

Respon Struktur Gedung Belajar Baru SMAN 1 Margaasih terhadap Penggunaan Material Kayu Durian Gergajian dan Laminasi

Baskoro Tri Julianto¹, Erma Desimaliana^{1*} dan Nessa Valiantine Diredja¹

Dikirim: 26/04/2023

Diterima: 30/04/2023

ABSTRAK

Seiring dengan bertambahnya penduduk, maka permintaan terhadap sarana penunjang pendidikan juga ikut meningkat. Gedung belajar di Indonesia umumnya dibangun menggunakan material komposit seperti beton bertulang dan baja halmana material-material tersebut tidak dapat diperbaharui, serta berpotensi mengancam lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan material pengganti seperti kayu durian baik gergajian maupun laminasi. Penelitian ini membahas mengenai respon struktur gedung belajar baru SMAN 1 Margaasih terhadap penggunaan material pengganti kayu durian dengan bantuan software ETABS. Dilakukan analisis struktur dengan metode baik statik ekuivalen maupun respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2019, sehingga dihasilkan respon struktur berupa periode fundamental, gaya geser dasar seismik, distribusi vertikal gaya lateral ekuivalen serta simpangan antar lantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material kayu durian sebagai alternatif material konstruksi struktur gedung belajar baru SMAN 1 Margaasih menunjukkan respon struktur yang baik. Hal ini terlihat dari periode fundamental, gaya geser dasar, distribusi vertikal gaya lateral ekuivalen dan simpangan antar lantai yang terjadi lebih kecil dibandingkan struktur eksisting. Selain itu, berat struktur alternatif jauh lebih ringan dibandingkan struktur eksisting.

Kata kunci: gedung sekolah, gergajian, kayu durian, laminasi, respon struktur.

1. PENDAHULUAN

Sekolah merupakan tempat untuk murid serta guru melakukan interaksi belajar-mengajar. Oleh karena itu, bangunan sekolah atau gedung belajar harus memiliki kriteria desain yang baik untuk menunjang pembelajaran. Saat ini struktur bangunan gedung belajar di Indonesia masih didominasi, baik dengan material baja maupun beton bertulang. Penggunaan bahan komposit seperti beton bertulang masih memiliki beberapa kekurangan, antara lain material penyusun beton bertulang memiliki kualitas yang kurang baik, pengerjaan beton yang terkadang tidak terkendali di lapangan serta proses produksi beton dapat menimbulkan permasalahan terhadap lingkungan. Pernyataan tersebut mendorong terciptanya suatu solusi dalam pemilihan material konstruksi khususnya untuk pembangunan gedung belajar. Salah satu material alternatif dalam dunia pembangunan adalah kayu, baik gergajian maupun laminasi.

Kayu durian seringkali ditemukan di daerah yang beriklim tropis. Secara global, kayu durian banyak tersebar di beberapa kawasan Asia Tenggara seperti Indonesia, Filipina, Malaysia, Kamboja dan Laos. Kayu durian dibudidayakan dengan sangat intensif yakni dikelola secara serius dalam bentuk perkebunan. Kayu durian dengan istilah botani *Durio zibethinus* memiliki berat jenis 0,57 serta termasuk dalam kelas kuat II – III dan relatif ringan. Kayu durian juga memiliki sifat pengerjaan yang bagus, yakni mudah digergaji atau dipotong dan dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk. Serta, kayu durian cepat kering tanpa menimbulkan cacat yang berarti.

Penelitian akan membahas mengenai penggunaan material konstruksi alternatif kayu durian, baik gergajian maupun laminasi, sebagai komponen struktural pada gedung belajar baru SMAN

¹ Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PH.H. Mustofa No. 23, Bandung 40124

* Penulis Korespondensi: ermadesmaliana@itenas.ac.id

1 Margaasih sehingga akan diketahui bagaimana respon struktur seperti periode fundamental, gaya geser dasar seismik, distribusi vertikal gaya lateral dan simpangan antar lantai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kriteria Ruang Kelas

Ruang kelas untuk sekolah menengah atas (SMA) harus dilengkapi dengan sarana dan prasarana yang memadai. Selain itu, rasio minimum luas ruang kelas adalah $2 \text{ m}^2/\text{peserta didik}$. Khusus untuk rombongan belajar dengan peserta didik kurang dari 15 orang, luas minimum ruang kelas adalah 30 m^2 dengan lebar minimum 5 m [1].

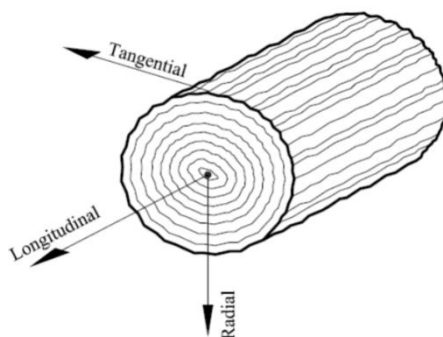
Persyaratan Struktur Bangunan Gedung Sekolah

Struktur lantai yang digunakan dengan menggunakan material kayu memiliki ketebalan minimal 2 cm dengan jarak antar balok anak tidak boleh melebihi 60 cm dengan ukuran balok minimum 6/12 cm. Untuk struktur lantai dengan material beton memiliki ketebalan lebih dari 10 cm, balok anak harus dilengkapi dengan tulangan rangkap kecuali ditentukan lain berdasarkan perhitungan struktur [2].

Struktur kolom kayu harus memiliki dimensi minimum 20/20 cm. Untuk struktur kolom beton bertulang diharuskan memiliki tebal atau lebar minimum 15 cm dengan diberi tulangan longitudinal minimal empat buah dengan diameter minimum 12 mm dan jarak antar sengkang maksimum 15 cm serta memiliki ketebalan selimut minimum 2,5 cm [2].

Definisi Kayu dan Kayu Laminasi

Kayu adalah bagian keras tanaman yang digolongkan kepada pohon dan semak belukar [3]. Kayu merupakan material ortotropik yang membuat kayu memiliki sifat mekanik yang cukup unik pada ketiga sumbu aksisnya yaitu, sumbu tangensial, radial dan longitudinal [4].



Gambar 1. Sumbu ortotropik kayu [5]

Kayu laminasi merupakan suatu produk kayu rekayasa yang dibuat dari beberapa bilah kayu yang direkatkan satu sama lain dengan arah sejajar serat [5] [6]. Perlekatan dilakukan ke arah horizontal dan ke arah vertikal halmana hasil perlekatan tersebut dapat berupa papan ataupun balok yang tergantung dari ukuran dari tebal dan lebarnya [7].

Perilaku dan Sifat Mekanis Kayu

Dalam perencanaan struktur kayu, perlu diperhatikan beberapa parameter, baik sifat fisis kayu maupun mekanis kayu. Penelitian ini menggunakan kayu durian sebagai objek penelitian, dengan sifat fisis dan mekanis kayu durian dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pada penelitian ini, kayu durian yang digunakan adalah kayu durian laminasi. Oleh karena itu, terdapat konversi dari sifat mekanis kayu durian gergajian menjadi kayu durian laminasi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Sifat Fisis Kayu Durian [8]

Kayu Durian (<i>Durio zibethinus</i>)	
Sifat Fisis	
Berat Jenis	0,57 (0,42 - 0,69)
Kelas Kuat	II - III

Tabel 2. Persamaan Konversi Sifat Mekanis Kayu Laminsi [9]

Properti	Persamaan Konversi
Kuat Lentur	$F_{m,g,k} = 7 + 1,15F_t$
Kuat Tarik Sejajar Serat	$F_{t,0,g,k} = 5 + 0,8F_t$
Kuat Tekan Sejajar Serat	$F_{c,0,g,k} = 7,2F_t^{0,45}$
Kuat Geser	$F_{v,g,k} = 0,32F_t^{0,8}$
Modulus Elastisitas	$E_{0,g,mean} = 1,05E$
Modulus Geser	$G_{g,mean} = 0,065E$
Densitas	$\rho_{g,k} = 1,10\rho$

dengan $F_{m,g,k}$ adalah kuat lentur kayu laminasi, $F_{t,0,g,k}$ adalah kuat tarik sejajar serat kayu laminasi, $F_{c,0,g,k}$ adalah kuat tekan sejajar serat kayu laminasi, $F_{v,g,k}$ adalah kuat geser kayu laminasi, $E_{0,g,mean}$ adalah modulus elastisitas kayu laminasi, $G_{g,mean}$ adalah modulus geser kayu laminasi, $\rho_{g,k}$ adalah berat jenis atau densitas kayu laminasi, F_t adalah kuat kayu gergajian, E adalah modulus elastisitas kayu gergajian dan ρ adalah berat jenis atau densitas kayu gergajian.

Tabel 3. Perbandingan Sifat Mekanis Kayu Durian E9 Gergajian dengan Laminasi [10]

Nilai Desain Acuan	Simbol	Kayu Durian dengan Kode Mutu E9	
		Gergajian MPa	Laminasi MPa
Berat Jenis	ρ	0,57	0,627
Kuat Tarik	F_t	6,3	10,040
Kuat Lentur	F_b	7,1	14,245
Kuat Tekan Sejajar Serat	F_c	6,3	16,483
Kuat Geser	F_v	0,83	1,395
Modulus Geser	G	642,857	585
Modulus Elastisitas	E	9.000	9.450
	E_{min}	4.500	4.725

Dikarenakan kayu merupakan material ortotropik, maka diperlukan perbandingan nilai sifat mekanis khususnya nilai modulus elastisitas serta modulus geser pada tiap sumbu aksisnya. Maka, Bodig dan Jayne (1993) mengusulkan perbandingan sifat-sifat mekanis tersebut sebagai berikut [11]:

$$E_L: E_R: E_T \approx 20: 1,6: 1 \quad (1)$$

$$E_L: G_{LR} \approx 14: 1 \quad (2)$$

$$G_{LR}: G_{LT}: G_{RT} \approx 10: 9,4: 1 \quad (3)$$

dengan E_L adalah modulus elastisitas arah longitudinal, E_R adalah modulus elastisitas arah radial, E_T adalah modulus elastisitas arah tangensial, G_{LR} adalah modulus geser arah longitudinal - radial, G_{LT} adalah modulus geser arah longitudinal - tangensial dan G_{RT} adalah modulus geser arah radial - tangensial.

Filosofi Perencanaan

Perencanaan struktur kayu dilakukan menggunakan konsep Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Konsep DFBK mengikuti **Persamaan 4** [12].

$$N' \geq N_u \quad (4)$$

dengan N' merupakan tahanan nominal terkoreksi dan N_u adalah beban terfaktor yang bekerja pada struktur kayu.

Pembebanan

Pembebanan dalam penelitian ini mengikuti SNI 1727:2020 dengan beban-beban yang bekerja berupa beban mati, beban hidup, beban mati tambahan serta beban gempa.

Beban Gempa

Beban gempa diambil berdasarkan perangkat lunak Desain Spektra Indonesia RSA 2021 Kementerian PUPR untuk wilayah Kabupaten Bandung, dengan kelas situs tanah sedang (SD) yakni nilai percepatan respon spektral terpetakan S_s sebesar 0,871 g dan S_1 sebesar 0,401 g; nilai koefisien situs F_a sebesar 1,152 dan F_v sebesar 1,899; serta nilai percepatan respon spektral S_{D_s} sebesar 0,669 g dan S_{D_1} sebesar 0,509 g.

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dilakukan mengikuti SNI 1727:2020 yang dikembangkan menjadi 21 kombinasi pembebanan.

Periode Fundamental Pendekatan

Nilai ini diambil berdasarkan SNI 1726:2019 halmana nilai C_t untuk struktur beton bertulang sebesar 0,0466 dan untuk struktur kayu sebesar 0,0488. Selain itu, nilai x untuk struktur beton bertulang sebesar 0,9 dan untuk struktur kayu sebesar 0,75. Nilai batas bawah dapat dihitung menggunakan **Persamaan 5** serta batas atas dapat dihitung menggunakan **Persamaan 6**.

$$T_{a-min} = C_t \times h_n^x \quad (5)$$

$$T_{a-max} = C_u \times T_{a-min} \quad (6)$$

dengan T_{a-min} adalah periode minimum dalam detik, h_n adalah ketinggian struktur bangunan dalam meter, T_{a-max} adalah periode maksimum dalam detik dan C_u adalah koefisien untuk periode maksimum bernilai 1,4 jika $S_{D_1} \geq 0,4$.

Gaya Geser Dasar Seismik

Nilai ini diambil berdasarkan SNI 1726:2019 halmana dapat dihitung dengan **Persamaan 7**.

$$V = C_s \times W \quad (7)$$

dengan V adalah gaya geser dasar dalam kg, C_s adalah koefisien respons seismik dan W adalah berat seismik efektif dalam kg. Nilai C_s dapat diambil salah satu dari **Persamaan 8 hingga Persamaan 10** berikut:

$$C_{s \min} = 0,044 S_{D1} I_e \quad (8)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (9)$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{\frac{R}{I_e} \times T} \quad (10)$$

dengan S_{D1} adalah percepatan respons spektrum desain periode 1 detik; I_e adalah faktor keutamaan gempa bernilai 1,5 jika gedung berfungsi sebagai sekolah dan memiliki kategori risiko IV; R adalah koefisien modifikasi respon bernilai 8 untuk struktur beton bertulang dan 7 untuk struktur kayu; serta T merupakan periode struktur dalam detik.

Distribusi Vertikal Gaya Lateral Ekuivalen

Nilai ini diambil berdasarkan SNI 1726:2019 halmana dapat dihitung dengan **Persamaan 11**.

$$F = C_v \times V \quad (11)$$

dengan F adalah gaya lateral ekuivalen tiap lantai dalam kg, C_v adalah faktor distribusi vertikal dan V adalah gaya geser dasar dalam kg.

Simpangan Antar Lantai

Nilai ini diambil berdasarkan SNI 1726:2019 halmana dapat dihitung dengan **Persamaan 12**.

$$\delta_x = \frac{\delta_{xe} \times C_d}{I_e} \quad (12)$$

dengan δ_x adalah defleksi pusat massa di tingkat x dalam mm, δ_{xe} adalah defleksi yang ditinjau akibat gempa lateral dalam mm dan C_d adalah faktor pembesaran simpangan lateral halmana untuk struktur beton bertulang sebesar 5,5 dan struktur kayu sebesar 4,5. Nilai simpangan antar lantai harus kurang dari simpangan antar lantai izin. Simpangan antar lantai izin untuk jenis struktur semua struktur lain sebesar 0,010 kali tinggi tingkat di bawahnya dalam mm.

3. METODOLOGI PENELITIAN

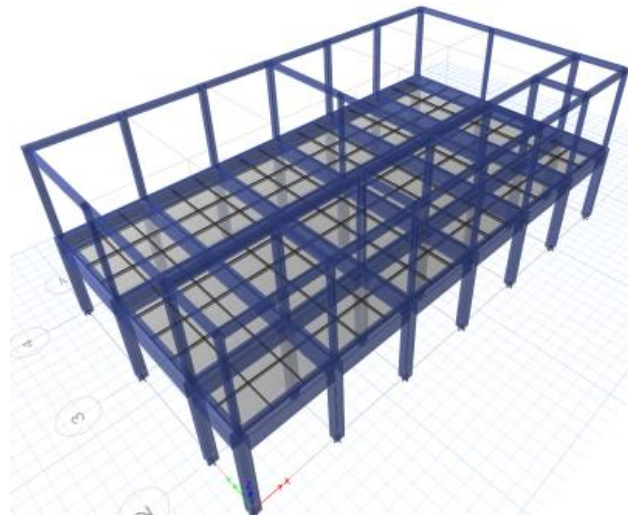
Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis respon struktur gedung belajar eksisting berdasarkan gambar kerja yang diberikan dari pihak SMAN 1 Margaasih. Tinggi struktur gedung belajar yang ditinjau adalah 3,4 m untuk lantai bawah dan 3,5 m untuk lantai atas, dengan total tinggi struktur gedung belajar adalah 6,9 m. Luas total struktur gedung belajar diperkirakan seluas 360 m². Pemodelan struktur gedung belajar eksisting menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS. Selanjutnya, mendesain struktur gedung belajar alternatif menggunakan material pengganti baik kayu durian gergaji maupun laminasi, serta melakukan pengecekan respon strukturnya juga dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS. Setelah dilakukan pengecekan untuk kedua struktur baik eksisting maupun alternatif, maka dilakukan kaji banding lebih lanjut antara hasil respon struktur baik eksisting maupun alternatif. Dimensi-dimensi komponen struktural baik struktur eksisting serta struktur alternatif dapat dilihat pada **Tabel 4**. Adapun tampilan 3D baik dari struktur gedung belajar eksisting maupun alternatif, dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Struktur gedung belajar eksisting dari material beton bertulang dengan mutu K-250 memiliki dimensi yang lebih besar pada komponen balok induk (RB dan RKL) dibandingkan dengan struktur gedung belajar alternatif dari material kayu durian laminasi. Struktur gedung belajar eksisting pun tidak memerlukan balok anak, hal ini berbeda dengan gedung belajar alternatif memerlukan balok anak dari material kayu durian gergajian. Pada komponen kolom, struktur gedung belajar eksisting juga memiliki dimensi kolom yang lebih besar untuk K1 dan K2

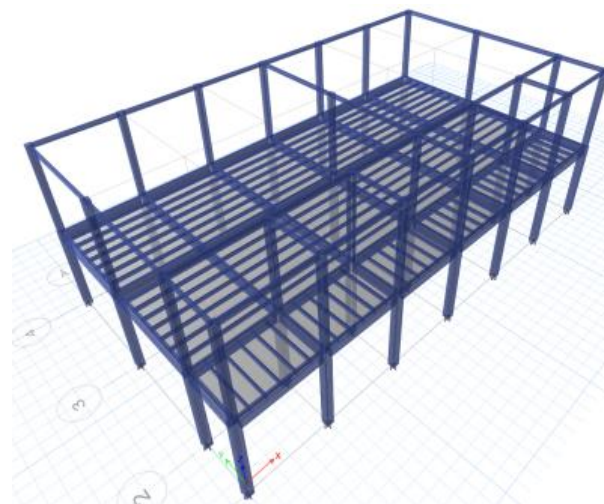
dibandingkan dengan struktur gedung belajar alternatif. Akan tetapi, untuk K3 dimensi komponen kolom struktur gedung belajar alternatif lebih besar dibandingkan dengan struktur gedung eksisting. Dimensi komponen pelat lantai pada struktur gedung eksisting 4 kali lebih tebal dibandingkan dengan struktur gedung belajar alternatif dari material kayu durian gergajian.

Tabel 4. Dimensi Komponen Struktural yang Ditinjau

Komponen	Struktur Eksisting			Ket	Struktur Alternatif			Ket
	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>t</i>		<i>b</i>	<i>h</i>	<i>t</i>	
	mm	mm	mm		mm	mm	mm	
Balok RB	150	200	-	Beton K-250	75	150	-	Laminasi
Balok RKL	300	600	-	Beton K-250	175	350	-	Laminasi
Balok Anak	-	-	-	Tidak Ada	60	120	-	Gergajian
Kolom K1	300	300	-	Beton K-250	250	250	-	Laminasi
Kolom K2	200	200	-	Beton K-250	200	200	-	Laminasi
Kolom K3	150	150	-	Beton K-250	200	200	-	Laminasi
Pelat Lantai	-	-	120	Beton K-250	-	-	30	Gergajian



Gambar 2. Tampilan 3D struktur gedung belajar eksisting



Gambar 3. Tampilan 3D struktur gedung belajar alternatif

Pada kedua model di atas, diberikan beban-beban yang sama. Beban-beban tersebut diantaranya beban mati berupa berat isi beton normal (untuk struktur eksisting) sebesar 23,54 kN/m³, berat isi baja tulangan (untuk struktur eksisting) sebesar 76,98 kN/m³, berat isi kayu durian gergajian (untuk struktur alternatif) sebesar 5,59 kN/m³ dan berat isi kayu durian laminasi (untuk struktur alternatif) sebesar 6,15 kN/m³. Untuk beban mati tambahan berupa beban lantai dan penutup lantai sebesar 1,5 kN/m² [15], MEP sebesar 0,3 kN/m² [15], dinding hebel 2,0 kN/m² [16], plafon sebesar 0,12 kN/m² [17] dan kuda-kuda baja ringan sebesar 0,33 kN [18]. Serta beban hidup pada lantai diantaranya beban hidup ruang kelas sebesar 3,83 kN/m² dan beban hidup koridor sebesar 4,79 kN/m² [13].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode Struktur

Nilai periode diambil berdasarkan *modal participating mass ratio* yang hasil analisis ETABS. Nilai tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Periode Struktur

Arah	Periode pada ETABS detik		T_{a-min} detik		T_{a-max} detik	
	Eksisting	Alternatif	Eksisting	Alternatif	Eksisting	Alternatif
X	0,422	0,487	0,265	0,207	0,371	0,291
Y	0,422	0,481	0,265	0,207	0,371	0,291

Nilai periode yang dihasilkan oleh ETABS jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai periode maksimum hasil perhitungan sesuai dengan SNI 1726:2019, maka untuk perhitungan selanjutnya akan digunakan nilai periode maksimum (T_{a-max}).

Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik dihitung berdasarkan nilai berat seismik efektif dikalikan dengan nilai C_s . Berat seismik efektif dapat dilihat pada **Tabel 6** dan nilai C_s dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 6. Berat Seismik Efektif

Elevasi	Berat Seismik kg	
	Eksisting	Alternatif
+6,9 m	9.755,15	1894,13
+3,4 m	277.897,91	95684,69
0 m	8.812,8	1598,85
Total	296.465,860	99177,670

Tabel 7. Nilai C_s

Struktur	C_{s-max}	C_s	C_{s-min}
Eksisting	0,338	0,125	0,044
Alternatif	0,493	0,143	0,044

Pada **Tabel 6**, terlihat bahwa berat struktur eksisting lebih besar hampir 3 kali lipat struktur alternatif, hal ini diakibatkan berat jenis material kayu durian yang jauh lebih rendah. Pada **Tabel 7** ditampilkan nilai C_s yang didapatkan dari hasil perhitungan sesuai dengan SNI 1726:2019, nilai C_s yang digunakan adalah nilai C_s yang berada di antara nilai C_{s-max} dan nilai C_{s-min} .

Adapun nilai gaya geser dasar seismik baik struktur gedung belajar eksisting maupun alternatif, dapat dilihat pada **Tabel 8**. Nilai gaya geser seismik dinamik yang dihasilkan ETABS sudah melalui proses revisi faktor skala gempa, agar nilainya mendekati nilai gaya geser dasar statik.

Tabel 8. Nilai Gaya Geser Dasar

Struktur	Arah Gempa	Gaya Geser Dasar kg	
		Statik (Manual)	Dinamik (ETABS)
Eksisting	X	37.177,764	37.177,864
Eksisting	Y	37.177,764	37.177,764
Alternatif	X	14.213,938	14.223,363
Alternatif	Y	14.213,938	14.217,147

Distribusi Vertikal Lateral Ekuivalen

Distribusi vertikal lateral ekuivalen adalah analisis manual untuk menghitung pengaruh gaya gempa lateral pada tiap lantai pada suatu struktur gedung. Nilai distribusi vertikal lateral ekuivalen yang dianalisis dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Nilai Distribusi Vertikal Lateral Ekuivalen

Elevasi	Nilai $F_{x,y}$ kg		Persentase Perubahan %
	Eksisting	Alternatif	
+6,9 m	2.369,165	511,221	78,42
+3,4 m	34.808,598	13.702,717	60,63

Terjadi perubahan nilai distribusi vertikal lateral ekuivalen baik pada struktur eksisting maupun struktur alternatif, halmana nilai distribusi vertikal lateral ekuivalen pada struktur gedung belajar eksisting lebih besar dibandingkan dengan struktur gedung belajar alternatif. Pada elevasi +6,9 m memiliki perubahan sebesar 78,42% sedangkan pada elevasi +3,4 m memiliki perubahan sebesar 60,63%.

Simpangan Antar Lantai

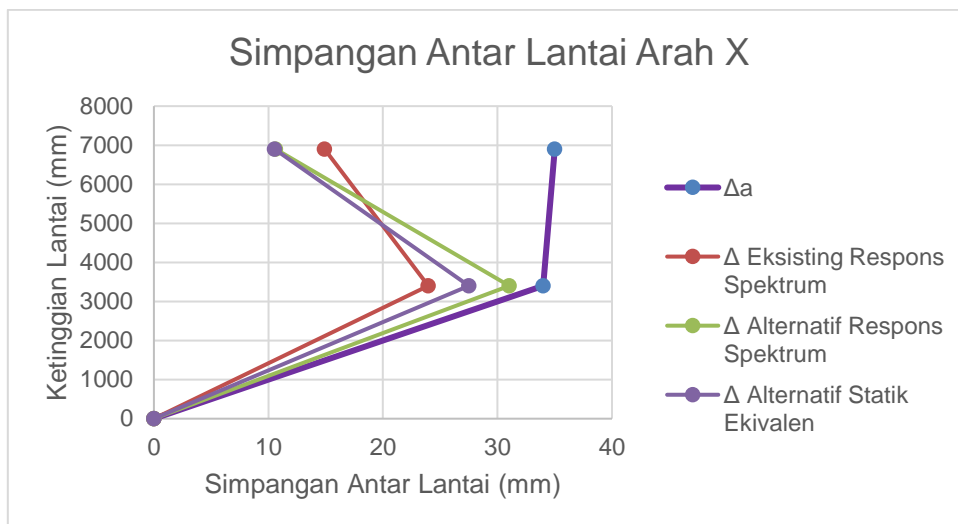
Simpangan antar lantai dapat dihitung menggunakan selisih nilai defleksi pusat massa pada elevasi yang ditinjau dengan elevasi di bawahnya. Nilai simpangan antar lantai dapat dilihat pada **Tabel 10**, **Gambar 4** dan **Gambar 5**

Tabel 10. Nilai Simpangan Antar Lantai

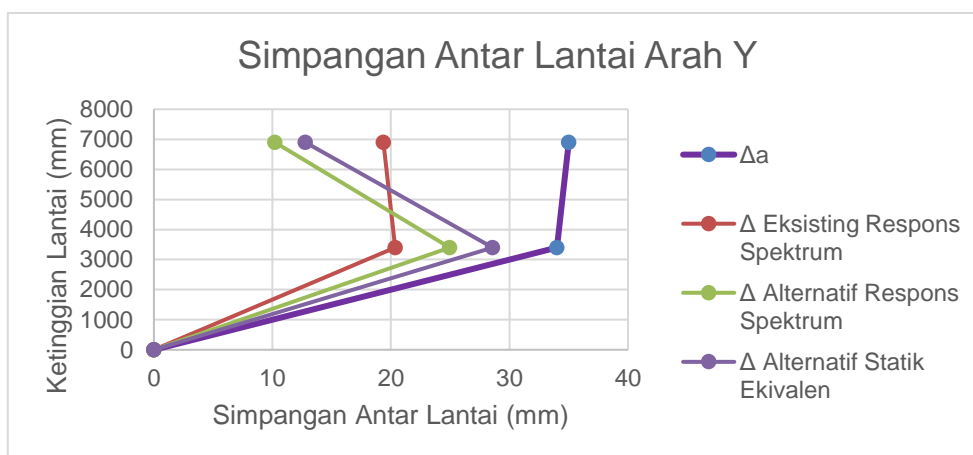
Elevasi	Δ_x mm			Δ_y mm			Δ_a mm
	Eksisting	Alternatif		Eksisting	Alternatif		
	Respons Spektrum	Respons Spektrum	Statik Ekuivalen	Respons Spektrum	Respons Spektrum	Statik Ekuivalen	
+6,9 m	14,898	10,614	10,551	19,367	10,200	12,786	35
+3,4 m	23,958	31,035	27,504	20,354	24,963	28,587	34

dengan Δ_x adalah simpangan antar lantai arah X, Δ_y adalah simpangan antar lantai arah Y dan Δ_a adalah simpangan antar lantai izin.

Gambar 4 dan **Gambar 5** menunjukkan hasil simpangan antar lantai yang terjadi. Terlihat simpangan antar lantai yang terjadi baik pada arah X maupun arah Y tidak melewati batas simpangan antar lantai izin.



Gambar 4. Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 5. Simpangan Antar Lantai Arah

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan kayu durian baik gergajian maupun laminasi pada struktur gedung belajar baru SMAN 1 Margaasih menunjukkan hasil respon struktur yang baik. Berat jenis kayu durian yang lebih ringan dibandingkan beton bertulang, menyebabkan nilai periode struktur gedung alternatif yang dihasilkan menjadi lebih kecil dibandingkan struktur gedung eksisting. Selain itu, berat struktur gedung alternatif jauh lebih ringan dengan rasio 1:3 dibandingkan struktur gedung eksisting, sehingga mampu juga mengurangi dimensi fondasi dasar. Simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur gedung alternatif memenuhi simpangan izin yang disyaratkan, baik menggunakan metode statik ekuivalen maupun metode respon spektrum, sehingga penggunaan kayu durian dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif material konstruksi pengganti pada bangunan serupa ke depannya terutama gedung 2 lantai hingga 4 lantai.

DAFTAR RUJUKAN

[1] Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007 tentang Standar Sarana dan Prasarana untuk Sekolah Dasar/ Madrasah Ibtidaiyah (SD/MI), Sekolah Menengah Pertama/ Madrasah Tsanawiyah (SMP/MTs) dan Sekolah Menengah Atas/ Madrasah Aliyah (SMA/MA).

- [2] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 22/PRT/2018 tentang Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung Negara.
- [3] M. Aldiansyah, K. R. Ratnayanti dan E. Desimaliana, "Kajian Teknis Waktu dan Biaya pada Perbandingan Struktur Atap Kayu dan Struktur Atap Baja Ringan," *Reka Racana*, vol. 1, no. 5, 118 - 129, 2019.
- [4] N. V. Diredja, "Kajian Perbandingan Kuat Tumpu Baut Sejajar Serat Hasil Uji Eksperimental dan SNI 7973: 2013," *Reka Racana*, vol. 3, no. 4, 40 - 47, 2018.
- [5] J. A. Tjondro, "Perkembangan dan Prospek Rekayasa Struktur Kayu di Indonesia," *Seminar dan Lokakarya Rekayasa Struktur Program Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra*, 2014.
- [6] E. Desmaliana, "Kajian Eksperimental Perilaku Lentur Balok Laminasi Lengkung dari Kayu Jabon," *Reka Racana*, vol. 3, no. 3, 12 - 19, 2017.
- [7] I. M. Sulastiningsih, Nurwati dan A. Santoso, "Pengaruh Lapisan Kayu Terhadap Sifat Bambu Lamina," *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 23, no. 1, 15 - 22, 2005.
- [8] A. Martawijaya, I. Kartasujan K. Kadir dan S. A. Prawira, *Atlas Kayu Indonesia: Jilid I*. Departemen Kehutanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Hutan, Bogor. 2005.
- [9] BS EN 1194: 1999, *Timber Structures - Glued Laminated Timber - Strength Classes and Determination of Characteristic Values*, BSI, United Kingdom, 1999.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 7973: 2013 tentang Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2013.
- [11] T. R. Mardikanto, L. Karlinasari dan E. T Bahtiar, *Sifat Mekanis Kayu*, IPB Press, Bogor, 2011.
- [12] A. I. Fidausy, I. Waluyohadi dan E. Arifin, *Desain Struktur Kayu dengan Metode LRFD*, UB Press, Malang, 2020.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1727: 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2020.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726: 2019 tentang Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Nongedung," Badan Standardisasi Nasioanl, Jakarta, 2019.
- [15] S. Mentari, "Respon Struktur Gedung Bertingkat Banyak dengan *Layout* Persegi Panjang Menggunakan Dinding Geser di Perimeter Bagian Luar dan di Bagian Dalam," *Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanri Abeng*, vol 2, no. 16, 157 - 171, 2020.
- [16] A. Prabowo dan M. Lutfi, " Analisis Struktur Bangunan Gedung Sekolah Akibat Penambahan Ruang Kelas Baru (Studi Kasus di SMK Bina Putera Kota Bogor)," *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur dan Fasilitas*, vol 2, no. 4, 133 - 148, 2020.
- [17] D. Mulyadi, "Perbandingan Analisis Struktur dengan Metode Respons Spektrum dan Statik Ekuivalen pada Gedung Kayu Laminasi Akibat Gempa," *Tugas Akhir Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung*, 2022.
- [18] H. Setiawan dan N. V. Diredja, "Analisis Perbandingan Kebutuhan Baja Ringan untuk Delapan Tipe Kuda-kuda Atap," *FTSP Series: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2022*, 2022.