberapa lokasi wisata khususnya di pinggir pantai membuat konsep bangunan-bangunan kayu tersebut menggunakan sistem rumah bertingkat rendah dengan lantai dasar sebagai panggung dan lantai di atasnya berfungsi untuk aktivitas penghuninya.



Gambar 1. Gudang dan rumah kayu tipe panggung.

Rumah dengan konsep panggung pada daerah pesisir pantai perlu diperhatikan kekuatan, kekakuan, dan stabilitasnya terhadap adanya beban gelombang, yang bekerja sebagai beban lateral pada bangunan. Dengan adanya evaluasi kinerja struktur akibat beban lateral tersebut maka diharapkan dapat diketahui perilaku struktur akibat beban-beban yang bekerja sehingga dapat diketahui tingkat kinerjanya.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan beban lateral yaitu gelombang laut.

Ruang lingkup penelitian yaitu antara lain:

1. Bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom.
2. Kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm dan balok mempunyai bentuk penampang persegi dengan ukuran 250 mm x 250 mm.
3. Bangunan gedung dikenai beban gravitasi dan lateral. Pembebanan yang dilakukan meliputi beban mati, beban hidup, beban gelombang, dan beban gempa. Dalam penelitian ini beban gempa tidak dominan dan nilainya lebih rendah dibandingkan beban gelombang.
4. Perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010) menjadi alat bantu untuk simulasi analisis struktur.

5. Gelombang laut yang diperhitungkan merupakan gelombang laut akibat bangkitan oleh angin. Sedangkan gempa rencana yang digunakan yaitu statik ekuivalen dan respon spektrum.
6. Konstruksi rangka atap diperhitungkan terpisah dan dimodelkan sebagai beban gravitasi pada struktur bangunan gedung.
7. Bangunan gedung dimodelkan dengan dua tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan join balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019). Sedangkan tipe kedua sambungan join balok-kolom dimodelkan kaku.
8. Data sifat mekanika kayu yaitu Modulus Elastisitas dan Berat Jenis menggunakan data sekunder hasil penelitian Pranata (Pranata, 2018) dan Atlas Kayu Indonesia Jilid IV (PPPKK, 2013).
9. Perhitungan beban gravitasi mengikuti kaidah peraturan SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). Perhitungan beban gempa rencana mengikuti kaidah peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Perhitungan kapasitas kolom dan balok mengacu pada SNI 7973:2013 (BSN, 2013). Perhitungan beban gelombang mengacu pada API RP 2A-WSD (API, 2000) dan persamaan Morison (Morison dkk., 1950).

Beberapa penelitian terdahulu terkait pengaruh gelombang terhadap struktur bangunan telah dilakukan sebelumnya antara lain oleh Besperi dkk. (Besperi dkk., 2014) yaitu analisis struktur bangunan *breakwater* tegak terhadap beban gelombang dengan tujuan untuk mempelajari karakteristik gelombang yang terjadi dan mengetahui gelombang yang signifikan berdampak pada bangunan. Penelitian lain selanjutnya yaitu dampak gelombang terhadap struktur bangunan khususnya tiang pancang dermaga yang telah dipelajari oleh Septrosha dkk. (Septrosha dkk., 2015) yaitu mempelajari kelelahan tiang pancang akibat beban gelombang. Selanjutnya hasil penelitian berikutnya yaitu oleh Baskoro dkk. (Baskoro dkk., 2016) penelitian kerusakan bangunan pantai akibat pengaruh beban gelombang, dengan parameter-parameter yang dipelajari yaitu waktu terjadi dan nilai gelombang. Beberapa penelitian tersebut mengindikasikan bahwa beban gelombang sebagai beban lateral perlu diperhitungkan sebagai bagian dari komponen beban yang bekerja pada bangunan, karena hal ini berdampak pada kinerja kekuatan, kekakuan, maupun stabilitas struktur bangunan.

2. METODE PENELITIAN

Bangunan Kayu

Kayu diperoleh dari tumbuhan alami dan mempunyai keunggulan dan kelemahan. Kayu termasuk dalam kategori material ortotropik yaitu mempunyai tiga arah sumbu utama yang mana arah sumbu terkuat yaitu sumbu longitudinal kekakuan dan kekuatannya besar, kemudian kelemahannya adalah kayu relatif lemah dan lunak pada sumbu radial dan tangensial. Pohon mempunyai variasi alami berbeda-beda tergantung beberapa faktor luar antara lain jenis iklim, jenis tanah, faktor internal yaitu usia pohon.

Struktur bangunan kayu dengan konsep sistem struktur *frame*, komponen-komponen struktur utamanya adalah kolom dan balok. Jika mengacu pada persyaratan desain sesuai SNI 7973:2013 (BSN, 2013) maka komponen struktur kolom dapat direncanakan dengan metode Desain Faktor Beban Ketahanan (DFBK) maupun metode Desain Tegangan Ijin (DTI). Desain dalam hal ini adalah ukuran penampang kolom diperhitungkan berdasarkan pengaruh dari gaya dalam yang timbul pada kolom akibat beban-beban. Desain kolom memperhitungkan pula pengaruh kelangsingan kolom. Pada komponen struktur balok desain dapat menggunakan pula metode DFBK maupun DTI yaitu mencakup pemeriksaan terhadap persyaratan kekuatan lentur, kekuatan geser, lendutan balok, serta pengaruh kelangsingan balok.

Kapasitas lentur balok (M') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.a sebagai berikut,

$$M' = F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S \quad (1.a)$$

Kapasitas geser balok (V') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.b sebagai berikut,

$$V' = F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d \quad (1.b)$$

Kapasitas tekan kolom (P') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.c sebagai berikut,

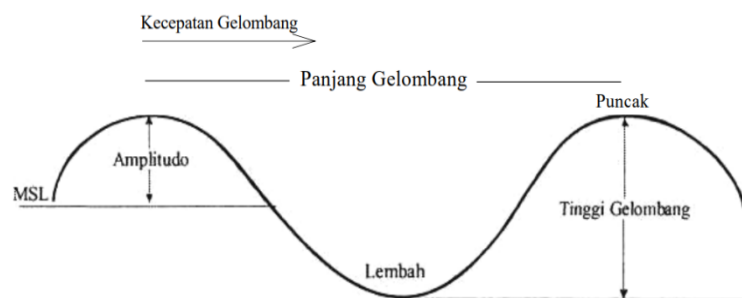
$$P' = F_C \times C_M \times C_i \times C_t \times C_F \times C_P \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A \quad (1.c)$$

dengan F_B^* adalah kapasitas lentur balok dikalikan seluruh faktor koreksi kecuali faktor stabilitas balok (C_L), S adalah modulus penampang elastik balok kayu, C_M adalah faktor layan basah, C_i adalah faktor tusuk untuk kayu dimensi, C_t adalah faktor temperatur, C_F adalah faktor ukuran untuk kayu gergajian, K_F adalah faktor konversi format, λ adalah faktor efek waktu, ϕ_v adalah faktor ketahanan geser, ϕ_c adalah faktor ketahanan tekan dan C_{fu} adalah faktor penggunaan rebah (BSN, 2013; Pranata dan Suryatmono, 2019).

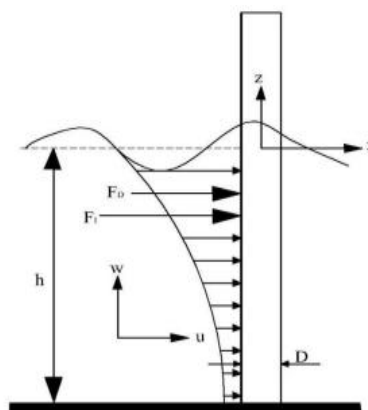
Beban Gelombang

Gelombang laut dipengaruhi oleh pembangkitnya, yaitu antara lain dibangkitkan oleh adanya angin yang mana dominan terjadi pada daerah terbuka seperti halnya di pesisir pantai. Menurut *Shore Protection Manual* (API, 2000) gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin mengandung energi yang paling besar. Artinya gelombang tersebut menimbulkan tekanan atau kerusakan yang paling berat terhadap bangunan gedung.

Air mengalami pergerakan turun dan naik yaitu arahnya tegak lurus serta membentuk pola grafik sinusoidal, dengan tiga parameter karakteristik gelombang yaitu panjang, periode dan tinggi gelombang (Asiz, 2006). Perhitungan beban gelombang selanjutnya dapat dilakukan dengan persamaan sinusoidal tersebut (Baba, 2014).



Gambar 2. Bentuk gelombang laut (Asiz, 2006).



Gambar 3. Beban gelombang (Haritos, 2007).

Kolom merupakan komponen struktur yang akan menerima beban gelombang karena struktur bangunan berada di area lepas pantai. Perhitungan gaya gelombang pada kolom dengan kondisi gelombang tidak pecah menggunakan Persamaan Morison (Morison dkk., 1950) yaitu

ditampilkan pada Persamaan 2.a. Persamaan Morison menggunakan beberapa parameter yaitu gaya gelombang (F_x) adalah gabungan dari gaya inersia dan gaya hambatan ($F_{i\max}$ dan $F_{d\max}$) yaitu seperti ditampilkan pada Persamaan 2.b dan Persamaan 2.c. Total gaya horisontal tersebut selanjutnya disebut beban yang bekerja pada kolom.

$$F_x = F_{d\max} \cos \omega t - F_{i\max} \sin \omega t \quad (2.a)$$

$$F_{d\max} = (1/16) \gamma_w g C_d D H^2 \{ \sinh(2kh) + 2kh \} / \sinh(2kh) \quad (2.b)$$

$$F_{i\max} = (\pi/8) \gamma_w g C_m D^2 H \{ \tanh(kh) \} \quad (2.c)$$

API (API, 2000) menyatakan bahwa untuk desain struktur lepas pantai, besar koefisien C_d dan C_m adalah seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter C_d dan C_m (API, 2000)

Keterangan	C_d	C_m
Halus	0,65	1,60
Kasar	1,05	1,20

Gempa Rencana

Gempa rencana, yaitu berupa gaya lateral pada bangunan dapat diperhitungkan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum berdasarkan SNI Gempa Indonesia yaitu SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Gaya geser dasar bangunan yang mana merupakan fungsi linier dari berat bangunan dihitung terlebih dahulu untuk selanjutnya dapat dihitung distribusi gaya lateral yang bekerja pada tiap lantai bangunan gedung. Gaya geser dasar nominal (BSN, 2012).

$$V > 0,85 V_{\text{statik}} \quad (3)$$

Respon spektrum adalah beban gempa yang diambil pada percepatan maksimum tanah dasar. Respon spektrum diambil adalah respon gempa di wilayah tertentu, mengacu pada ketentuan umum berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), sedangkan faktor keutamaan diambil sebesar $I_e = 1,0$ (bangunan komersial), hal ini sesuai terhadap kategori risiko struktur bangunan berada pada kategori risiko II. Selanjutnya koefisien modifikasi respon (R) mengikuti kaidah SNI 1726:2012 (BSN, 2012), dimana untuk analisis beban gempa gedung digunakan nilai R sebesar 3,50 sesuai dengan kategori untuk sistem rangka lainnya (diasumsikan dalam studi kasus penelitian ini adalah struktur bangunan kayu).

Evaluasi Kinerja Kekakuan Bangunan

Kinerja struktur bangunan gedung dalam konteks kekakuan struktur dapat diperhitungkan dan diprediksi berdasarkan besarnya simpangan horisontal pada taraf elevasi struktur atap/struktur gedung lantai paling atas dan diperhitungkan terhadap besarnya nilai batasan ijin. *Applied Technology Council* (ATC, 1996) mengklasifikasikan taraf kinerja bangunan gedung (komponen struktur bangunan) menjadi beberapa tingkat/level kinerja.

Bangunan dalam konteks ini adalah bangunan dengan masa layan 50 tahun. Tingkat/level kinerja yaitu SP-1 *Immediate Occupancy* (IO), SP-2 *Damage Control* (DC), SP-3 *Life Safety* (LS), SP-4 *Limited Safety*, SP-5 *Structural Stability* (SS), dan SP-6 *Not Considered* (NC).

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kinerja bangunan (ATC, 1996).

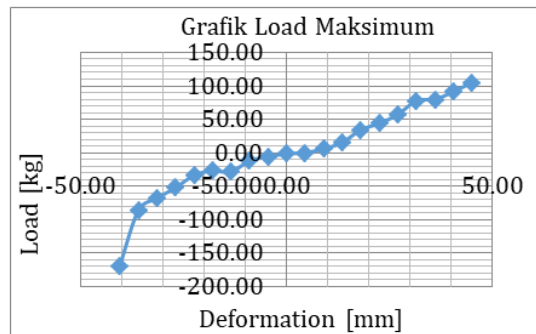
Simpangan antar lantai	SP-1	SP-2	SP-3	SP-5
Total simpangan maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan inelastik maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batas	Tidak ada batas

Secara umum untuk tingkat kinerja bangunan SP-4 bukan merupakan kategori utama karena berada pada rentang *Life Safety* dan *Structural Stability*, sedangkan kategori SP-6 bangunan telah mengalami kegagalan struktur secara berat sehingga tidak memungkinkan dilakukan perbaikan-perbaikan.

Kurva Envelope Beban-Deformasi Sambungan Balok-Kolom dan Sifat Mekanika Kayu

Dalam penelitian ini, pemodelan dan analisis struktur bangunan kayu menggunakan 2 (dua) tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan join balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019)). Sedangkan tipe kedua sambungan join balok-kolom dimodelkan kaku.

Untuk mendapatkan informasi terkait kurva kapasitas sambungan balok-kolom kayu maka diperlukan pengujian empiris di laboratorium, yaitu melalui pengujian siklik dengan cara memberikan pembebanan statik dua arah bolak-balik (Pranata, 2019). Pembebanan bolak-balik (siklik) akan menghasilkan kurva beban dengan simpangan bolak-balik yang disebut kurva histeresis. Kurva *Envelope* dibuat dari kurva hysteresis dengan mengambil nilai dari masing-masing beban puncak tiap siklus pembebanan, yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.



(a). Kurva *Envelope* beban vs deformasi lateral.



(b). Pengujian sambungan join balok-kolom di laboratorium.

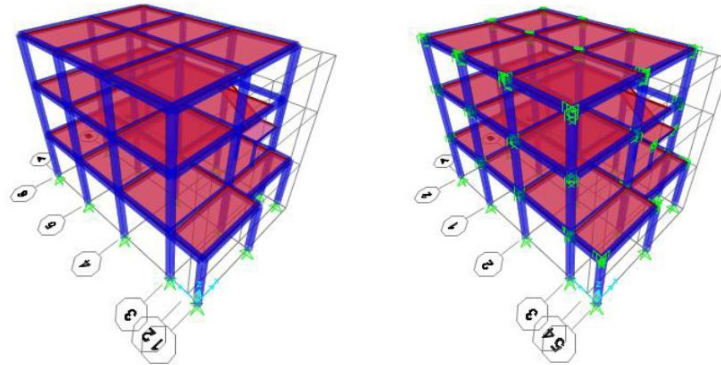
Gambar 4. Tinjauan literatur pengujian sambungan join balok-kolom kayu (Pranata, 2019).

Data sifat mekanika kayu yaitu modulus elastisitas kayu (E), berat jenis kayu, serta kekuatan lentur (F_b) diperoleh dari data sekunder hasil penelitian sebelumnya oleh Pranata (Pranata, 2018) yaitu E sebesar 13060,99 MPa (arah longitudinal atau sejajar serat kayu), berat jenis kayu 450 kg/m^3 , dan F_b sebesar 11,51 MPa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

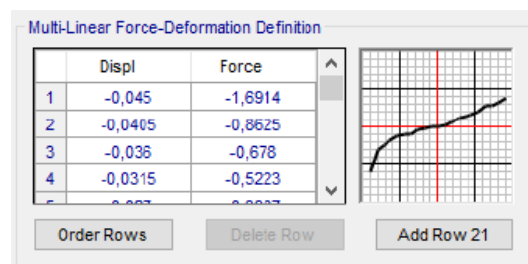
Struktur bangunan gedung kayu dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) lantai dengan sistem struktur *frame* yaitu balok dan kolom. Gambar 5 memperlihatkan skematik model 3D

bangunan. Pemodelan disajikan pada Gambar 5.a untuk pemodelan konvensional yaitu sambungan join balok-kolom kaku, dan Gambar 5.b untuk pemodelan sambungan join balok-kolom kayu dengan pemodelan properti *link*. Model properti *link* dibuat dengan pendekatan model kuva hubungan beban vs deformasi secara multilinier (Gambar 6) dengan data-data empiris yang telah diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya (data sekunder, yaitu data pada Gambar 4).



(a). Tipe-1 (sambungan kaku). (b). Tipe-2 (sambungan dengan properti *link*).

Gambar 5. Skematik model 3D bangunan gedung kayu (Suroso, 2019).



Gambar 6. Pemodelan kurva beban vs deformasi multi linier sebagai model properti *link* (Suroso, 2019).

Gambar 6 memperlihatkan bahwa model hubungan beban vs deformasi multilinier dipilih sebagai representasi pemodelan *link* untuk gedung kayu tipe-2. Secara umum berdasarkan bentuk dan tipologi sambungan join balok-kolom pada Gambar 4.b memperlihatkan bahwa kapasitas kekuatan (beban maksimum) dorong dan tarik hampir sama. Seluruh kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm. seluruh balok berbentuk penampang persegi dengan ukuran penampang 250 mm x 250 mm. Data untuk tinggi dan periode gelombang menggunakan data sekunder hasil penelitian terdahulu (Rabung, 2014) pada pantai di Makassar yaitu $H = 3$ meter dan $T = 9$ detik untuk elevasi permukaan air laut $h = 2,5$ meter. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan alat bantu perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010).

Struktur atap dalam hal ini seluruh beban yang bekerja pada atap (termasuk berat sendiri) diperhitungkan terpisah dan diaplikasikan pada bangunan sebagai beban-beban gravitasi. Beban gelombang diperhitungkan menggunakan Persamaan 2.a, Persamaan 2.b, dan Persamaan 2.c dan selanjutnya diaplikasikan sebagai beban horisontal yang bekerja pada masing-masing kolom pada bangunan tersebut (Suroso, 2019). Hasil analisis struktur yang ditinjau adalah kinerja kekuatan dan kekakuan struktur bangunan gedung.

Waktu Getar Struktur Bangunan

Periode fundamental struktur harus dibatasi untuk mengetahui struktur bangunan aman terhadap gempa. Periode getar struktur untuk model gedung Tipe-1 menghasilkan periode 0,34 detik dan pemodelan bangunan gedung Tipe-2 menghasilkan periode 0,49 detik. Hasil ini mengindikasikan bahwa gedung Tipe-2 yaitu sistem sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* lebih besar sebesar 30,25%, artinya bangunan lebih fleksibel. Hal ini terjadi

mengingat sambungan kayu kondisi sebenarnya adalah tidak kaku dikarenakan ukuran lubang pada kolom untuk menempatkan/memasukkan balok lebih besar daripada ukuran penampang balok, sehingga terjadi *slip* dan rotasi yang terjadi tidak nol, hal ini sesuai hasil penelitian empiris oleh Pranata (Pranata, 2019) yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.

Gaya Geser Dasar

Hasil analisis selanjutnya yang dapat diperoleh adalah gaya geser dasar bangunan gedung ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Secara umum baik bangunan gedung yang dihitung gaya gesernya berdasarkan analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum, gedung Tipe-1 dan Tipe-2 menghasilkan gaya geser yang tidak terlalu berbeda (%-beda berkisar 2,67 s.d. 7,06%). Perbedaan ini dapat terjadi dikarenakan volume kayu (berat) kayu yang lebih kecil untuk model gedung Tipe-2 khususnya pada bagian-bagian sambungan join balok-kolom.

Dari hasil kontrol gaya geser dasar dengan menggunakan Persamaan 4, dapat diperoleh hasil bahwa gaya geser dasar pada arah-X dan arah-Y telah memenuhi persyaratan sesuai SNI 1726:2012 (BSN, 2012) yaitu sebesar 85% gaya geser dasar statik ekuivalen, sehingga dalam hal ini tidak diperlukan pembesaran faktor pengali.

Tabel 3. Gaya Dasar Statik (Analisis Statik Ekuivalen) (Suroso, 2019).

Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	32,89	30,57	7,06
Arah-Y	32,89	30,57	7,06

Tabel 4. Gaya Geser Dasar Dinamik (Analisis Respons Spektrum) (Suroso, 2019).

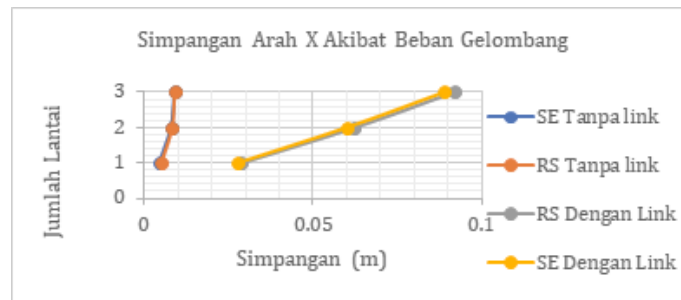
Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	52,37	50,97	2,67
Arah-Y	57,21	55,19	3,54

Berdasarkan hasil analisis yaitu ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 secara umum memberikan informasi bahwa Gedung dengan pemodelan Tipe-2, baik itu berdasarkan kajian analisis struktur dengan beban gempa diperhitungkan dengan metode analisis statik ekuivalen dan metode respons spektrum, gaya geser dasar yang diperoleh mempunyai trend yang lebih rendah dibandingkan pemodelan Tipe-1. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan disipasi energi khususnya pada bagian sambungan join balok kolom.

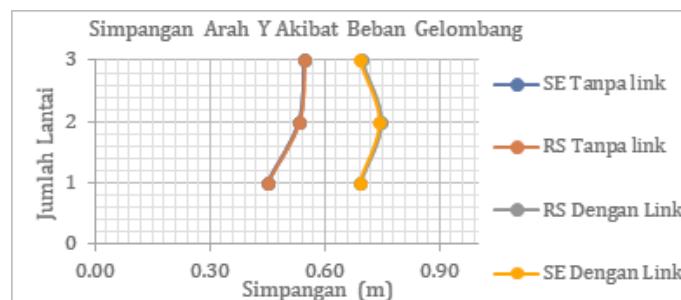
Simpangan Struktur

Selanjutnya dari analisis struktur akibat beban lateral diperoleh pula simpangan bangunan gedung untuk arah-X maupun arah-Y. simpangan tersebut selanjutnya ditinjau terdapat batasan ijin, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat/level kinerja struktur. Hasil dari analisis selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Simpangan struktur untuk model gedung (Tipe-1 dan Tipe-2) dengan tinjauan beban gempa respons spektrum lebih besar dibandingkan dengan simpangan struktur dengan tinjauan beban gempa statik ekuivalen.

Hasil analisis pada Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan bahwa gedung Tipe-2 menghasilkan simpangan horisontal pada kedua arah utama bangunan yang lebih besar dibandingkan gedung Tipe-1. Hasil analisis mengindikasikan bahwa deformasi akibat beban gelombang terbesar terjadi berdasarkan arah gelombang yang datang membebani struktur yaitu dari arah-Y.



Gambar 7. Grafik simpangan arah-X akibat beban gelombang (Suroso, 2019).



Gambar 8. Grafik simpangan arah-Y akibat beban gelombang (Suroso, 2019).

Kontrol Kekuatan Komponen Balok dan Kolom

Kontrol kekuatan komponen balok dan kolom dilakukan untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya-gaya dalam khususnya gaya geser dan momen lentur yang timbul pada balok akibat kombinasi beban maksimum berdasarkan peraturan beban SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). demikian pula untuk kolom, perlu dipastikan bahwa kapasitas tekan kolom harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya normal yang timbul pada kolom.

Hasil perhitungan cek kapasitas balok yaitu sebagai berikut:

$$M' = F_B * C_L * C_{fu} * S = 38,73 \text{ kN.m}$$

$$M_U = 31,92 \text{ kNm (balok dengan momen lentur terbesar)}$$

$$M' > M_U; \text{ artinya kapasitas lentur balok aman dan kuat.}$$

$$V' = F_v * C_M * C_i * C_t * K_F * \phi_v * \lambda * (2/3) * b * d = 329,64 \text{ kN}$$

$$V_U = 186,69 \text{ kN (balok dengan gaya geser terbesar)}$$

$$V' > V_U; \text{ artinya kapasitas geser balok aman dan kuat.}$$

Sedangkan hasil perhitungan cek kapasitas kolom yaitu sebagai berikut:

$$P' = F_C * C_M * C_i * C_t * C_P * K_F * \phi_c * \lambda * A$$

$$= 296,86 \text{ kN}$$

$$P_U = 128,84 \text{ kN}$$

$$P' > P_U; \text{ artinya kapasitas tekan kolom aman dan kuat.}$$

Pembahasan hasil analisis struktur secara umum, yaitu bahwa waktu getar struktur bangunan gedung Tipe-2 30,25% lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1. Hal ini memperlihatkan secara umum bahwa gedung Tipe-2 sambungan join balok-kolomnya tidak kaku, rotasi yang terjadi tidak nol (referensi pada Gambar 4), dalam hal ini merepresentasikan kondisi sambungan join balok-kolom kayu yang sebenarnya. Sistem pemodelan struktur tipe-2 juga

memperlihatkan bahwa akibat beban gelombang, maka deformasi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1, sehingga tingkat/level kinerja struktur gedung Tipe-2 termasuk dalam kategori SP-2 berdasarkan ATC-40 (ATC, 1996) untuk arah-X sedangkan untuk arah-Y adalah SP-5. Deformasi bangunan gedung akibat beban gelombang menghasilkan nilai yang lebih besar berdasarkan dari arah gelombang datang sehingga sangat penting dalam perencanaan untuk mengevaluasi bangunan akibat beban gelombang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Pranata, 2019) memperlihatkan bahwa hasil pengujian empiris sambungan join balok-kolom (untuk pemodelan properti *link*) yaitu perilaku sambungan akibat beban dorong dan tarik berbeda, rotasi balok tidak nol sehingga sambungan tidak rigid, hal tersebut dapat terlihat berdasarkan trend grafik kurva envelope beban-deformasi yaitu pada Gambar 4. Beban lateral yaitu beban gelombang lebih dominan untuk studi kasus lokasi dimana bangunan gedung kayu berada dalam penelitian ini dibandingkan beban lateral gempa.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti link pada sambungan join balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti link memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan join balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan join tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

REFERENSI

- American Prototeum Institute (2000). API Recommended Practice 2A-WSD 2000, American Prototeum Institute.
- Applied Technology Council (1996). ATC 40 Part 1 and Part 2, Applied Technology Council.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan (2013). Atlas Kayu Indonesia Jilid IV 2013, Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air Dilaut, Oseana, Volume XXXI, Nomor 4, Tahun 2006 : pp 9-21 ISSN 0216-1877.
- Baba, A. (2014). Concept of Hydrodynamic Load Calculation on Fixed Jacket Offshore Structures - An Overview of Vertically Mounted Cylinder, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-03, Issue-03, pp-65-74, www.ajer.org e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012 Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedu Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 7973:2013 Spesifikasi Desain Konstruksi Kayu, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013b). SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya, Badan Standardisasi Nasional.
- Baskoro, H., Atmodjo, W., Purwanto. (2016). Studi Pengaruh Gelombang Terhadap Kerusakan Bangunan Pantai Hybrid Engineering Di Desa Timbulsloko Demak, Jurnal Oseanografi Volume 5, Nomor 3, Tahun 2016, Halaman 340 – 348, <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>.
- Besperri, Gunawan A., Mawardi. (2014). Analisis Gelombang Terhadap Struktur Bangunan Breakwater Tegak Pantai Tapak Paderi Bengkulu, Jurnal Inersia Oktober 2014 Vol. 6 No.2, ISSN 2086-9045

- Computer and Structures Inc. (2010), SAP2000 User Guide, Computer and Structures Inc., 1995 University Ave., Berkeley, CA 94704, USA.
- Haritos, N. (2007). Introduction to the Analysis and Design of Offshore Structures-An Overview, University of Melbourne, Australia.
- Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W., Schaaf, S.A. (1950). The force exerted by surface waves on piles. Trans. Am. Inst. Min. Engrs., 189 (1950), pp. 149-154.
- Pranata, Y.A. (2018). Laporan Akhir Pengujian Parsial Material Kayu Struktur Rumah Adat Tradisional Nias. Bandung.
- Pranata, Y.A. (2019). Laporan Pengujian Sambungan Join Balok-Kolom Kayu Rumah Tradisional Nias.
- Pranata, Y.A., Suryoatmono, B. (2019). Struktur Kayu, Penerbit PT Remaja Rosdakarya, Bandung, ISBN: 978-602-446-303-8.
- Rabung, F. (2014). Prediksi Gelombang Signifikan Sekitar Pantai Makassar Untuk Perencanaan Pembangunan Infrastruktur Pantai, Conference : Hasil Penelitian Teknologi Terapan Group Teknik Sipil, Engineering Faculty, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia, Prosiding Volume 8, ISBN : 978-979-17225-4-4.
- Septrosha, K., Nelwan, V., Balamba, S., Sarayar, A.N. (2015). Analisis Kelelahan Struktur Pada Tiang Pancang Di Dermaga Belang Dengan Metode Fracture Mechanics, Jurnal Tekno Vol. 13 No. 63, Agustus 2015.
- Suroso, F.A. (2019). Kinerja Struktur Bangunan Kayu Bertingkat Akibat Beban Gelombang, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung.



BENTANG : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil
p-ISSN: 2302-5891, e-ISSN: 2579-3187. Email: bentang@unismabekasi.ac.id
Sekretariat: PRODI TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ISLAM 45, Jl. Cut Meutia No. 83 BEKASI
<http://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/bentang>

SURAT KETERANGAN

IDENTITAS PENULIS

Nama Penulis 1 : **Yosafat Aji Pranata**
Afiliasi Penulis 1 : Program Studi Teknik Sipil; Universitas Kristen Maranatha; Jalan Suria Sumantri 65, Bandung, Indonesia

Nama Penulis 2 : **Fadlillah Ariani Suroso**
Afiliasi Penulis 2 : Program Studi Teknik Sipil; Institut Teknologi Nasional; Jalan PHH Mustopha 23, Bandung, Indonesia

Nama Penulis 3 : **Bernardinus Herbudiman**
Afiliasi Penulis 3 : Program Studi Teknik Sipil; Institut Teknologi Nasional; Jalan PHH Mustopha 23, Bandung, Indonesia

Korespondensi Email : yosafat.ap@gmail.com

JUDUL NASKAH:

Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang

KETERANGAN:

Berdasarkan Hasil Review, naskah berjudul tersebut dengan identitas penulis tertera, dinyatakan **DITERIMA**, dan akan diterbitkan di *BENTANG : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* Vol. 9 No. 1, Januari 2021. p-ISSN: 2302-5891, e-ISSN: 2579-3187.

<http://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/bentang>

Demikian Surat Keterangan ini kami sampaikan.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



H. Sugeng, S.T., M.T.

Bekasi, 08 September 2020
Ketua Redaksi Jurnal BENTANG

Anita Setyowati Srie Gunarti, S.T., M.T.



FORM EVALUASI NASKAH JURNAL BENTANG Vol 9 No 1 Januari 2021

Reviewer 1 (Double Blind)

Bidang Penilaian: Substansi Artikel

NO.	KOMPONEN PENILAIAN Review	KOMENTAR PEMERIKSAAN
1.	Judul Artikel Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang	<i>Komentar: Judul sudah sesuai standar penulisan judul dari segi jumlah kata dan unsur</i>
2.	Abstrak dan Kata kunci	<i>Abstrak cukup Jelas, terdapat masalah, tujuan, metode, hasil, dan kata kunci.</i>
3.	Kecukupan State of The Art Overview (min ref 10 thn terakhir) Penelitian/Artikel Jurnal Sebelumnya	<i>Referensi cukup (yang digunakan 10 tahun terakhir)</i>
4.	Jelas dan Tidaknya Gap Analysis (justifikasi mengapa riset ini perlu dilakukan dan apa keunikan paper ini dibanding paper2 sebelumnya?)	<i>Tambahkan referensi/sitasi penelitian yang serupa (relevan) pada pendahuluan untuk memunculkan state of art naskah</i>
5.	Jelas dan Tidaknya Tujuan Penelitian atau hipotesis	<i>tujuan penelitian berisi cukup jelas</i>
6.	Jelas dan tidaknya Penulisan Metode Penelitian	<i>Materi dan Metode penelitian cukup jelas disampaikan. Tidak perlu penulisan keterangan di bawah tabel untuk penelitian yang dilakukan sendiri. (jika tabel tersebut milik sendiri maka tidak perlu dicantumkan sumbernya) (contoh: Sumber:Hasil penelitian)</i>
7.	Apakah Hasil dan Pembahasan ditulis secara jelas dan memenuhi aspek scientific merit (unsur what/how?, why?, dan what else?)	<i>Memenuhi semua aspek</i>
8.	Adakah perbandingan dengan hasil-hasil penelitian orang lain di Pembahasan?	<i>Ada. Cukup</i>
9.	Apakah Kesimpulan cukup menjawab Tujuan Penelitian?	<i>Cukup</i>
10.	Penulisan Daftar Pustaka (konsistensi dan benar-tidaknya; minimum 15 daftar pustaka; dan usahakan sebagian besar dari jurnal ilmiah)	<i>Kebaruan pustaka cukup update 10 tahun terakhir, namun Referensi yang dicantumkan pada daftar referensi ini seharusnya adalah referensi yang di mention pada naskah. Sitasi atau referensi yang tidak masuk dalam tubuh naskah, agar tidak dituliskan dalam daftar reference.</i>
11.	Komentar Lainnya:	<i>Minor Revisi, Hasil cek similarity: 6% < 20% (memenuhi standar publikasi)</i>

Naskah Yosafat

by irwanraharja 00

Submission date: 08-Sep-2020 03:24AM (UTC-0400)

Submission ID: 1381852696

File name: 4_Naskah_Aslu_Yoserifat_untuk_cek_Turnitin.docx (1.1M)

Word count: 3398

Character count: 20898

Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang

Yosafat Aji Pranata^{1,5}, Fadlillah Ariani Suroso², Bernardinus Herbudiman³

¹ Program Studi Teknik Sipil; Universitas Kristen Maranatha; Jalan Suria Sumantri 65, Bandung 40164; e-mail: yosafat.ap@gmail.com, yosafat.ap@eng.maranatha.edu.

^{2,3} Program Studi Teknik Sipil; Institut Teknologi Nasional; Jalan PHH Mustopha 23, Bandung 40124

* Korespondensi: e-mail: yosafat.ap@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa wilayah pesisir pantai di Indonesia memiliki resiko bencana tsunami moderat hingga berat, hal ini berkaitan dengan kondisi bahwa Indonesia terletak pada daerah rawan gempa. Pada saat ini terdapat banyak bangunan gedung yang berlokasi di pesisir pantai dengan sistem rumah panggung bertingkat rendah dengan sistem struktur utama yaitu balok dan kolom menggunakan material kayu. Desain struktur bangunan gedung antara lain mencakup proses evaluasi kinerja yaitu kekuatan, kekakuan hingga stabilitas struktur. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku evaluasi tingkat kinerja khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan lateral yaitu gelombang laut. Ruang lingkup penelitian yaitu bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom. Kolom berbentuk lingkaran dan balok mempunyai bentuk penampang persegi. Beban yang diperhitungkan ialah gravitasi dan lateral. Kekuatan yang dibahas adalah kapasitas lentur balok dan kapasitas tekan kolom. Untuk mendapatkan perilaku bangunan gedung yang mendekati kondisi riil, khususnya pada sambungan join balok-kolom, maka digunakan data sekunder yaitu data empiris kurva *envelope* beban-deformasi sambungan join balok-kolom hasil pengujian di laboratorium (dimodelkan sebagai properti *link*). Evaluasi kinerja struktur dimulai dengan analisis struktur dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000, untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan simpangan gedung. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti *link* pada sambungan join balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan join balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan join tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

Kata kunci: gedung, kayu, properti *link*, beban lateral, perilaku

ABSTRACT

Several coastal areas in Indonesia are at risk of moderate to high tsunami disasters, this is related to the condition that Indonesia is located in an earthquake high risk area. At this time there are many buildings located on the coast with a low-rise stilt house system with the main structural system, namely beams and columns using timber materials. The building structure design includes the performance evaluation process, namely strength, stiffness and structural stability. The purpose of this research is to study the evaluation behavior of performance levels, especially the strength and stiffness of low-rise timber buildings, namely the level of structural performance due to gravity and lateral loads, namely sea waves. The research scope is a three-story building with a beam and column frame structure system. Columns are circular and beams have a square cross section. The loads taken into account are gravity and lateral. The strengths discussed are the bending capacity of the beam and the compressive capacity of the

Received: ...; Revised: ...; Accepted: ...; Available Online: ... (diisi oleh Tim Editor)

column. In order to obtain building behavior that is closer to real conditions, especially in beam-column joints, secondary data is used, namely empirical data on the envelope load-deformation curve of the beam-column joint test results in the laboratory (modeled as link property). Evaluation of structural performance begins with structural analysis using SAP2000 software, to obtain internal forces and building drift. The results show that the use of link properties in beam-column joint joints in the timber building structures shows greater deformation results compared to rigid joint models, this indicates that modeling the structure with beam-column joint joints modeled as link property has an impact on building stiffness. Lower and represents the condition of a timber building with beam-column joint characteristics closer to the actual condition. The existence of a hole size in the column (to insert the beam) which is larger than the cross-sectional size of the beam results in the rotation of the joint not being zero and a slip occurs when the joint works to transmit internal forces.

Keywords: building, timber, link properties, lateral load, behavior

1. PENDAHULUAN

Bangunan kayu dengan sistem struktur utama *frame* balok dan kolom banyak dijumpai pada daerah khususnya lokasi pariwisata. Fungsi utama bangunan yaitu untuk kepentingan komersial seperti hotel, restoran, dan bangunan pendukung lokasi objek pariwisata tersebut. Salah satu tujuannya pemanfaatan material kayu lokal sebagai material bangunan. Beberapa lokasi wisata khususnya di pinggir pantai membuat konsep bangunan-bangunan kayu tersebut menggunakan sistem rumah bertingkat rendah dengan lantai dasar sebagai panggung dan lantai di atasnya berfungsi untuk aktivitas penghuninya.



Gambar 1. Gudang dan rumah kayu tipe panggung (dokumentasi pribadi).

Rumah dengan konsep panggung pada daerah pesisir pantai perlu diperhatikan kekuatan, kekakuan, dan stabilitasnya terhadap adanya beban gelombang, yang bekerja sebagai beban lateral pada bangunan. Dengan adanya evaluasi kinerja struktur akibat beban lateral tersebut maka diharapkan dapat diketahui perilaku struktur akibat beban-beban yang bekerja sehingga dapat diketahui tingkat kinerjanya.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan beban lateral yaitu gelombang laut.

Ruang lingkup penelitian yaitu antara lain:

1. Bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom.
2. Kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm dan balok mempunyai bentuk penampang persegi dengan ukuran 250 mm x 250 mm.
3. Bangunan gedung dikenai beban gravitasi dan lateral. Pembebanan yang dilakukan meliputi beban mati, beban hidup, beban gelombang, dan beban gempa. Dalam penelitian ini beban gempa tidak dominan dan nilainya lebih rendah dibandingkan beban gelombang.
4. Perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010) menjadi alat bantu untuk simulasi analisis struktur.

5. Gelombang laut yang diperhitungkan merupakan gelombang laut akibat bangkitan oleh angin. Sedangkan gempa rencana yang digunakan yaitu statik ekuivalen dan respon spektrum.
6. Konstruksi rangka atap diperhitungkan terpisah dan dimodelkan sebagai beban gravitasi pada struktur bangunan gedung.
7. Bangunan gedung dimodelkan dengan dua tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan join balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019). Sedangkan tipe kedua sambungan join balok-kolom dimodelkan kaku.
8. Data sifat mekanika kayu yaitu Modulus Elastisitas dan Berat Jenis menggunakan data sekunder hasil penelitian Pranata (Pranata, 2018) dan Atlas Kayu Indonesia Jilid IV (PPPKK, 2013).
9. Perhitungan beban gravitasi mengikuti kaidah peraturan SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). Perhitungan beban gempa rencana mengikuti kaidah peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Perhitungan kapasitas kolom dan balok mengacu pada SNI 7973:2013 (BSN, 2013). Perhitungan beban gelombang mengacu pada API RP 2A-WSD (API, 2000) dan persamaan Morison (Morison dkk., 1950).

2. METODE PENELITIAN

Bangunan Kayu

Kayu diperoleh dari tumbuhan alami dan mempunyai keunggulan dan kelemahan. Kayu termasuk dalam kategori material ortotropik yaitu mempunyai tiga arah sumbu utama yang mana arah sumbu terkuat yaitu sumbu longitudinal kekakuan dan kekuatannya besar, kemudian kelemahannya adalah kayu relatif lemah dan lunak pada sumbu radial dan tangensial. Pohon mempunyai variasi alami berbeda-beda tergantung beberapa faktor luar antara lain jenis iklim, jenis tanah, faktor internal yaitu usia pohon.

Struktur bangunan kayu dengan konsep sistem struktur *frame*, komponen-komponen struktur utamanya adalah kolom dan balok. Jika mengacu pada persyaratan desain sesuai SNI 7973:2013 (BSN, 2013) maka komponen struktur kolom dapat direncanakan dengan metode Desain Faktor Beban Ketahanan (DFBK) maupun metode Desain Tegangan Ijin (DTI). Desain dalam hal ini adalah ukuran penampang kolom diperhitungkan berdasarkan pengaruh dari gaya dalam yang timbul pada kolom akibat beban-beban. Desain kolom memperhitungkan pula pengaruh kelangsingan kolom. Pada komponen struktur balok desain dapat menggunakan pula metode DFBK maupun DTI yaitu mencakup pemeriksaan terhadap persyaratan kekuatan lentur, kekuatan geser, lendutan balok, serta pengaruh kelangsingan balok.

Kapasitas lentur balok (M') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.a sebagai berikut,

$$M' = F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S \quad (1.a)$$

Kapasitas geser balok (V') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.b sebagai berikut,

$$V' = F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d \quad (1.b)$$

Kapasitas tekan kolom (P') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.c sebagai berikut,

$$P' = F_C \times C_M \times C_i \times C_t \times C_F \times C_P \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A \quad (1.c)$$

dengan F_B^* adalah kapasitas lentur balok dikalikan seluruh faktor koreksi kecuali faktor stabilitas balok (C_L), S adalah modulus penampang elastik balok kayu, C_M adalah faktor layan basah, C_i adalah faktor tusuk untuk kayu dimensi, C_t adalah faktor temperatur, C_F adalah faktor ukuran untuk kayu gergajian, K_F adalah faktor konversi format, λ adalah faktor efek waktu, ϕ_v adalah faktor ketahanan geser, ϕ_c adalah faktor ketahanan tekan dan C_{fu} adalah faktor penggunaan rebah (BSN, 2013; Pranata dan Suryoatmono, 2019).

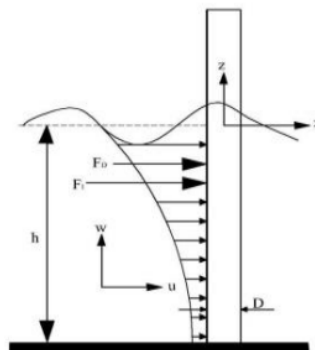
Beban Gelombang

Gelombang laut dipengaruhi oleh pembangkitnya, yaitu antara lain dibangkitkan oleh adanya angin yang mana dominan terjadi pada daerah terbuka seperti halnya di pesisir pantai. Menurut *Shore Protection Manual* (API, 2000) gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin mengandung energi yang paling besar. Artinya gelombang tersebut menimbulkan tekanan atau kerusakan yang paling berat terhadap bangunan gedung.

Air mengalami pergerakan turun dan naik yaitu arahnya tegak lurus serta membentuk pola grafik sinusoidal, dengan tiga parameter karakteristik gelombang yaitu panjang, periode dan tinggi gelombang (Asiz, 2006). Perhitungan beban gelombang selanjutnya dapat dilakukan dengan persamaan sinusoidal tersebut (Baba, 2014).



Gambar 2. Bentuk gelombang laut (Asiz, 2006).



Gambar 3. Beban gelombang (Haritos, 2007).

Kolom merupakan komponen struktur yang akan menerima beban gelombang karena struktur bangunan berada di area lepas pantai. Perhitungan gaya gelombang pada kolom dengan kondisi gelombang tidak pecah menggunakan Persamaan Morison (Morison dkk., 1950) yaitu ditampilkan pada Persamaan 2.a. Persamaan Morison menggunakan beberapa parameter yaitu gaya gelombang (F_x) adalah gabungan dari gaya inersia dan gaya hambatan (F_{imax} dan F_{dmax}) yaitu seperti ditampilkan pada Persamaan 2.b dan Persamaan 2.c. Total gaya horisontal tersebut selanjutnya disebut beban yang bekerja pada kolom.

$$F_x = F_{dmax} \cos \omega t - F_{imax} \sin \omega t \quad (2.a)$$

$$F_{dmax} = (1/16) \gamma_w g C_d D H^2 \{ \sinh(2kh) + 2kh \} / \sinh(2kh) \quad (2.b)$$

$$F_{imax} = (\pi/8) \gamma_w g C_m D^2 H \{ \tanh(kh) \} \quad (2.c)$$

API (API, 2000) menyatakan bahwa untuk desain struktur lepas pantai, besar koefisien C_d dan C_m adalah seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter C_d dan C_m (API, 2000)

Keterangan	C_d	C_m
Halus	0,65	1,60
Kasar	1,05	1,20

Gempa Rencana

Gempa rencan⁶, yaitu berupa gaya lateral pada bangunan dapat diperhitungkan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum berdasarkan SNI Gempa Indonesia yaitu SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Gaya geser dasar bangunan yang mana merupakan fungsi linier dari berat bangunan dihitung terlebih dahulu untuk selanjutnya dapat dihitung distribusi gaya lateral yang bekerja pada tiap lantai bangunan gedung. Gaya geser dasar nominal (BSN, 2012).

$$V > 0,85 V_{\text{statik}} \quad (3)$$

Respon spektrum adalah beban gempa yang diambil pada percepatan maksimum tanah dasar. Respon spektrum diambil adalah respon gempa di wilayah tertentu, mengacu pada ketentuan umum berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), sedangkan faktor keutamaan diambil sebesar $I_e = 1,0$ (bangunan komersial), hal ini sesuai terhadap kategori risiko struktur bangunan berada pada kategori risiko II. Selanjutnya koefisien modifikasi respon (R) mengikuti kaidah SNI 1726:2012 (BSN, 2012), dimana untuk analisis beban gempa gedung digunakan nilai R sebesar 3,50 sesuai dengan kategori untuk sistem rangka lainnya (diasumsikan dalam studi kasus penelitian ini adalah struktur bangunan kayu).

Evaluasi Kinerja Kekakuan Bangunan

Kinerja struktur bangunan gedung dalam konteks kekakuan struktur dapat diperhitungkan dan diprediksi berdasarkan besarnya simpangan horisontal pada taraf elevasi struktur atap/struktur gedung lantai paling atas dan diperhitungkan terhadap besarnya nilai batasan ijin. *Applied Technology Council* (ATC, 1996) mengklasifikasikan taraf kinerja bangunan gedung (komponen struktur bangunan) menjadi beberapa tingkat/level kinerja.

Bangun² dalam konteks ini adalah bangunan dengan masa layan 50 tahun. Tingkat/level kinerja yaitu SP-1 *Immediate Occupancy* (IO), SP-2 *Damage Control* (DC), SP-3 *Life Safety* (LS), SP-4 *Limited Safety*, SP-5 *Structural Stability* (SS), dan SP-6 *Not Considered* (NC).

Tabel 2. Klas¹¹asi tingkat kinerja bangunan (ATC, 1996).

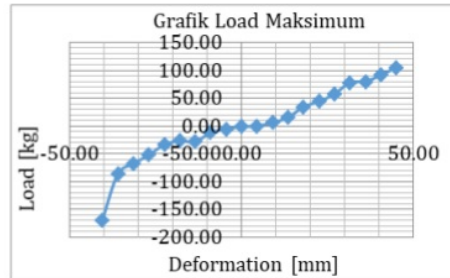
Simpangan antar lantai	SP-1	SP-2	SP-3	SP-5
Total simpangan maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i/P_i$
Simpangan inelastik maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batas	Tidak ada batas

Secara umum untuk tingkat kinerja bangunan SP-4 bukan merupakan kategori utama karena berada pada rentang *Life Safety* dan *Structural Stability*, sedangkan kategori SP-6 bangunan telah mengalami kegagalan struktur secara berat sehingga tidak memungkinkan dilakukan perbaikan-perbaikan.

Kurva Envelope Beban-Deformasi Sambungan Balok-Kolom dan Sifat Mekanika Kayu

Dalam penelitian ini, pemodelan dan analisis struktur bangunan kayu menggunakan 2 (dua) tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan join balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019). Sedangkan tipe kedua sambungan join balok-kolom dimodelkan kaku.

Untuk mendapatkan informasi terkait kurva kapasitas sambungan balok-kolom kayu maka diperlukan pengujian empiris di laboratorium, yaitu melalui pengujian siklik dengan cara memberikan pembebanan statik dua arah bolak-balik (Pranata, 2019). Pembebanan bolak-balik (siklik) akan menghasilkan kurva beban dengan simpangan bolak-balik yang disebut kurva histeresis. Kurva *Envelope* dibuat dari kurva hysteresis dengan mengambil nilai dari masing-masing beban puncak tiap siklus pembebanan, yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.



(a). Kurva *Envelope* beban vs deformasi lateral.



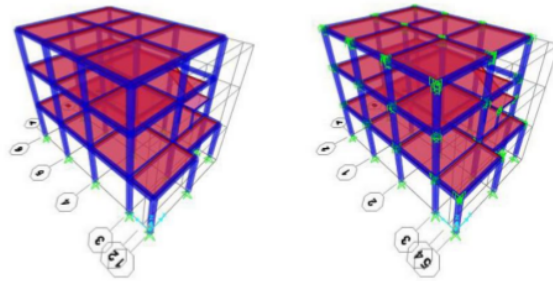
(b). Pengujian sambungan join balok-kolom di laboratorium.

Gambar 4. Tinjauan literature pengujian sambungan join balok-kolom kayu (Pranata, 2019).

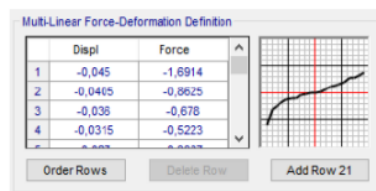
Data sifat mekanika kayu yaitu modulus elastisitas kayu (E), berat jenis kayu, serta kekuatan lentur (F_b) diperoleh dari data sekunder hasil penelitian sebelumnya oleh Pranata (Pranata, 2018) yaitu E sebesar 13060,99 MPa (arah longitudinal atau sejajar serat kayu), berat jenis kayu 450 kg/m^3 , dan F_b sebesar 11,51 MPa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur bangunan gedung kayu dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) lantai dengan sistem struktur *frame* yaitu balok dan kolom. Gambar 5 memperlihatkan skematik model 3D bangunan. Pemodelan disajikan pada Gambar 5.a untuk pemodelan konvensional yaitu sambungan join balok-kolom kaku, dan Gambar 5.b untuk pemodelan sambungan join balok-kolom kayu dengan pemodelan properti *link*. Model properti *link* dibuat dengan pendekatan model kuva hubungan beban vs deformasi secara multilinier (Gambar 6) dengan data-data empiris yang telah diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya (data sekunder, yaitu data pada Gambar 4).



(a). Tipe-1 (sambungan kaku). (b). Tipe-2 (sambungan dengan properti *link*).
Gambar 5. Skematik model 3D bangunan gedung kayu (Suroso, 2019).



Gambar 6. Pemodelan kurva beban vs deformasi multi linier sebagai model properti *link* (Suroso, 2019).

Seluruh kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm. seluruh balok berbentuk penampang persegi dengan ukuran penampang 250 mm x 250 mm. Data untuk tinggi dan periode gelombang menggunakan data sekunder hasil penelitian terdahulu (Rabung, 2014) pada pantai di Makassar yaitu $H = 3$ meter dan $T = 9$ detik untuk elevasi permukaan air laut $h = 2,5$ meter. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan alat bantu perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010).

Struktur atap dalam hal ini seluruh beban yang bekerja pada atap (termasuk berat sendiri) diperhitungkan terpisah dan diaplikasikan pada bangunan sebagai beban-beban gravitasi. Beban gelombang diperhitungkan menggunakan Persamaan 2.a, Persamaan 2.b, dan Persamaan 2.c dan selanjutnya diaplikasikan sebagai beban horisontal yang bekerja pada masing-masing kolom pada bangunan tersebut (Suroso, 2019). Hasil analisis struktur yang ditinjau adalah kinerja kekuatan dan kekakuan struktur bangunan gedung.

Waktu Getar Struktur Bangunan

Periode fundamental struktur harus dibatasi untuk mengetahui struktur bangunan aman terhadap gempa. Periode getar struktur untuk model gedung Tipe-1 menghasilkan periode 0,34 detik dan pemodelan bangunan gedung Tipe-2 menghasilkan periode 0,49 detik. Hasil ini mengindikasikan bahwa gedung Tipe-2 yaitu sistem sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* lebih besar sebesar 30,25%, artinya bangunan lebih fleksibel. Hal ini terjadi mengingat sambungan kayu kondisi sebenarnya adalah tidak kaku dikarenakan ukuran lubang pada kolom untuk menempatkan/memasukkan balok lebih besar daripada ukuran penampang balok, sehingga terjadi *slip* dan rotasi yang terjadi tidak nol, hal ini sesuai hasil penelitian empiris oleh Pranata (Pranata, 2019) yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.

Gaya Geser Dasar

Hasil analisis selanjutnya yang dapat diperoleh adalah gaya geser dasar bangunan gedung ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Secara umum baik bangunan gedung yang dihitung gaya gesernya berdasarkan analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum, gedung Tipe-1 dan Tipe-2 menghasilkan gaya geser yang tidak terlalu berbeda (%-beda berkisar 2,67 s.d. 7,06%).

Perbedaan ini dapat terjadi dikarenakan volume kayu (berat) kayu yang lebih kecil untuk model gedung Tipe-2 khususnya pada bagian-bagian sambungan join balok-kolom.

Dari hasil kontrol gaya geser dasar dengan menggunakan Persamaan 4, dapat diperoleh hasil bahwa gaya geser dasar pada arah-X dan arah-Y telah memenuhi persyaratan sesuai SNI 1726:2012 (BSN, 2012) yaitu sebesar 85% gaya geser dasar statik ekuivalen, sehingga dalam hal ini tidak diperlukan pembesaran faktor pengali.

Tabel 3. Gaya Dasar Statik (Analisis Statik Ekuivalen) (Suroso, 2019).

Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	32,89	30,57	7,06
Arah-Y	32,89	30,57	7,06

Tabel 4. Gaya Geser Dasar Dinamik (Analisis Respons Spektrum) (Suroso, 2019).

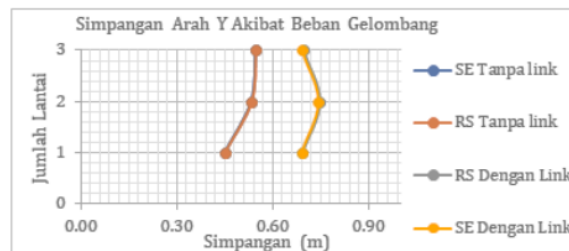
Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	52,37	50,97	2,67
Arah-Y	57,21	55,19	3,54

Simpangan Struktur

Selanjutnya dari analisis struktur akibat beban lateral diperoleh pula simpangan bangunan gedung untuk arah-X maupun arah-Y. simpangan tersebut selanjutnya ditinjau terdapat batasan ijin, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat/level kinerja struktur. Hasil dari analisis selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Simpangan struktur untuk model gedung (Tipe-1 dan Tipe-2) dengan tinjauan beban gempa respons spektrum lebih besar dibandingkan dengan simpangan struktur dengan tinjauan beban gempa statik ekuivalen.



Gambar 7. Grafik simpangan arah-X akibat beban gelombang (Suroso, 2019).



Gambar 8. Grafik simpangan arah-Y akibat beban gelombang (Suroso, 2019).

Hasil analisis pada Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan bahwa gedung Tipe-2 menghasilkan simpangan horizontal pada kedua arah utama bangunan yang lebih besar dibandingkan gedung Tipe-1. Hasil analisis mengindikasikan bahwa deformasi akibat beban gelombang terbesar terjadi berdasarkan arah gelombang yang datang membebani struktur yaitu dari arah-Y.

Kontrol Kekuatan Komponen Balok dan Kolom

Kontrol kekuatan komponen balok dan kolom dilakukan untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya-gaya dalam khususnya gaya geser dan momen lentur yang timbul pada balok akibat kombinasi beban maksimum berdasarkan peraturan beban SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). demikian pula untuk kolom, perlu dipastikan bahwa kapasitas tekan kolom harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya normal yang timbul pada kolom.

Hasil perhitungan cek kapasitas balok yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M' &= F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S = 38,73 \text{ kN.m} \\ M_U &= 31,92 \text{ kNm (balok dengan momen lentur terbesar)} \\ M' &> M_U; \text{ artinya kapasitas lentur balok aman dan kuat.} \\ V' &= F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d = 329,64 \text{ kN} \\ V_U &= 186,69 \text{ kN (balok dengan gaya geser terbesar)} \\ V' &> V_U; \text{ artinya kapasitas geser balok aman dan kuat.} \end{aligned}$$

Sedangkan hasil perhitungan cek kapasitas kolom yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P' &= F_c \times C_M \times C_i \times C_t \times C_p \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A \\ &= 296,86 \text{ kN} \\ P_U &= 128,84 \text{ kN} \\ P' &> P_U; \text{ artinya kapasitas tekan kolom aman dan kuat.} \end{aligned}$$

Pembahasan hasil analisis struktur secara umum, yaitu bahwa waktu getar struktur bangunan gedung Tipe-2 30,25% lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1. Hal ini memperlihatkan secara umum bahwa gedung Tipe-2 sambungan join balok-kolomnya tidak kaku, rotasi yang terjadi tidak nol (referensi pada Gambar 4), dalam hal ini merepresentasikan kondisi sambungan join balok-kolom kayu yang sebenarnya. Sistem pemodelan struktur tipe-2 juga memperlihatkan bahwa akibat beban gelombang, maka deformasi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1, sehingga tingkat/level kinerja struktur gedung Tipe-2 termasuk dalam kategori SP-2 berdasarkan ATC-40 (ATC, 1996) untuk arah-X sedangkan untuk arah-Y adalah SP-5. Deformasi bangunan gedung akibat beban gelombang menghasilkan nilai yang lebih besar berdasarkan dari arah gelombang datang sehingga sangat penting dalam perencanaan untuk mengevaluasi bangunan akibat beban gelombang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Pranata, 2019) memperlihatkan bahwa hasil pengujian empiris sambungan join balok-kolom (untuk pemodelan properti *link*) yaitu perilaku sambungan akibat beban dorong dan tarik berbeda, rotasi balok tidak nol sehingga sambungan tidak rigid, hal tersebut dapat terlihat berdasarkan trend grafik kurva envelope beban-deformasi yaitu pada Gambar 4. Beban lateral yaitu beban gelombang lebih dominan untuk studi kasus lokasi dimana bangunan gedung kayu berada dalam penelitian ini dibandingkan beban lateral gempa.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti link pada sambungan join balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar

dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan join balok-kolom dimodelkan sebagai properti link memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan join balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan join tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

Naskah Yosafat

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jurnal.unismabekasi.ac.id Internet Source	1%
2	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	1%
3	jurnal.umj.ac.id Internet Source	1%
4	www.scribd.com Internet Source	1%
5	publikasiilmiah.ums.ac.id Internet Source	<1%
6	repository.unj.ac.id Internet Source	<1%
7	id.scribd.com Internet Source	<1%
8	file.upi.edu Internet Source	<1%
9	matriks.sipil.ft.uns.ac.id Internet Source	<1%

10

jurnal.fp.unila.ac.id

Internet Source

<1%

11

for926.uni-bonn.de

Internet Source

<1%

12

www.teses.usp.br

Internet Source

<1%

13

S. Long. "Experimental study of the impedance of cavity-backed slot antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1975

Publication

<1%

14

Ali Arzeytoon, Abdollah Hosseini, Alireza Goudarzi. "Seismic Rehabilitation of Exterior RC Beam-Column Joints Using Steel Plates, Angles, and Posttensioning Rods", Journal of Performance of Constructed Facilities, 2016

Publication

<1%

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

Naskah Yosafat

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

Evaluasi Level Kinerja Bangunan Gedung Kayu Bertingkat Rendah Akibat Beban Gelombang

Yosafat Aji Pranata^{1,*}, Fadlillah Ariani Suroso², Bernardinus Herbudiman²

¹ Program Studi Teknik Sipil; Universitas Kristen Maranatha; Jalan Suria Sumantri 65, Bandung, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil; Institut Teknologi Nasional; Jalan PHH Mustopha 23, Bandung, Indonesia

* Korespondensi: e-mail:yosafat.ap@gmail.com, yosafat.ap@eng.maranatha.edu.

ABSTRAK

Beberapa wilayah pesisir pantai di Indonesia memiliki resiko bencana tsunami moderat hingga berat, hal ini berkaitan dengan kondisi bahwa Indonesia terletak pada daerah rawan gempa. Pada saat ini terdapat banyak bangunan gedung yang berlokasi di pesisir pantai dengan sistem rumah panggung bertingkat rendah dengan sistem struktur utama yaitu balok dan kolom menggunakan material kayu. Desain struktur bangunan gedung antara lain mencakup proses evaluasi kinerja yaitu kekuatan, kekakuan hingga stabilitas struktur. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku evaluasi tingkat kinerja khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan lateral yaitu gelombang laut. Ruang lingkup penelitian yaitu bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom. Kolom berbentuk lingkaran dan balok mempunyai bentuk penampang persegi. Beban yang diperhitungkan ialah gravitasi dan lateral. Kekuatan yang dibahas adalah kapasitas lentur balok dan kapasitas tekan kolom. Untuk mendapatkan perilaku bangunan gedung yang mendekati kondisi riil, khususnya pada sambungan *join* balok-kolom, maka digunakan data sekunder yaitu data empiris kurva *envelope* beban-deformasi sambungan *join* balok-kolom hasil pengujian di laboratorium (dimodelkan sebagai properti *link*). Evaluasi kinerja struktur dimulai dengan analisis struktur dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000, untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan simpangan gedung. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti *link* pada sambungan *join* balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan *join* balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan *join* balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan *join* tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

Kata kunci: gedung, kayu, properti *link*, beban lateral, perilaku

ABSTRACT

Several coastal areas in Indonesia are at risk of moderate to high tsunami disaster level due to the condition that Indonesia is located in an earthquake high risk area. Currently, there are many buildings located on the coast using a low-rise stilt house system with the main structural system, namely beams and columns using timber materials. The building structure design includes the performance evaluation process, i.e. strength, stiffness, and structural stability. The purpose of this research is to study the behavior of performance levels evaluation, especially the strength and stiffness of low-rise timber buildings, namely the level of structural performance due to gravity and the sea waves as lateral loads. The research limited to a three-story building with a beam and column frame structure system. Columns and beams have a circular and square cross section, respectively, with the loads taken into account are gravity and lateral. The strengths evaluation are the bending capacity of the beam and the compressive capacity of the column. In order to obtain building behavior that is closer to real conditions, especially

Received: July,27,2020; Revised:Sept,01,2020; Accepted:Sept,08,2020; Available Online: Jan,11,2021

in beam-column joints, secondary data is used, i.e. empirical data on the envelope load-deformation curve of the beam-column joint test results in the laboratory (modeled as link property). Evaluation of structural performance begins with structural analysis using SAP2000 software, to obtain internal forces and building drift. The results show that the use of link properties in beam-column joints in the timber building structures shows greater deformation results compared to rigid joint models and thus indicate that modeling the structure with beam-column joints, modeled as link property, has an impact on the low of building stiffness that also represents the condition of a timber building with beam-column joint characteristics is closer to the actual condition. A hole size in the column (to insert the beam) which is larger than the cross-sectional size of the beam causes the rotation of the joint and thus a slip occurs when the joint works to transmit internal forces.

Keywords: *building, timber, link properties, lateral load, behavior*

1. PENDAHULUAN

Bangunan kayu dengan sistem struktur utama *frame* balok dan kolom banyak dijumpai pada daerah khususnya lokasi pariwisata. Fungsi utama bangunan yaitu untuk kepentingan komersial seperti hotel, restoran, dan bangunan pendukung lokasi objek pariwisata tersebut. Salah satu tujuannya pemanfaatan material kayu lokal sebagai material bangunan. Beberapa lokasi wisata khususnya di pinggir pantai membuat konsep bangunan-bangunan kayu tersebut menggunakan sistem rumah bertingkat rendah dengan lantai dasar sebagai panggung dan lantai di atasnya berfungsi untuk aktivitas penghuninya seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Gudang dan rumah kayu tipe panggung.

Rumah dengan konsep panggung pada daerah pesisir pantai perlu diperhatikan kekuatan, kekakuan, dan stabilitasnya terhadap adanya beban gelombang, yang bekerja sebagai beban lateral pada bangunan. Dengan adanya evaluasi kinerja struktur akibat beban lateral tersebut maka diharapkan dapat diketahui perilaku struktur akibat beban-beban yang bekerja sehingga dapat diketahui tingkat kinerjanya.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku khususnya kekuatan dan kekakuan bangunan gedung kayu bertingkat rendah, yaitu tingkat kinerja struktur akibat beban gravitasi dan beban lateral yaitu gelombang laut.

Ruang lingkup penelitian yaitu antara lain:

1. Bangunan gedung tiga lantai dengan sistem struktur *frame* balok dan kolom.
2. Kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm dan balok mempunyai bentuk penampang persegi dengan ukuran 250 mm x 250 mm.

3. Bangunan gedung dikenai beban gravitasi dan lateral. Pembebanan yang dilakukan meliputi beban mati, beban hidup, beban gelombang, dan beban gempa. Dalam penelitian ini beban gempa tidak dominan dan nilainya lebih rendah dibandingkan beban gelombang.
4. Perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010) menjadi alat bantu untuk simulasi analisis struktur.
5. Gelombang laut yang diperhitungkan merupakan gelombang laut akibat bangkitan oleh angin. Sedangkan gempa rencana yang digunakan yaitu statik ekuivalen dan respon spektrum.
6. Konstruksi rangka atap diperhitungkan terpisah dan dimodelkan sebagai beban gravitasi pada struktur bangunan gedung.
7. Bangunan gedung dimodelkan dengan dua tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan *join* balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan *join* balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019). Sedangkan tipe kedua sambungan *join* balok-kolom dimodelkan kaku.
8. Data sifat mekanika kayu yaitu Modulus Elastisitas dan Berat Jenis menggunakan data sekunder hasil penelitian Pranata (Pranata, 2018) dan Atlas Kayu Indonesia Jilid IV (PPPKK, 2013).
9. Perhitungan beban gravitasi mengikuti kaidah peraturan SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). Perhitungan beban gempa rencana mengikuti kaidah peraturan SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Perhitungan kapasitas kolom dan balok mengacu pada SNI 7973:2013 (BSN, 2013). Perhitungan beban gelombang mengacu pada API RP 2A-WSD (API, 2000) dan persamaan Morison (Morison dkk., 1950).

Beberapa penelitian terdahulu terkait pengaruh gelombang terhadap struktur bangunan telah dilakukan sebelumnya antara lain oleh Besperi dkk. (Besperi dkk., 2014) yaitu analisis struktur bangunan *breakwater* tegak terhadap beban gelombang dengan tujuan untuk mempelajari karakteristik gelombang yang terjadi dan mengetahui gelombang yang signifikan berdampak pada bangunan. Penelitian lain selanjutnya yaitu dampak gelombang terhadap struktur bangunan khususnya tiang pancang dermaga yang telah dipelajari oleh Septroscha dkk. (Septroscha dkk., 2015) yaitu mempelajari kelelahan tiang pancang akibat beban gelombang. Selanjutnya hasil penelitian berikutnya yaitu oleh Baskoro dkk. (Baskoro dkk., 2016) penelitian kerusakan bangunan pantai akibat pengaruh beban gelombang, dengan parameter-parameter yang dipelajari yaitu waktu terjadi dan nilai gelombang. Beberapa penelitian tersebut mengindikasikan bahwa beban gelombang sebagai beban lateral perlu diperhitungkan sebagai bagian dari komponen beban yang bekerja pada bangunan, karena hal ini berdampak pada kinerja kekuatan, kekakuan, maupun stabilitas struktur bangunan.

2. METODE PENELITIAN

Bangunan Kayu

Kayu diperoleh dari tumbuhan alami dan mempunyai keunggulan dan kelemahan. Kayu termasuk dalam kategori material ortotropik yaitu mempunyai tiga arah sumbu utama yang mana arah sumbu terkuat yaitu sumbu longitudinal kekakuan dan kekuatannya besar, kemudian kelemahannya adalah kayu relatif lemah dan lunak pada sumbu radial dan tangensial. Pohon mempunyai variasi alami berbeda-beda tergantung beberapa faktor luar antara lain jenis iklim, jenis tanah, faktor internal yaitu usia pohon.

Struktur bangunan kayu dengan konsep sistem struktur *frame*, komponen-komponen struktur utamanya adalah kolom dan balok. Jika mengacu pada persyaratan desain sesuai SNI 7973:2013 (BSN, 2013) maka komponen struktur kolom dapat direncanakan dengan metode Desain Faktor Beban Ketahanan (DFBK) maupun metode Desain Tegangan Ijin (DTI). Desain dalam hal ini adalah ukuran penampang kolom diperhitungkan berdasarkan pengaruh dari gaya dalam yang timbul pada kolom akibat beban-beban. Desain kolom memperhitungkan pula pengaruh kelangsingan kolom. Pada komponen struktur balok desain dapat menggunakan pula metode DFBK maupun DTI yaitu mencakup pemeriksaan terhadap persyaratan kekuatan lentur, kekuatan geser, lendutan balok, serta pengaruh kelangsingan balok.

Kapasitas lentur balok (M') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.a sebagai berikut,

$$M' = F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S \quad (1.a)$$

Kapasitas geser balok (V') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.b sebagai berikut,

$$V' = F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d \quad (1.b)$$

Kapasitas tekan kolom (P') diperhitungkan berdasarkan Persamaan 1.c sebagai berikut,

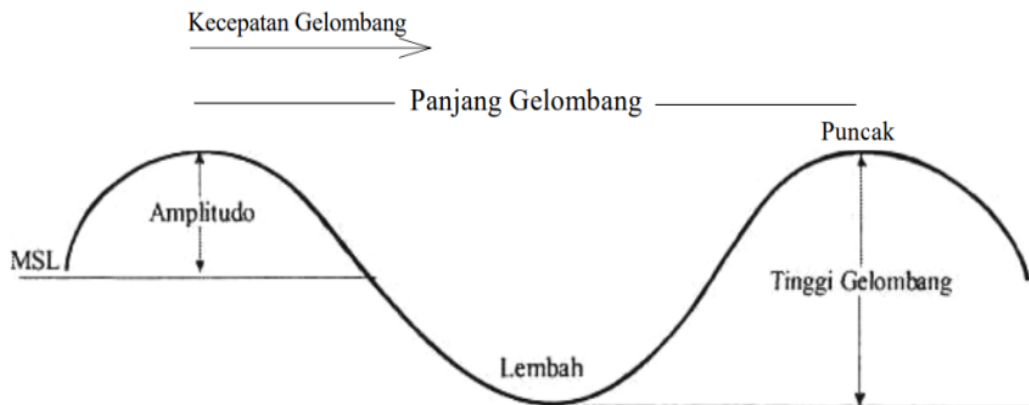
$$P' = F_c \times C_M \times C_i \times C_t \times C_F \times C_P \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A \quad (1.c)$$

dengan F_B^* adalah kapasitas lentur balok dikalikan seluruh faktor koreksi kecuali faktor stabilitas balok (C_L), S adalah modulus penampang elastik balok kayu, C_M adalah faktor layan basah, C_i adalah faktor tusuk untuk kayu dimensi, C_t adalah faktor temperatur, C_F adalah faktor ukuran untuk kayu gergajian, K_F adalah faktor konversi format, λ adalah faktor efek waktu, ϕ_v adalah faktor ketahanan geser, ϕ_c adalah faktor ketahanan tekan dan C_{fu} adalah faktor penggunaan rebah (BSN, 2013; Pranata dan Suryoatmono, 2019).

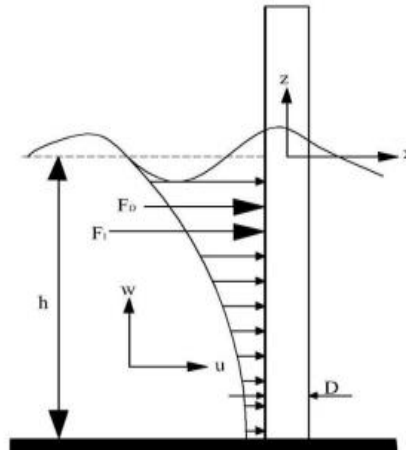
Beban Gelombang

Gelombang laut dipengaruhi oleh pembangkitnya, yaitu antara lain dibangkitkan oleh adanya angin yang mana dominan terjadi pada daerah terbuka seperti halnya di pesisir pantai. Menurut *Shore Protection Manual* (API, 2000) gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin mengandung energi yang paling besar. Artinya gelombang tersebut menimbulkan tekanan atau kerusakan yang paling berat terhadap bangunan gedung.

Air mengalami pergerakan turun dan naik yaitu arahnya tegak lurus serta membentuk pola grafik sinusoidal (Gambar 2), dengan tiga parameter karakteristik gelombang yaitu panjang, periode dan tinggi gelombang (Asiz, 2006). Perhitungan beban gelombang selanjutnya dapat dilakukan dengan persamaan sinusoidal tersebut (Baba, 2014).



Gambar 2. Bentuk gelombang laut (Asiz, 2006).



Gambar 3. Beban gelombang (Haritos, 2007).

Kolom merupakan komponen struktur yang akan menerima beban gelombang (Gambar 3) karena struktur bangunan berada di area lepas pantai. Perhitungan gaya gelombang pada kolom dengan kondisi gelombang tidak pecah menggunakan Persamaan Morison (Morison dkk., 1950) yaitu ditampilkan pada Persamaan 2.a. Persamaan Morison menggunakan beberapa parameter yaitu gaya gelombang (F_x) adalah gabungan dari gaya inersia dan gaya hambatan (F_{imax} dan F_{dmax}) yaitu seperti ditampilkan pada Persamaan 2.b dan Persamaan 2.c. Total gaya horisontal tersebut selanjutnya disebut beban yang bekerja pada kolom.

$$F_x = F_{dmax} \cos \omega t - F_{imax} \sin \omega t \quad (2.a)$$

$$F_{dmax} = (1/16) \gamma_w g C_d D H^2 \{ \sinh(2kh) + 2kh \} / \sinh(2kh) \quad (2.b)$$

$$F_{imax} = (\pi/8) \gamma_w g C_m D^2 H \{ \tanh(kh) \} \quad (2.c)$$

API (API, 2000) menyatakan bahwa untuk desain struktur lepas pantai, besar koefisien C_d dan C_m adalah seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter C_d dan C_m (API, 2000)

Keterangan	C_d	C_m
Halus	0,65	1,60
Kasar	1,05	1,20

Gempa Rencana

Gempa rencana, yaitu berupa gaya lateral pada bangunan dapat diperhitungkan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum berdasarkan SNI Gempa Indonesia yaitu SNI 1726:2012 (BSN, 2012). Gaya geser dasar bangunan yang mana merupakan fungsi linier dari berat bangunan dihitung terlebih dahulu untuk selanjutnya dapat dihitung distribusi gaya lateral yang bekerja pada tiap lantai bangunan gedung. Gaya geser dasar nominal (BSN, 2012).

$$V > 0,85 V_{statik} \quad (3)$$

Respon spektrum adalah beban gempa yang diambil pada percepatan maksimum tanah dasar. Respon spektrum diambil adalah respon gempa di wilayah tertentu, mengacu pada ketentuan umum berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012), sedangkan faktor keutamaan diambil sebesar $I_e = 1,0$ (bangunan komersial), hal ini sesuai terhadap kategori risiko struktur bangunan berada pada kategori risiko II. Selanjutnya koefisien modifikasi respon (R) mengikuti kaidah SNI 1726:2012 (BSN, 2012), dimana untuk analisis beban gempa gedung digunakan nilai R sebesar

3,50 sesuai dengan kategori untuk sistem rangka lainnya (diasumsikan dalam studi kasus penelitian ini adalah struktur bangunan kayu).

Evaluasi Kinerja Kekakuan Bangunan

Kinerja struktur bangunan gedung dalam konteks kekakuan struktur dapat diperhitungkan dan diprediksi berdasarkan besarnya simpangan horisontal pada taraf elevasi struktur atap/struktur gedung lantai paling atas dan diperhitungkan terhadap besarnya nilai batasan ijin. *Applied Technology Council* (ATC, 1996) mengklasifikasikan taraf kinerja bangunan gedung (komponen struktur bangunan) menjadi beberapa tingkat/level kinerja.

Bangunan dalam konteks ini adalah bangunan dengan masa layan 50 tahun. Tingkat/level kinerja yaitu SP-1 *Immediate Occupancy* (IO), SP-2 *Damage Control* (DC), SP-3 *Life Safety* (LS), SP-4 *Limited Safety*, SP-5 *Structural Stability* (SS), dan SP-6 *Not Considered* (NC).

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kinerja bangunan (ATC, 1996).

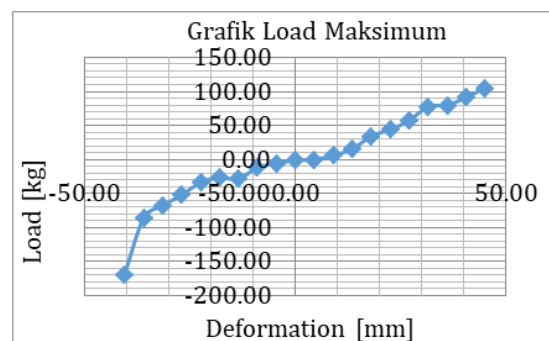
Simpangan antar lantai	SP-1	SP-2	SP-3	SP-5
Total simpangan maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan inelastik maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batas	Tidak ada batas

Secara umum untuk tingkat kinerja bangunan SP-4 bukan merupakan kategori utama karena berada pada rentang *Life Safety* dan *Structural Stability*, sedangkan kategori SP-6 bangunan telah mengalami kegagalan struktur secara berat sehingga tidak memungkinkan dilakukan perbaikan-perbaikan.

Kurva *Envelope* Beban-Deformasi Sambungan Balok-Kolom dan Sifat Mekanika Kayu

Dalam penelitian ini, pemodelan dan analisis struktur bangunan kayu menggunakan 2 (dua) tipe, yaitu tipe pertama adalah gedung dengan sambungan *join* balok-kolom dimodelkan sebagai dengan properti *link* (Referensi kekakuan sambungan *join* balok-kolom menggunakan data sekunder yaitu dari penelitian Pranata (Pranata, 2019)). Sedangkan tipe kedua sambungan *join* balok-kolom dimodelkan kaku.

Untuk mendapatkan informasi terkait kurva kapasitas sambungan balok-kolom kayu maka diperlukan pengujian empiris di laboratorium (Gambar 4.b), yaitu melalui pengujian siklik dengan cara memberikan pembebanan statik dua arah bolak-balik (Pranata, 2019). Pembebanan bolak-balik (siklik) akan menghasilkan kurva beban dengan simpangan bolak-balik yang disebut kurva histeresis. Kurva *Envelope* dibuat dari kurva histeresis dengan mengambil nilai dari masing-masing beban puncak tiap siklus pembebanan, yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.a



Gambar 4.a. Kurva *Envelope* beban vs deformasi lateral.



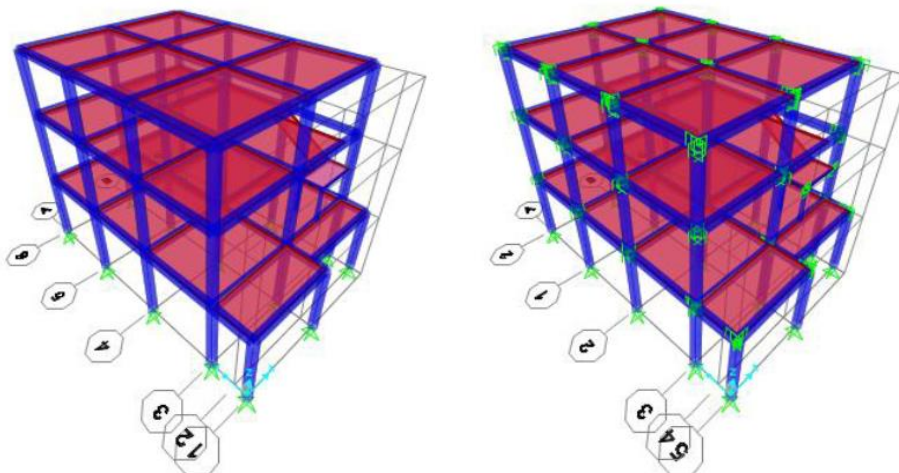
Gambar 4.b. Pengujian sambungan join balok-kolom di laboratorium.

Gambar 4. Tinjauan literatur pengujian sambungan join balok-kolom kayu (Pranata, 2019).

Data sifat mekanika kayu yaitu modulus elastisitas kayu (E), berat jenis kayu, serta kekuatan lentur (F_b) diperoleh dari data sekunder hasil penelitian sebelumnya oleh Pranata (Pranata, 2018) yaitu E sebesar 13060,99 MPa (arah longitudinal atau sejajar serat kayu), berat jenis kayu 450 kg/m^3 , dan F_b sebesar 11,51 MPa.

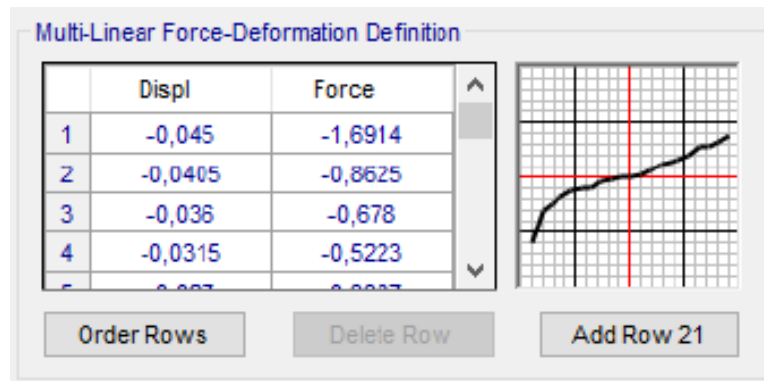
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur bangunan gedung kayu dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) lantai dengan sistem struktur *frame* yaitu balok dan kolom. Gambar 5 memperlihatkan skematik model 3D bangunan. Pemodelan disajikan pada Gambar 5.a untuk pemodelan konvensional yaitu sambungan *join* balok-kolom kaku, dan Gambar 5.b untuk pemodelan sambungan *join* balok-kolom kayu dengan pemodelan properti *link*. Model properti *link* dibuat dengan pendekatan model kuva hubungan beban vs deformasi secara multilinier (Gambar 6) dengan data-data empiris yang telah diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya (data sekunder, yaitu data pada Gambar 4).



(a). Tipe-1 (sambungan kaku). (b). Tipe-2 (sambungan dengan properti *link*).

Gambar 5. Skematik model 3D bangunan gedung kayu (Suroso, 2019).



Gambar 6. Pemodelan kurva beban vs deformasi multi linier sebagai model properti *link* (Suroso, 2019).

Gambar 6 memperlihatkan bahwa model hubungan beban vs deformasi multilinier dipilih sebagai representasi pemodelan *link* untuk gedung kayu tipe-2. Secara umum berdasarkan bentuk dan tipologi sambungan *join* balok-kolom pada Gambar 4.b memperlihatkan bahwa kapasitas kekuatan (beban maksimum) dorong dan tarik hampir sama. Seluruh kolom berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm. Seluruh balok berbentuk penampang persegi dengan ukuran penampang 250 mm x250 mm. Data untuk tinggi dan periode gelombang menggunakan data sekunder hasil penelitian terdahulu (Rabung, 2014) pada pantai di Makassar yaitu $H=3$ meter dan $T=9$ detik untuk elevasi permukaan air laut $h=2,5$ meter. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan alat bantu perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2010).

Struktur atap dalam hal ini seluruh beban yang bekerja pada atap (termasuk berat sendiri) diperhitungkan terpisah dan diaplikasikan pada bangunan sebagai beban-beban gravitasi. Beban gelombang diperhitungkan menggunakan Persamaan 2.a, Persamaan 2.b, dan Persamaan 2.c dan selanjutnya diaplikasikan sebagai beban horisontal yang bekerja pada masing-masing kolom pada bangunan tersebut (Suroso, 2019). Hasil analisis struktur yang ditinjau adalah kinerja kekuatan dan kekakuan struktur bangunan gedung.

Waktu Getar Struktur Bangunan

Periode fundamental struktur harus dibatasi untuk mengetahui struktur bangunan aman terhadap gempa. Periode getar struktur untuk model gedung Tipe-1 menghasilkan periode 0,34 detik dan pemodelan bangunan gedung Tipe-2 menghasilkan periode 0,49 detik. Hasil ini mengindikasikan bahwa gedung Tipe-2 yaitu sistem sambungan *join* balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* lebih besar sebesar 30,25%, artinya bangunan lebih fleksibel. Hal ini terjadi mengingat sambungan kayu kondisi sebenarnya adalah tidak kaku dikarenakan ukuran lubang pada kolom untuk menempatkan/memasukkan balok lebih besar daripada ukuran penampang balok, sehingga terjadi *slip* dan rotasi yang terjadi tidak nol, hal ini sesuai hasil penelitian empiris oleh Pranata (Pranata, 2019) yaitu selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.

Gaya Geser Dasar

Hasil analisis selanjutnya yang dapat diperoleh adalah gaya geser dasar bangunan gedung ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Secara umum baik bangunan gedung yang dihitung gaya gesernya berdasarkan analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum, gedung Tipe-1 dan Tipe-2 menghasilkan gaya geser yang tidak terlalu berbeda (%-beda berkisar 2,67 s.d. 7,06%). Perbedaan ini dapat terjadi dikarenakan volume kayu (berat) kayu yang lebih kecil untuk model gedung Tipe-2 khususnya pada bagian-bagian sambungan *join* balok-kolom.

Dari hasil kontrol gaya geser dasar dengan menggunakan Persamaan 4, dapat diperoleh hasil bahwa gaya geser dasar pada arah-X dan arah-Y telah memenuhi persyaratan sesuai SNI

1726:2012 (BSN, 2012) yaitu sebesar 85% gaya geser dasar statik ekivalen, sehinggadalam hal ini tidak diperlukan pembesaran faktor pengali.

Tabel 3. Gaya Dasar Statik (Analisis Statik Ekivalen) (Suroso, 2019).

Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	32,89	30,57	7,06
Arah-Y	32,89	30,57	7,06

Tabel 4. Gaya Geser Dasar Dinamik (Analisis Respons Spektrum) (Suroso, 2019).

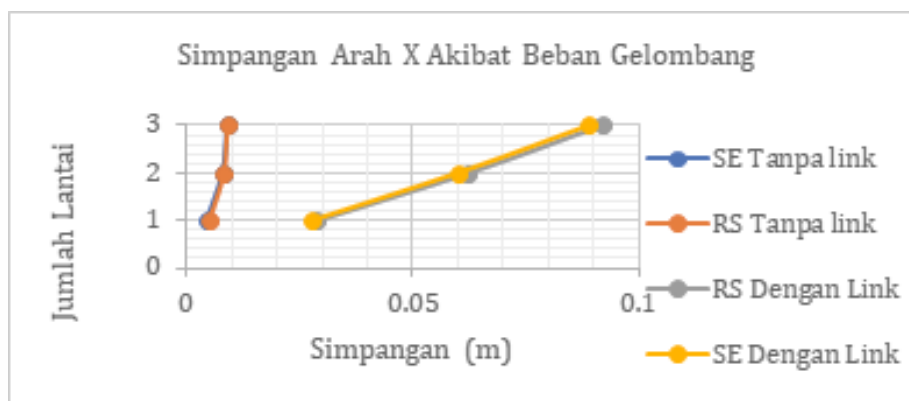
Gaya geser dasar	Gedung Tipe-1 (kN)	Gedung Tipe-2 (kN)	% beda
Arah-X	52,37	50,97	2,67
Arah-Y	57,21	55,19	3,54

Berdasarkan hasil analisis yaitu ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 secara umum memberikan informasi bahwa gedung dengan pemodelan Tipe-2, baik itu berdasarkan kajian analisis struktur dengan beban gempa diperhitungkan dengan metode analisis statik ekivalen dan metode respons spektrum, gaya geser dasar yang diperoleh mempunyai trend yang lebih rendah dibandingkan pemodelan Tipe-1. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan disipasi energi khususnya pada bagian sambungan *join* balok kolom.

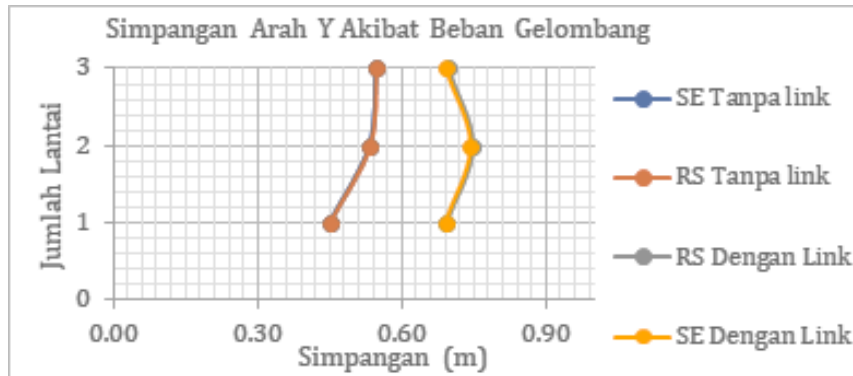
Simpangan Struktur

Selanjutnya dari analisis struktur akibat beban lateral diperoleh pula simpangan bangunan gedung untuk arah-X maupun arah-Y. Simpangan tersebut selanjutnya ditinjau terdapat batasan ijin, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat/level kinerja struktur. Hasil dari analisis selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Simpangan struktur untuk model gedung (Tipe-1 dan Tipe-2) dengan tinjauan beban gempa respons spektrum lebih besar dibandingkan dengan simpangan struktur dengan tinjauan beban gempa statik ekivalen.

Hasil analisis pada Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan bahwa gedung Tipe-2 menghasilkan simpangan horisontal pada kedua arah utama bangunan yang lebih besar dibandingkan gedung Tipe-1. Hasil analisis mengindikasikan bahwa deformasi akibat beban gelombang terbesar terjadi berdasarkan arah gelombang yang datang membebani struktur yaitu dari arah-Y.



Gambar 7. Grafik simpangan arah-X akibat beban gelombang (Suroso, 2019).



Gambar 8. Grafik simpangan arah-Y akibat beban gelombang (Suroso, 2019).

Kontrol Kekuatan Komponen Balok dan Kolom

Kontrol kekuatan komponen balok dan kolom dilakukan untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya-gaya dalam khususnya gaya geser dan momen lentur yang timbul pada balok akibat kombinasi beban maksimum berdasarkan peraturan beban SNI 1727:2013 (BSN, 2013b). Demikian pula untuk kolom, perlu dipastikan bahwa kapasitas tekan kolom harus lebih tinggi dibandingkan beban rencana yaitu gaya normal yang timbul pada kolom.

Hasil perhitungan cek kapasitas balok yaitu sebagai berikut:

$$M' = F_B^* \times C_L \times C_{fu} \times S = 38,73 \text{ kN.m}$$

$$M_U = 31,92 \text{ kNm (balok dengan momen lentur terbesar)}$$

$$M' > M_U; \text{ artinya kapasitas lentur balok aman dan kuat.}$$

$$V' = F_v \times C_M \times C_i \times C_t \times K_F \times \phi_v \times \lambda \times (2/3) \times b \times d = 329,64 \text{ kN}$$

$$V_U = 186,69 \text{ kN (balok dengan gaya geser terbesar)}$$

$$V' > V_U; \text{ artinya kapasitas geser balok aman dan kuat.}$$

Sedangkan hasil perhitungan cek kapasitas kolom yaitu sebagai berikut:

$$P' = F_C \times C_M \times C_i \times C_t \times C_P \times K_F \times \phi_c \times \lambda \times A$$

$$= 296,86 \text{ kN}$$

$$P_U = 128,84 \text{ kN}$$

$$P' > P_U; \text{ artinya kapasitas tekan kolom aman dan kuat.}$$

Pembahasan hasil analisis struktur secara umum, yaitu bahwa waktu getar struktur bangunan gedung Tipe-2 30,25% lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1. Hal ini memperlihatkan secara umum bahwa gedung Tipe-2 sambungan *join* balok-kolomnya tidak kaku, rotasi yang terjadi tidak nol (referensi pada Gambar 4), dalam hal ini merepresentasikan kondisi sambungan *join* balok-kolom kayu yang sebenarnya. Sistem pemodelan struktur tipe-2 juga memperlihatkan bahwa akibat beban gelombang, maka deformasi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gedung Tipe-1, sehingga tingkat/level kinerja struktur gedung Tipe-2 termasuk dalam kategori SP-2 berdasarkan ATC-40 (ATC, 1996) untuk arah-X sedangkan untuk arah-Y adalah SP-5. Deformasi bangunan gedung akibat beban gelombang menghasilkan nilai yang lebih besar berdasarkan dari arah gelombang datang sehingga sangat penting dalam perencanaan untuk mengevaluasi bangunan akibat beban gelombang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Pranata, 2019) memperlihatkan bahwa hasil pengujian empiris sambungan *join* balok-kolom (untuk pemodelan properti *link*) yaitu perilaku sambungan

akibat beban dorong dan tarik berbeda, rotasi balok tidak nol sehingga sambungan tidak rigid, hal tersebut dapat terlihat berdasarkan trend grafik kurva *envelope* beban-deformasi yaitu pada Gambar 4. Beban lateral yaitu beban gelombang lebih dominan untuk studi kasus lokasi dimana bangunan gedung kayu berada dalam penelitian ini dibandingkan beban lateral gempa.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan properti *link* pada sambungan *join* balok-kolom pada struktur bangunan gedung kayu menunjukkan hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan model sambungan kaku, hal ini mengindikasikan bahwa pemodelan struktur dengan sambungan *join* balok-kolom dimodelkan sebagai properti *link* memberikan dampak kekakuan bangunan lebih rendah dan merepresentasikan kondisi bangunan gedung kayu dengan karakteristik sambungan *join* balok-kolom yang lebih mendekati terhadap kondisi sebenarnya. Adanya ukuran lubang pada kolom (untuk memasukkan balok) yang lebih besar dibandingkan ukuran penampang balok mengakibatkan rotasi pada sambungan *join* tersebut tidak nol dan terjadi slip pada saat sambungan bekerja menyalurkan gaya-gaya dalam.

REFERENSI

- American Prototeum Institute (2000). API Recommended Practice 2A-WSD 2000, American Prototeum Institute.
- Applied Technology Council (1996). ATC 40 Part 1 and Part 2, Applied Technology Council.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan (2013). Atlas Kayu Indonesia Jilid IV2013, Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air Dilaut, *Oseana*, Volume XXXI, Nomor 4, Tahun 2006 : pp 9-21 ISSN 0216-1877.
- Baba, A. (2014). Concept of Hydrodynamic Load Calculation on Fixed Jacket Offshore Structures - An Overview of Vertically Mounted Cylinder, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, Volume-03, Issue-03, pp-65-74, www.ajer.org e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI1726:2012 Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedu Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI7973:2013 Spesifikasi Desain Konstruksi Kayu, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013b). SNI1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya, Badan Standardisasi Nasional.
- Baskoro, H., Atmodjo, W., Purwanto. (2016). Studi Pengaruh Gelombang Terhadap Kerusakan Bangunan Pantai Hybrid Engineering Di Desa Timbulsloko Demak, *Jurnal Oseanografi* Volume 5, Nomor 3, Tahun 2016, Halaman 340 – 348, <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>.
- Besperi, Gunawan A., Mawardi. (2014). Analisis Gelombang Terhadap Struktur Bangunan Breakwater Tegak Pantai Tapak Paderi Bengkulu, *Jurnal Inersia* Oktober 2014 Vol. 6 No.2, ISSN 2086-9045
- Computer and Structures Inc. (2010), SAP2000 User Guide, Computer and Structures Inc., 1995 University Ave., Berkeley, CA 94704, USA.
- Haritos, N. (2007). Introduction to the Analysis and Design of Offshore Structures-An Overview, University of Melbourne, Australia.
- Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W., Schaaf, S.A. (1950). The force exerted by surface waves on piles. *Trans. Am. Inst. Min. Engrs.*, 189 (1950), pp. 149-154.
- Pranata, Y.A. (2018). Laporan Akhir Pengujian Parsial Material Kayu Struktur Rumah Adat Tradisional Nias. Bandung.
- Pranata, Y.A. (2019). Laporan Pengujian Sambungan Join Balok-Kolom Kayu Rumah Tradisional Nias.

- Pranata, Y.A., Suryoatmono, B. (2019). Struktur Kayu, Penerbit PT Remaja Rosdakarya, Bandung, ISBN: 978-602-446-303-8.
- Rabung, F. (2014). Prediksi Gelombang Signifikan Sekitar Pantai Makassar Untuk Perencanaan Pembangunan Infrastruktur Pantai, Conference : Hasil Penelitian Teknologi Terapan Group Teknik Sipil, Engineering Faculty, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia, Prosiding Volume 8, ISBN : 978-979-17225-4-4.
- Septrosha, K., Nelwan, V., Balamba, S., Sarayar, A.N. (2015). Analisis Kelelahan Struktur Pada Tiang Pancang Di Dermaga Belang Dengan Metode Fracture Mechanics, *Jurnal Tekno* Vol. 13 No. 63, Agustus 2015.
- Suroso, F.A. (2019). Kinerja Struktur Bangunan Kayu Bertingkat Akibat Beban Gelombang, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung.