

Perhitungan Pergeseran Garis Netral Penampang Balok Kayu Jati dengan Menggunakan Program Matlab

Achmad Basuki^{1*}, Halwan Alfisa Saifullah¹, Daniel Sugihantoro², Endang Rismunarsi¹, dan Agus Supriyadi¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

² Mahasiswa Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Email: achmadbasuki@staff.uns.ac.id

Dikirim: 21 Juli 2022

Direvisi: 22 Juli 2022

Diterima: 23 Juli 2022

ABSTRAK

Material kayu dapat menjadi alternatif yang baik karena memiliki sifat yang *reversible*, *renewable* dan memiliki kekuatan yang dapat diandalkan sehingga umum digunakan sebagai bahan konstruksi. Kayu yang sering digunakan adalah kayu jati (*Tectona grandis*) karena memiliki daya tahan alami yang sangat tinggi. Pengujian material kayu umumnya memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan kuat tekannya. Tetapi kenyataannya, pada pengujian lentur, keruntuhan awal yang terjadi merupakan keruntuhan tarik. Hal itu dikarenakan adanya pergeseran garis netral pada saat mengalami beban lentur. Perhitungan pergeseran garis netral tidak memungkinkan jika dihitung secara langsung, sehingga dibuatlah aplikasi untuk menghitung pergeseran garis netral pada penampang balok kayu jati. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi MATLAB dengan menggunakan data sekunder dari penelitian sebelumnya. Dari hasil penelitian ini, mendapatkan nilai faktor konversi antara tegangan aksial dengan tegangan lentur adalah 1,9 untuk tarik, dan 1,2 untuk tekan sehingga didapatkan hasil pendekatan yang mirip dengan data eksperimental.

Kata kunci: kayu jati, pergeseran garis netral, MATLAB

1. PENDAHULUAN

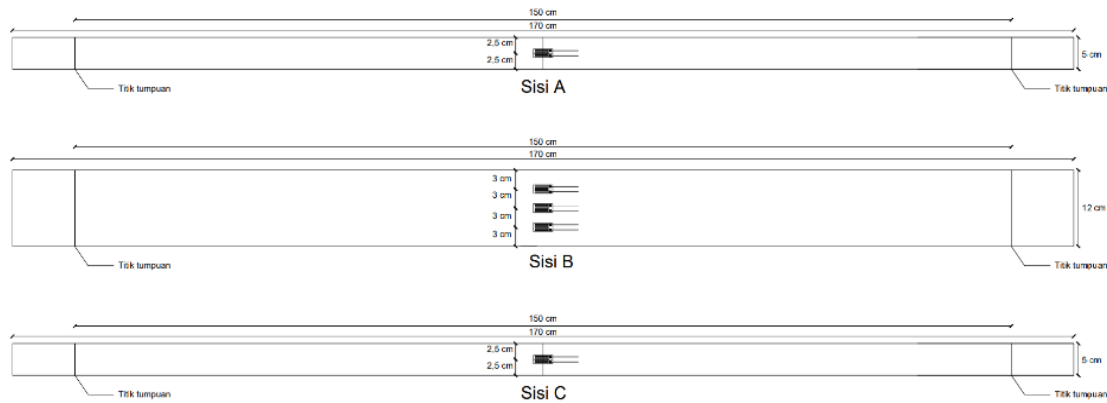
Kayu merupakan alternatif material bangunan karena sifatnya yang *reversible* dan *renewable* serta memiliki kuat tekan maupun kuat tarik yang dapat diandalkan (Awaludin & Irawati, 2005). Oleh karena itu, penelitian mengenai kayu menjadi penting dan diperlukan untuk masa mendatang. Salah satu jenis kayu yang umum digunakan di Indonesia adalah kayu Jati atau *Tectona grandis* yang bahkan menjadi peluang yang sangat baik di Indonesia (Stewart dkk., 2021). Kayu Jati memiliki stabilitas bentuk yang sangat baik dan memiliki daya tahan alami yang sangat tinggi serta potensial yang sangat tinggi, sehingga sering digunakan sebagai bahan konstruksi maupun bahan utama furnitur (Forest Service & Products Laboratory, 2010; Singh dkk., 1989). Tidak sedikit penelitian yang mempelajari sifat properti dari kayu Jati pada beberapa tempat (Hadjib dkk., 2006; Marsoem dkk., 2016; Martha dkk., 2021; Miranda dkk., 2011). Beberapa usaha dilakukan untuk merekayasa kayu Jati sehingga dapat digunakan sebagai bahan utama pembangunan (Aristide dkk., 2015; Gaff dkk., 2019; Kumar Jain & Gupta, 2018; Vyas dkk., 2019).

Pada pengujian laboratorium, kayu memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan (Forest Service & Products Laboratory, 2010). Tetapi, pada saat diberikan beban lentur, keruntuhan awal yang terjadi adalah keruntuhan serat terbawah atau serat tarik (Darmawan dkk., 2011). Dalam hal ini, ditemukan adanya perbedaan antara tegangan lentur dengan tegangan aksial langsung yang terjadi karena adanya respon khusus dari kayu berupa pergeseran garis netral. Untuk dapat mengetahui besar pergeseran garis netral pada balok diperlukan pengujian laboratorium dan tidak memungkinkan jika melakukan perhitungan secara manual. Sehingga, dibuatlah sebuah aplikasi untuk memperkirakan pergeseran garis netral yang terjadi serta nilai faktor koreksi untuk melakukan konstruksi diagram tegangan lentur melalui nilai tegangan aksial langsung.

2. METODOLOGI

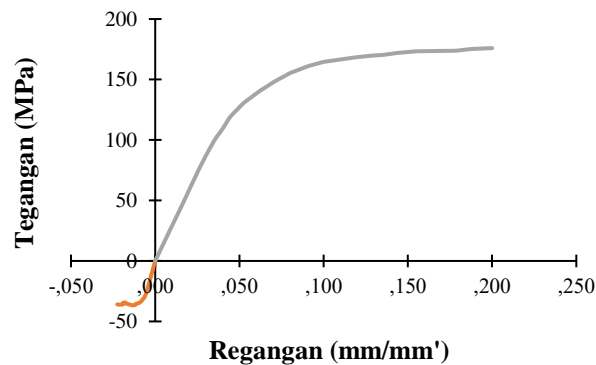
2.1 Data Properti Kayu Jati

Dalam melakukan perhitungan, dibutuhkan data pengujian seperti uji tarik, uji tekan, dan pengujian lentur. Dalam penelitian ini, data tersebut menggunakan data sekunder yang berasal dari penelitian sebelumnya yang diteliti oleh Darmawan dkk., (2011). Data regangan yang terukur berasal dari lima titik pada penampang balok kayu. Ilustrasi lima titik pengukuran regangan sampel kayu tersebut ditunjukkan melalui Gambar 1.

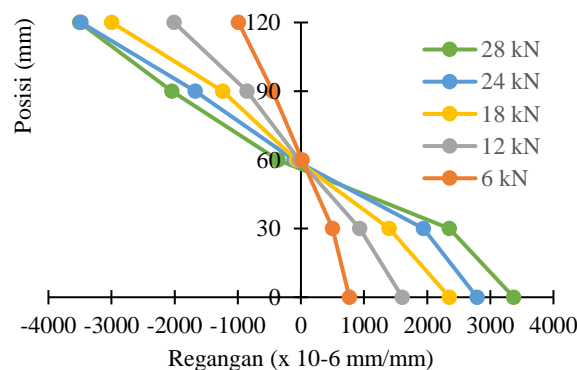


Gambar 1. Ilustrasi titik pengukuran regangan pada balok kayu

Berdasarkan data sekunder mengenai properti dasar kayu Jati, didapatkan grafik hubungan regangan-tegangan seperti yang ditunjukkan melalui Gambar 2. Dari hasil pengujian ini, didapatkan nilai tegangan tekan maksimal rata-rata sebesar 35,99 MPa dengan nilai regangan sebesar 0,0117 dan nilai modulus elastisitas tekan sebesar 4721,71 MPa. Sedangkan untuk tarik, didapatkan nilai tegangan maksimal rata-rata sebesar 187,10 MPa dengan nilai regangan sebesar 0,1172 dan modulus elastisitas tarik sebesar 3113,48 MPa. Data hasil pengujian lentur berupa hubungan antara nilai regangan pada masing-masing titik dan nilai beban ditunjukkan melalui Tabel 1 untuk data pertama dan Tabel 2 untuk data yang kedua. Hasil berupa grafik yang menggambarkan estimasi dari regangan yang terjadi pada tiap titik ditunjukkan melalui Gambar 3 dengan absis menunjukkan titik lokasi dalam satuan mm yang ditinjau dan ordinat menunjukkan besar regangan dengan satuan micron atau 10^{-6} .



Gambar 2. Hubungan Regangan-Tegangan kayu Jati



Gambar 3. Diagram regangan dari kayu jati

Tabel 1. Nilai regangan ($\mu\epsilon$) hasil pengujian lentur kayu jati data 1

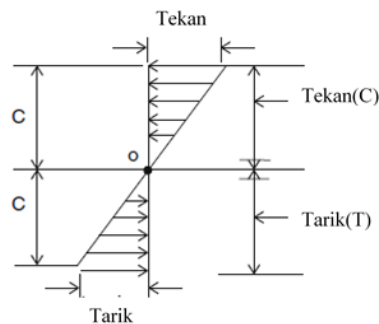
Titik (mm)	Beban				
	6 kN	12 kN	18 kN	24 kN	30 kN
120	-649	-1256	-1865	-2543	-3156
90	-161	-167	-194	-217	-236
60	-17	-32	-18	3	16
30	361	682	1061	1476	1869
0	637	1218	1822	2605	3251

Tabel 2. Nilai regangan ($\mu\epsilon$) hasil pengujian lentur kayu jati data 1

Titik (mm)	Beban				
	6 kN	12 kN	18 kN	24 kN	30 kN
120	-988	-2010	-2996	-3484	-3439
90	-445	-851	-1239	-1676	-2142
60	19	-25	-73	-109	-427
30	498	930	1398	1942	2576
0	767	1607	2353	2790	3673

2.2 Kondisi Elastik dan Inelastik

Pada saat balok diberikan beban berupa momen, akan timbul tegangan berupa tegangan normal pada masing-masing titik di mana besaran dari tegangan normal tersebut tergantung pada titik yang ditinjau. Hal ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4. Tegangan yang terjadi pada penampang dapat mengalami kondisi elastik dan kondisi inelastik.

**Gambar 4.** Tegangan Lentur

Dalam analisis tegangan, digunakan teori balok yaitu Euler-Bernoulli theory of beams (Ghavami, 2015). Asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Potongan melintang dari balok memiliki kekakuan yang tak hingga pada penampangnya,
2. Potongan melintang dari balok tetap datar setelah deformasi, dan
3. Potongan melintang dari balok tetap tegak lurus terhadap sumbu yang berubah dari balok.

Selain asumsi tersebut, untuk teori elastik berlaku asumsi Hukum Hooke untuk masing-masing segmen secara individu, yaitu tegangan sebanding dengan regangan. Sehingga, akan didapatkan persamaan tegangan lentur pada kondisi elastik seperti dituliskan pada Persamaan 1) a) i) (1), dengan σ_y merupakan tegangan pada ketinggian y , M merupakan besar momen, dan I_x merupakan momen inersia penampang.

$$\sigma_y = \frac{My}{I_x} \quad (1)$$

Sedangkan jika pada kondisi plastis, tegangan yang terjadi relatif kompleks. Karena pada kayu tegangan plastis tidak dapat diidealisasikan. Maka diperlukan melakukan iterasi dengan memenuhi kondisi kesetimbangan. Kondisi tersebut dituliskan melalui Persamaan (2), dengan F merupakan total atau resultan gaya yang bekerja, C merupakan total gaya tekan, dan T merupakan total gaya tarik. Sedangkan untuk menghitung besar momen yang terjadi, digunakan Persamaan (3).

$$\sum F = C + T = 0 \quad (2)$$

$$M = \int \sigma_y dA \quad (3)$$

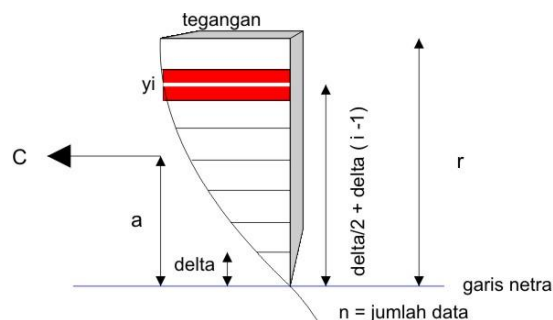
2.3 Strategi Pengolahan Data Eksperimental

Strategi pengolahan data dan solusi numerik dilakukan dengan menggunakan aplikasi MATLAB 2013. Bahasa pemrograman ini dipilih karena memiliki *library* fungsi matematika dan *engineering* yang sangat lengkap dan penggunaannya relatif lebih mudah dibandingkan dengan bahasa pemrograman lainnya (Cahyono, 2016). Dalam perhitungan pergeseran garis netral dari data yang ada, dimulai dengan mencari nilai regangan dari beban yang ingin ditinjau. Pencarian nilai regangan pada beban yang akan ditinjau tersebut dilakukan dengan cara interpolasi linear data regangan. Setelah didapatkan nilai regangan, dilakukan perhitungan regresi polinomial untuk mendapatkan perkiraan bentuk regangan yang terjadi pada penampang. Dari bentuk regangan tersebut bisa didapatkan posisi garis netral dengan cara mencari perpotongan antara garis regangan dengan sumbu tengah penampang. Selain mencari posisi garis netral penampang, dilakukan juga konversi nilai regangan menjadi nilai tegangan dengan menggunakan data regangan-tegangan yang dimiliki sehingga didapat diagram tegangan.

Dalam melakukan perhitungan resultan gaya, dilakukan dengan menggunakan pendekatan integrasi numerik. Perhitungan tersebut dimulai dengan membagi segmen tegangan menjadi segmen kecil yang memiliki lebar delta (Δ) seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 5. Setelah itu, dihitung nilai y_i dan digunakan persamaan (5) di mana F merupakan gaya tekan/tarik, Δ merupakan lebar segmen, y_i merupakan besar tegangan pada segmen ke- i dan b merupakan lebar penampang untuk mendapatkan total gaya pada masing-masing bagian.

$$F = \sum_{i=1}^n \Delta y_i \quad (4)$$

Setelah mendapatkan gaya tekan (C) dan gaya tarik (T), dilanjutkan dengan menghitung titik berat pada setiap gaya untuk mendapatkan jarak antara resultan tarik dan resultan tekan ke sumbu netral. Jarak dari titik berat ke sumbu netral akan digunakan untuk menghitung besarnya momen dalam yang terjadi, sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan momen luar. Untuk mendapatkan jarak dari sumbu netral ke pusat gravitasi, digunakan persamaan (5) di mana \bar{y} merupakan jarak titik berat gaya ke garis netral dan y_i merupakan besar tegangan pada segmen ke- i yang selanjutnya dinamakan a untuk jarak ke titik berat gaya tekan dan b untuk jarak ke titik berat gaya tarik.



Gambar 5. Ilustrasi pendekatan integrasi numerik

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(y_i \left(i - \frac{1}{2} \right) \right)}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (5)$$

Untuk perhitungan faktor koreksi dari hasil eksperimental, dilakukan dengan membandingkan beban yang seharusnya terjadi dengan gaya dalam yang terjadi. Perhitungan gaya tekan dan tarik akibat dari beban luar dihitung menggunakan persamaan (6) dimana C' dan T' berturut-turut merupakan besar gaya tekan dan tarik yang seharusnya terjadi, sedangkan a dan b berturut-turut merupakan jarak ke titik berat gaya tekan dan gaya tarik.

$$C' = T' = \frac{M}{a + b} \quad (6)$$

Sehingga untuk faktor koreksi tekan dan tarik berturut-turut dihitung dengan menggunakan persamaan (7) dan persamaan (8) sebagai berikut.

$$\theta_{tekan} = \frac{C'}{C} \quad (7)$$

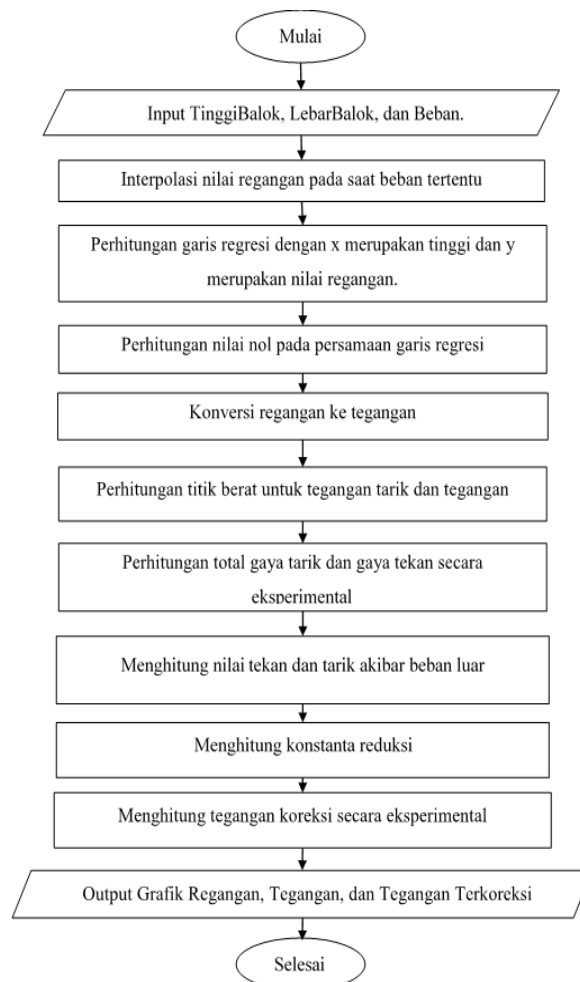
$$\theta_{tarik} = \frac{T'}{T} \quad (8)$$

Secara ringkas, strategi atau algoritma pengolahan data eksperimental dapat digambarkan melalui diagram alir yang disajikan oleh Gambar 6.

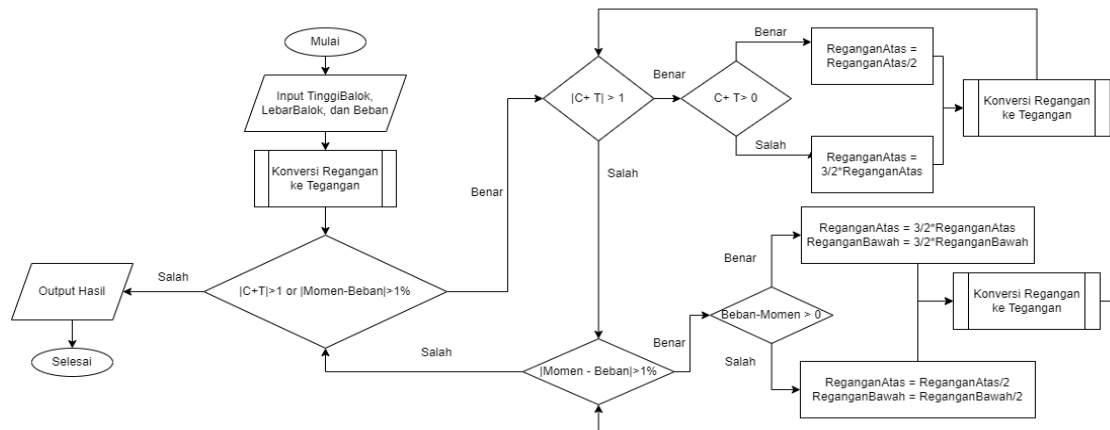
2.4 Strategi Penyelesaian Numerik

Untuk menghitung pendekatan pergeseran garis netral, dimulai dengan membuat asumsi regangan awal untuk atas dan bawah sebesar 0,003. Dilanjutkan dengan melakukan konversi nilai regangan menjadi tegangan. Dari nilai tegangan yang didapatkan, dilakukan pengecekan apakah telah memenuhi kesetimbangan atau tidak, dengan cara menghitung selisih antara gaya tekan dan gaya tarik. Jika perbedaan antara gaya tekan dan tarik lebih besar dari galat yang ditentukan, penyesuaian dilakukan dengan cara menambah atau mengurangi nilai regangan atas. Setelah penyesuaian untuk nilai regangan, seluruh proses diulang dan diperiksa lagi hingga memenuhi syarat kesetimbangan gaya.

Setelah memenuhi syarat kesetimbangan gaya, dilakukan juga pengecekan syarat kesetimbangan momen yaitu momen dalam sama dengan momen luar. Proses perhitungan yang dilakukan kurang lebih sama, hanya saja yang membedakan adalah pada saat proses penyesuaian regangan. Proses penyesuaian regangan yang terjadi dilakukan tidak hanya menambah atau mengurangi salah satu nilai regangan, melainkan melakukan penyesuaian pada kedua nilai regangan, yaitu nilai regangan serat teratas dan serat terbawah. Setelah itu dilakukan pengecekan dan penyesuaian berulang-ulang hingga memenuhi syarat kesetimbangan momen. Untuk mendapatkan nilai faktor koreksi untuk merubah nilai tegangan langsung menjadi tegangan lentur, dilakukan trial and error untuk nilai faktor koreksi hingga didapatkan nilai faktor yang mirip dengan hasil pengolahan data eksperimental. Secara ringkas, diagram alir untuk untuk perhitungan secara numerik disajikan melalui Gambar 7.



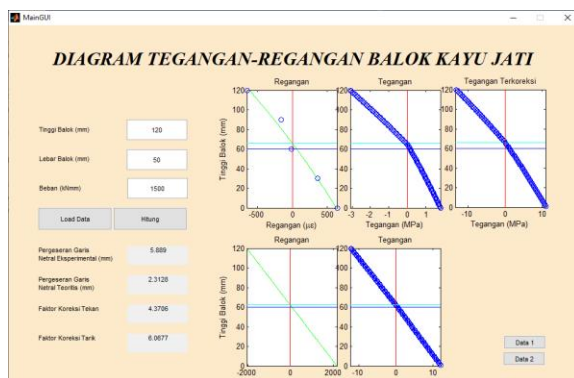
Gambar 6. Diagram alir perhitungan eksperimental



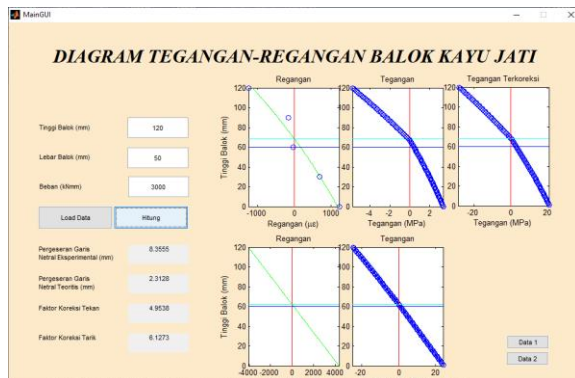
Gambar 7. Diagram alir perhitungan teoritis

3. HASIL DAN DISKUSI

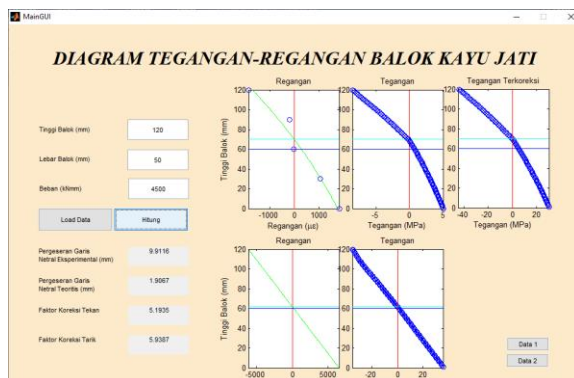
Berikut disajikan *output* dari hasil perhitungan menggunakan aplikasi MATLAB. *Output* yang disajikan dari berupa hasil perhitungan pada beban berturut-turut 1500 kNmm, 3000 kNmm, 4500, 6000 kNmm, dan 7000 kNmm yang disajikan berturut-turut melalui Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12 untuk data 1, sedangkan data 2 disajikan melalui Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17. Sedangkan untuk rekapitulasi sekaligus perbandingan antara pengolahan data eksperimental dengan hasil perhitungan secara numerik menggunakan MATLAB ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 dan digambarkan berupa grafik melalui Gambar 18.



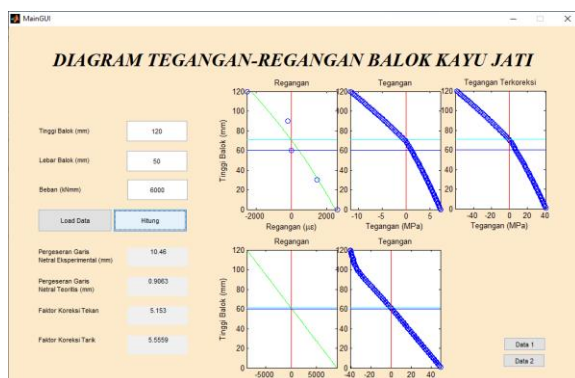
Gambar 8. Output Program data 1 pada Beban Momen 1500 kNmm



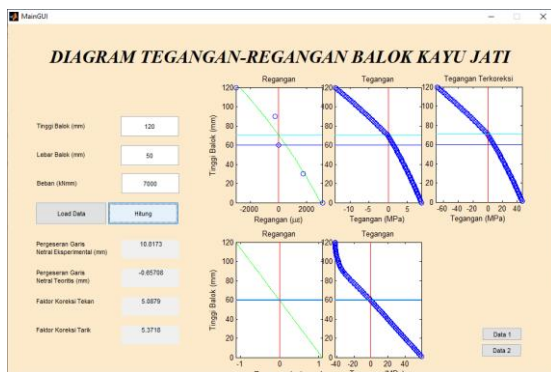
Gambar 9. Output Program data 1 pada Beban Momen 3000 kNmm



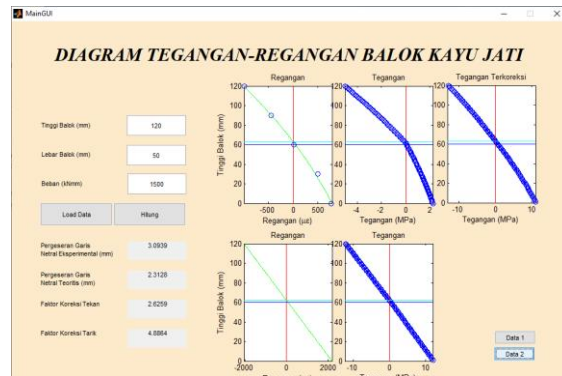
Gambar 10. Output Program data 1 pada Beban Momen 4500 kNmm



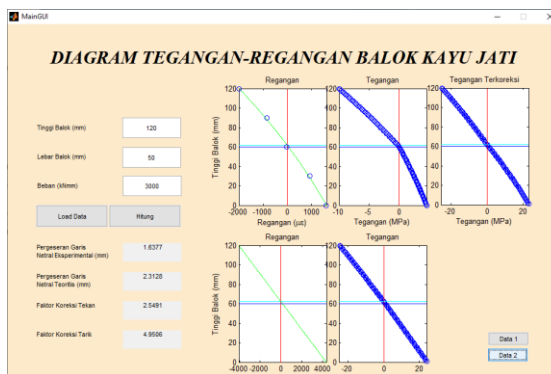
Gambar 11. Output Program data 1 pada Beban Momen 6000 kNmm



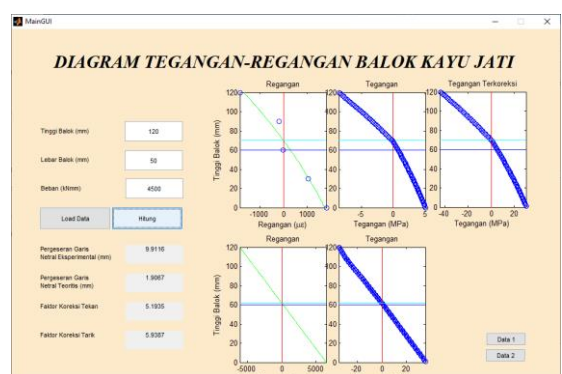
Gambar 12. Output Program data 1 pada Beban Momen 7000 kNm



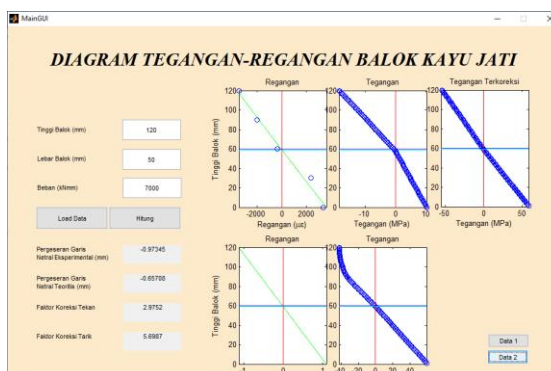
Gambar 13. Output Program data 2 pada Beban Momen 1500 kNm



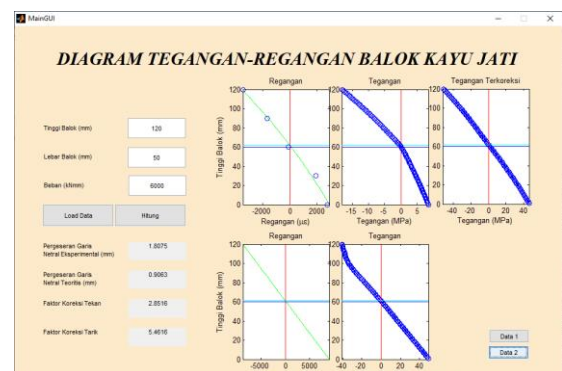
Gambar 14. Output Program data 2 pada Beban Momen 3000 kNm



Gambar 15. Output Program data 2 pada Beban Momen 4500 kNm



Gambar 16. Output Program data 2 pada Beban Momen 6000 kNm



Gambar 17. Output Program data 2 pada Beban Momen 7000 kNm

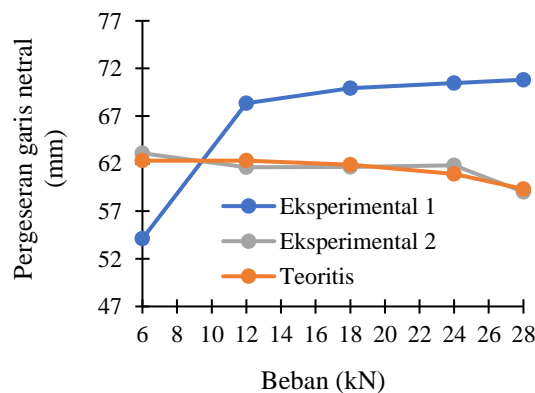
Dari hasil pengolahan data eksperimental dan dibandingkan dengan hasil perhitungan secara numerik menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Perbedaan yang dihasilkan <1%. Perbedaan yang dapat dikatakan sangat kecil ini didukung dengan adanya faktor koreksi berupa faktor pengali dalam perhitungan simulasi numerik. Faktor pengali yang digunakan berupa faktor pengali nilai tegangan untuk data hubungan pada perhitungan perencanaan balok tegangan-regangan. Sehingga faktor pengali ini dapat digunakan sebagai faktor koreksi modulus elastisitas pada perhitungan perencanaan balok. Dengan melihat bentuk serta besar tegangan yang ditampilkan dari hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa program ini juga mampu untuk melakukan rekonstruksi ulang diagram tegangan yang terjadi pada balok kayu jati. Sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan perhitungan kapasitas balok kayu jati dalam memikul beban lentur.

Tabel 3. Rekapitulasi pergeseran garis netral data 1

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Posisi garis netral eksperimental (mm)	Posisi garis netral teoritis (mm)
6	1500	54,1110	62,3128
12	3000	68,3350	62,3128
18	4500	69,9116	61,9067
24	6000	70,4600	60,9063
28	7000	70,8173	59,3429

Tabel 4. Rekapitulasi pergeseran garis netral data 2

Beban (kN)	Momen (kNmm)	Posisi garis netral eksperimental (mm)	Posisi garis netral teoritis (mm)
6	1500	63,0939	62,3128
12	3000	61,6377	62,3128
18	4500	61,6630	61,9067
24	6000	61,8075	60,9063
28	7000	59,0266	59,3429

**Gambar 18.** Grafik hubungan pergeseran garis netral dengan beban.

Berdasarkan iterasi yang telah dilakukan dalam pencocokan hasil pengolahan data dengan simulasi numerik, didapatkan nilai faktor koreksi untuk tekan sebesar 1,2 sedangkan nilai faktor koreksi untuk tarik sebesar 1,9 untuk kayu jati. Dari perbedaan nilai faktor koreksi ini, dapat disimpulkan bahwa sifat properti kayu yang mempengaruhi pergeseran garis netral secara langsung adalah modulus elastisitas. Hal ini dapat dibuktikan dari nilai faktor koreksi tarik yang lebih besar dibandingkan tekan walaupun nilai tegangan maksimum yang berkebalikan.

Dengan adanya simulasi numerik ini, dapat membantu dalam memahami perilaku kayu jati saat mengalami beban lentur, di mana pada saat beban tertentu terjadi penyesuaian pada daerah tekan. Penyesuaian yang terjadi berupa peningkatan kapasitas tekan dengan sebagian tegangan tekan mencapai kondisi plastis. Sehingga pada daerah tersebut penggambaran tegangan relatif konstan walaupun dengan regangan yang berbeda. Perbedaan hasil percobaan dan teoritis karena dalam perhitungan teoritis terdapat beberapa faktor yang tidak diperhitungkan, misalnya gaya geser yang terjadi akibat beban lentur, perbedaan properti kayu berdasarkan letak pemotongan, perbedaan tegangan runtuh lentur dengan aksial langsung, dan lain sebagainya.

4. KESIMPULAN

Program perhitungan pergeseran garis netral untuk kayu jati ini dapat digunakan untuk memprediksi besar pergeseran garis netral yang terjadi serta dapat merekonstruksi tegangan pada saat beban tertentu sebelum mengalami runtuh dengan melakukan input data seperti dimensi penampang. Didapatkan faktor koreksi pengali yang dapat digunakan untuk perhitungan koreksi modulus elastisitas sebesar 1,2 untuk tekan dan 1,9 untuk tarik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilakukan dengan penelitian fundamental Universitas Sebelas Maret, dengan nomor kontrak 260/UN27.22/HK.07.00/2021. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aristide, H. C., Christophe, A., Sossou, H., Malahimi, A., & Antoine, V. (2015). Mass Diffusivity Determination of Teak Wood (*Tectonagrandis*) Used as Building Material. *Procedia Engineering*, 127, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.327>
- Awaludin, A., & Irawati, I. S. (2005). *Konstruksi Kayu*. Biro Penerbit Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Cahyono, B. (2016). PENGGUNAAN SOFTWARE MATRIX LABORATORY (MATLAB) DALAM PEMBELAJARAN ALJABAR LINIER. *Phenomenon : Jurnal Pendidikan MIPA*, 3(1), 45–62. <https://doi.org/10.21580/phen.2013.3.1.174>
- Darmawan, S., Yuniarto, W., & Alfisa, H. (2011). Perilaku Mekanik Penampang Balok Kayu di Bawah Aksi Momen Lentur Murni. *Seminar Nasioanal VII 2011 Teknik Sipil ITS Surabaya*.
- Forest Service, U., & Products Laboratory, F. (2010). *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. www.fpl.fs.fed.us.
- Gaff, M., Kačík, F., Gašparík, M., Todaro, L., Jones, D., Corleto, R., Makovická Osvaldová, L., & Čekovská, H. (2019). The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis* L. f.) wood. *Construction and Building Materials*, 200, 551–558. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.106>
- Ghavami, P. (2015). *Mechanics of Materials An Introduction to Engineering Technology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07572-3>
- Hadjib, N., Muslich, M., & Sumarni, G. (2006). SIFAT FISIS DAN MEKANIS KAYU JATI SUPER DAN JATI LOKAL DARI BEBERAPA DAERAH PENANAMAN (Physical and Mechanical Properties of Super and Local Teak Woods Originated from Several Plantation Areas). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(4), 359–369.
- Kumar Jain, N., & Gupta, M. K. (2018). Dynamic mechanical properties of hybrid teak/shorea robusta wood reinforced epoxy composite. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 19893–19898. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2018.06.354>
- Marsoem, S. N., Prasetyo, V., & Sulisty, J. (2016). *A study of teak wood quality from community forests in Gunungkidul III . Physical properties. January*.
- Martha, R., Mubarak, M., Batubara, I., Rahayu, I. S., Setiono, L., Darmawan, W., Akong, F. O., George, B., Gérardin, C., & Gérardin, P. (2021). Effect of furfurylation treatment on technological properties of short rotation teak wood. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1689–1699. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.092>
- Miranda, I., Sousa, V., & Pereira, H. (2011). Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of Wood Science*, 57(3), 171–178. <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1164-8>
- Singh, P., Jain, S., & Bhargava, S. (1989). A 1,4-Antraquinone derivative from *Tectona grandis*. *Phytochemistry*, 28(4), 1258–1259. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(89\)80224-9](https://doi.org/10.1016/0031-9422(89)80224-9)
- Stewart, H. T. L., Race, D. H., Rohadi, D., & Schmidt, D. M. (2021). Growth and profitability of smallholder sengon and teak plantations in the Pati district, Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 130(August 2020), 102539. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102539>
- Vyas, P., Yadav, D. K., & Khandelwal, P. (2019). *Tectona grandis* (teak)—A review on its phytochemical and therapeutic potential. *Natural Product Research*, 33(16), 2338–2354. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1440217>