

## Perilaku Rangkak *Open Web Truss Joist* (OWTJ) LVL Sengon

Achmad Basuki<sup>2</sup>, \*Ali Awaludin<sup>1</sup>, Bambang Suhendro<sup>1</sup>, Suprpto Siswosukarto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

\*)[ali.awaludin@ugm.ac.id](mailto:ali.awaludin@ugm.ac.id)

Received: 28 Juli 2020 Revised: 30 Desember 2020 Accepted: 8 Januari 2021

### Abstract

*Laminated Veneer Lumber (LVL) Sengon is classified as one of the engineering products having a significant increase of both physical and mechanical properties compared with Sengon solid wood. Considering its short planting years and sustainable production, Sengon wood is very potential to be used as construction materials of low-rise houses to support the housing needs in Indonesia. Creep behaviour of LVL Sengon material is one of the mechanical properties that needs to be considered. This article evaluated value of creep factor of the open web truss joist (OWTJ) LVL Sengon test and compared this experimental creep factor with the numerical results developed by FE model taking into account the viscoelastic parameters of authors' previous study. The viscoelastic parameters were based on a 217-day creep test of compression and tension parallel to the grain of LVL Sengon at 20 % of stress level that were further modeled using Prony series creep model having  $n$  equals to 3. The reduction in the modulus of elasticity over time resulted in creep deflection and creep factor values at 217 days of testing results and FE numerical analysis of the OWTJ LVL Sengon ranging from 1.50–1.54; while the predicted creep factor at 25 years of service life is 1.57 or greater than the creep factor value provided in SNI 7973: 2013 of 1.5.*

**Keywords:** LVL Sengon, open web truss joist, creep test, prony series, FE model

### Abstrak

*Laminated Veneer Lumber (LVL) Sengon merupakan salah satu produk kayu rekayasa yang propertis fisik dan mekaniknya mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan kayu Sengon utuh. Mengingat masa tanam yang singkat dan hasil produksi yang berkelanjutan maka kayu Sengon sangat potensial untuk digunakan sebagai material konstruksi rumah tinggal guna menunjang pemenuhan kebutuhan perumahan di Indonesia. Sebagai bahan bangunan struktural, elemen LVL Sengon akan mendukung beban dalam kurun waktu lama, sehingga perilaku rangkak material LVL Sengon harus diperhatikan. Pada artikel ini dikaji perilaku rangkak LVL Sengon hasil experimental laboratorium dan analisis numerik. Nilai faktor rangkak hasil pengujian diperoleh dari uji rangkak open web truss joist (OWTJ) LVL. Sedangkan analisis numerik rangkak OWTJ menggunakan software ABAQUS dengan mengadopsi parameter-parameter viskoelastik hasil uji rangkak tekan dan tarik LVL Sengon. Parameter ini diperoleh dengan menggunakan model Prony series  $n=3$  pada level pembebanan 20% dan lama uji 217 hari. Reduksi nilai modulus elastisitas seiring berjalannya waktu menyebabkan terjadinya defleksi rangkak dan nilai faktor rangkak pada 217 hari hasil pengujian dan analisis numerik OWTJ LVL Sengon berkisar 1,50–1,54; sedangkan prediksi nilai rangkak pada umur layan 25 tahun sebesar 1,57 atau lebih besar dari nilai faktor rangkak yang ditetapkan dalam SNI 7973:2013 adalah sebesar 1,5.*

**Kata kunci:** LVL Sengon, open web truss joist, uji rangkak prony series, model elemen hingga

### Pendahuluan

Kebutuhan perumahan masyarakat yang belum terpenuhi (*backlog*) di Indonesia masih cukup tinggi yaitu sekitar 13,5 juta pada tahun 2010 dan menurun sekitar 11,4 juta pada tahun 2015 (Awaludin, *et al.*,

2018 & Pusat Pengelolaan Dana Pembiayaan Perumahan, 2016). Untuk memenuhi hal tersebut, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui Rencana Strategis (Renstra) Perumahan 2015-2019, telah mencanangkan Program Nasional Sejuta Rumah setiap tahunnya,

70% untuk masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) dan 30% untuk non-MBR (Pusat Pengelolaan Dana Pembiayaan Perumahan, 2016). Ketersediaan lahan yang terbatas dapat dipenuhi diantaranya dengan membangun rumah susun/apartemen atau rumah bertingkat. Pencapaian target tersebut tentu perlu juga ditunjang ketersediaan material bangunan yang mencukupi, termasuk material kayu dari hutan industri.

Material kayu adalah salah satu material yang dapat diperbaharui (*renewable*), ramah lingkungan dan memiliki propertis mekanik yang lengkap, termasuk nilai rasio kekuatan terhadap berat jenis yang tinggi, sehingga cocok digunakan sebagai material struktur pada wilayah yang sering mengalami gempa. Namun, karena pengelolaan yang kurang *sustainable* (berkelanjutan) maka ketersediaan kayu hutan alam semakin menipis walaupun permintaannya masih cukup besar. Penghutanan kembali membutuhkan waktu yang lama, dapat lebih dari 25-30 tahun.

#### **Laminated veneer lumber (LVL) Sengon**

Salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan kayu adalah dengan memanfaatkan material kayu dari spesies pohon cepat tumbuh, yang dapat dipanen dalam waktu 5-10 tahun. Di antara spesies pohon cepat tumbuh yang banyak dibudidayakan saat ini adalah Jabon (*neolamarckia cadamba*) dan Sengon (*paraserianthes falcataria*). Sengon banyak ditanam di lahan-lahan dataran rendah dan tinggi (Krisnawati *et al.*, 2011).

Propertis fisik dan mekanik dari pohon cepat tumbuh memang tidak sebaik kayu dari hutan alam. Propertis kayu cepat tumbuh seperti berat jenis, kekuatan, durabilitas, dan stabilitas dimensi tersebut dapat ditingkatkan dengan mengolahnya menjadi produk kayu rekayasa seperti *glue laminated lumber* (glulam), kayu lapis (*plywood*), *medium density fibreboard* (MDF), *particleboard*, *plywood*, *laminated veneer lumber* (LVL), (Thelandersson, 2003).

Di Eropa dan Amerika, LVL telah dikembangkan sejak 1980-an. Aplikasi LVL sebagai material struktur telah banyak digunakan, diantaranya sebagai elemen balok dan kolom, struktur atap. Umumnya dibuat dari vinir-vinir kayu *softwood*, dan propertis mekaniknya dapat meningkat 50%-100% dari kayu utuhnya. LVL terdiri atas vinir-vinir yang direkatkan dengan jumlah tertentu pun telah dengan baik dimodelkan untuk memprediksi kekuatannya, sehingga akan mempermudah dalam pemanfaatannya (Gilbert *et al.*, 2017). Di Indonesia, LVL berbahan kayu juga cepat tumbuh, yang pada dekade terakhir ini dikembangkan adalah LVL Sengon, seperti tampak pada Gambar 1.



**Gambar 1. LVL Sengon**

LVL Sengon dibuat dari vinir-vinir kayu sengon setebal 2,5-3,2 mm yang saling direkatkan dengan arah serat yang sama menggunakan lem *phenolic formaldehyde* (PF) dan dikempa pada tekanan 0,6-0,7 psi pada suhu 106°C. Sebelum proses perekatan vinir-vinir tersebut telah diseleksi tanpa cacat kayu seperti mata kayu, dan dikeringkan/dioven sampai kadar air maksimal 12%. Dibandingkan dengan kayu sengon utuh, LVL Sengon memiliki peningkatan nilai sifat fisik dan mekanik (Awaludin *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan LVL Sengon diantaranya adalah pengembangan rangka kuda-kuda ringan berbahan LVL Sengon, pemanfaatan LVL Sengon sebagai struktur rangka gabel tiga sendi (Awaludin & Astuti, 2016), balok LVL kayu Sengon non-prismatis (Eratodi & Awaludin 2017), model sistem lantai balok I-joist LVL Sengon (Awaludin, *et al.*, 2017), analisis elemen hingga ketahanan lentur balok non-prismatis LVL Sengon (Awaludin, *et al.*, 2019) dan pengujian sistem lantai komposit OWTJ-pelat beton bertulang (Wusqo *et al.*, 2019).

#### **Rangkak LVL**

Namun demikian, pengkajian LVL Sengon yang berkaitan dengan perilaku jangka panjang, khususnya rangkak (*creep*), masih terbatas. Penelitian rangkak material LVL Sengon pernah dilakukan oleh Kullit (2013) yang meneliti perilaku rangkak lentur balok LVL Sengon dengan tumpuan kantilever, dan Gunawan (2013) meneliti perilaku rangkak lentur balok LVL Sengon dengan tumpuan sederhana, akan tetapi kedua penelitian rangkak tersebut dilakukan dengan benda uji kecil (20 x 20 x 640) mm dan lama pengujian 14 hari. Disamping itu, karena pengujiannya langsung berupa rangkak lentur, maka kontribusi perilaku rangkak tekan dan tarik material LVL Sengon belum dapat dijelaskan. Pada pengujian rangkak, semakin lama pengambilan data, maka akan diperoleh data rangkak yang semakin baik (Morlier, 2005).

Perilaku rangkak menjadi sebuah aspek penting untuk dielaborasi dalam desain karena kayu sengon merupakan kayu dengan kekuatan dan kekokohan rendah sebagaimana terlihat dari nilai-nilai karakteristik mekaniknya, antara lain kekuatan, modulus elastis dan berat jenis, sehingga rentan dalam mendukung beban yang bekerja dalam waktu relatif lama. Rangkak didefinisikan sebagai bertambahnya deformasi / regangan seiring berjalannya waktu akibat beban tetap. Rangkak merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam desain struktur bangunan. Hal ini dikarenakan setiap material yang digunakan pada struktur tersebut mempunyai perilaku rangkak dengan karakteristik yang berbeda-beda, seperti material baja, beton, ataupun kayu, baik kayu utuh maupun produk kayu rekayasa. Material-material tersebut mempunyai sifat viskoelastik yaitu bersifat elastik dan viskos (Bodig & Jayne, 1982).

Penelitian yang berkaitan dengan perilaku rangkak material kayu dan berbahan dasar kayu (*wood-based material*) maupun produk kayu rekayasa (*engineered wood product*) telah dilakukan, diantaranya oleh Hunt (1999) yang menyimpulkan bahwa terdapat tiga tipe rangkak material kayu yaitu rangkak viskoelastik, *machno-sorptive*, dan *pseudo-creep* dan *recovery*. Pada pengujian rangkak, untuk jenis kayu yang sama, spesimen kecil akan mempunyai nilai rangkak relatif yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen ukuran struktural. Kayu muda (*juvenile*) mempunyai nilai rangkak relatif yang dapat mencapai 5 kali rangkak relatif kayu dewasa (*mature*). Sedangkan, Piter *et al.* (2007) telah melakukan pengujian rangkak lentur balok ukuran struktural (lebar 43,8 mm x tinggi 91,4 mm, dan rasio bentang/tinggi rata-rata 28) kayu *Eucalyptus grandis* Argentina selama 470 hari. Defleksi relatif hasil pengujian menunjukkan nilai 1,89 mm. Lendutan rangkak hasil pengujian ini mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan perhitungan lendutan rangkak berdasarkan standar negara Brasil (NBR 7190), Amerika (NDS *for Wood Construction*), Peru, dan Eropa (Eurocode 5), sebaliknya lebih kecil bila dibandingkan dengan peraturan negara New Zealand (NZS 3603), Chili (NCh 1198), dan Jerman (DIN 1052).

Yazdani *et al.*, (2004) telah menguji creep lentur enam belas balok ukuran structural dari *Structural Composite Lumber* (SCL) jenis LVL dan *parallel strand lumber* (PSL) dari kayu *Douglas fir* dan *Southern yellow pine* pada kondisi lingkungan yang terbuka dan langsung berhubungan dengan cuaca selama 500 hari untuk rangkak dan 200 hari relaksasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perilaku rangkaknya dapat didekati dengan baik menggunakan model Burger dan rata-rata faktor rangkaknya di atas 2,0. Sedangkan, Zhou *et al.*,

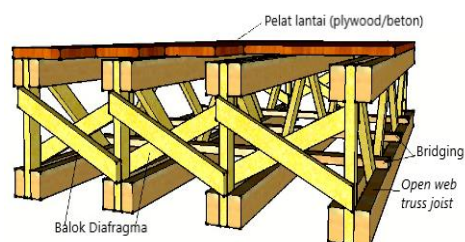
(2010) telah melakukan pengujian rangkak tarik dan tekan material LVL Kerto (produk LVL dari Finlandia) selama setahun, dan hasil pengujian rangkak digunakan untuk memprediksi kegagalan struktur *reticulated shells*, dengan nilai faktor rangkak sebesar 0,8.

Basuki, *et al.*, (2020) telah melakukan penelitian berkaitan dengan perilaku rangkak tekan dan tarik searah serat material LVL Sengon. Benda uji yang digunakan sama dengan benda uji untuk pengujian statik kuat tekan dan tarik material kayu yakni mengacu pada ASTM D143-09 *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. Ruang pengujian dikontrol pada suhu 25°C dan kelembaban relatif minimal 65% selama 217 hari.

Parameter-parameter viskoelastik model rangkak yang diperoleh dari hasil pengujian rangkak tekan dan tarik sejajar serat diharapkan dapat digunakan untuk memprediksi perilaku rangkak pada aplikasi struktur LVL Sengon, seperti balok, kolom, papan dinding, *joist* sistem lantai, dan sebagainya.

### Open web truss joist LVL Sengon

Salah satu aplikasi material LVL Sengon adalah sebagai *open web truss joist* (OWTJ) yaitu struktur rangka batang (*truss*) yang berfungsi sebagai balok dan dipasang berjajar (*joist*). Dibandingkan dengan balok LVL Sengon utuh, OWTJ dengan sambungan joint menggunakan lem ini memiliki kekakuan yang lebih tinggi, namun berat sendiri yang jauh lebih rendah. Disamping itu, dibandingkan dengan joist jenis *I-shaped joist* dan *box-shaped joist*, OWTJ mempunyai kapasitas menahan beban yang paling menjanjikan. OWTJ biasanya digunakan untuk menopang pelat lantai, atap, ataupun langit-langit. OWTJ terdiri atas dua batang (*chord*) paralel atas dan bawah, berturut-turut sebagai batang tekan dan batang tarik, serta batang diagonal sebagai badan yang terbuka (*open web*). Sistem lantai OWTJ seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem lantai OWTJ

Sistem lantai OWTJ apabila menerima beban tetap, selain mengalami defleksi sesaat setelah menerima beban, tapi seiring berjalannya waktu akan mendapatkan tambahan defleksi yang diakibatkan

terjadinya rangkak. Defleksi total yang juga diakibatkan rangkak selama umur layan harus diperhitungkan untuk menjamin keamanan dan kenyamanan struktur. Dalam desain struktur, sifat fisik dan mekanik material akan menjadi penentu kemampuan struktur dalam menahan beban. Demikian juga dengan perilaku rangkak material akan menentukan perilaku rangkak struktur yang disusunnya.

Oleh karena itu, perilaku rangkak tekan dan tarik sejajar serat dari material LVL Sengon dapat digunakan untuk memprediksi perilaku rangkak OWTJ LVL Sengon. Parameter-parameter viskoelastik dari pengujian rangkak tekan dan tarik sejajar serat diperoleh dari pemodelan data rangkak. Beberapa model seperti model *Power Law*, Burger, Burger modifikasi, dan Prony *series* dapat digunakan untuk mendekati data pengujian rangkak, dan parameter-parameter modelnya dapat digunakan untuk memprediksi nilai rangkak pada waktu/umur tertentu.

Diantara keempat model tersebut, model Prony *series* yang sudah disediakan dalam program ABAQUS untuk melakukan analisis rangkak secara numerik dengan memasukkan parameter-parameter viskoelastik dari material. Sedangkan apabila akan digunakan model yang lain pada ABAQUS, maka harus dibuatkan *subroutine* tersendiri.

Pada artikel ini akan disajikan model Prony *series* untuk menganalisis rangkak karena pada kurva hasil pengujian rangkak tekan dan tarik LVL Sengon model Prony *series* adalah yang paling mendekati (Basuki, *et al*, 2020). Model matematika Prony *series* seperti ditunjukkan dalam Persamaan (1), yang menjelaskan model pegas yang dirangkai parallel dengan rangkaian Maxwell sebanyak n buah, seperti tampak pada Gambar 3.

$$E(t) = E_{\infty} + \sum_{i=1}^n E_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (1)$$

dimana  $\tau_i$  adalah waktu relaksasi (*the relaxation times*),  $E_i$  merupakan modulus relaksasi (*the relaxation moduli*), dan  $E_{\infty}$  adalah modulus kesetimbangan (*the equilibrium modulus*). Bila  $m_i = E_i/E_0$ , maka Persamaan 1 dapat ditulis menjadi Persamaan 2.

$$E(t) = E_{\infty} + \sum_{i=1}^n m_i E_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (2)$$

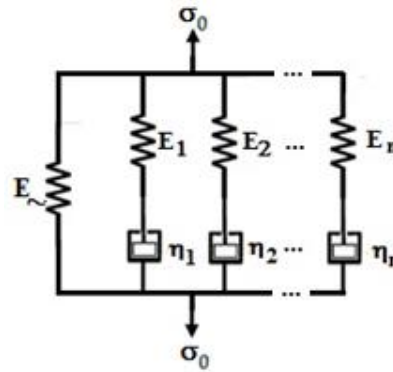
Dikarenakan masukan parameter viskoelastik model Prony *series* pada ABAQUS mengacu pada nilai modulus geser, maka Persamaan 2 dapat diubah menjadi Persamaan 3.

$$G(t) = G_{\infty} + \sum_{i=1}^n g_i G_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (3)$$

dimana  $g_i = \frac{E_i}{G_0}$  dan  $G_0$  merupakan modulus geser awal dan dapat dihitung menggunakan persamaan  $G_0 = \frac{E_0}{2(1+\nu)}$  ( $\nu$  = angka Poisson).

Pada  $t = 0$ ,  $G_{\infty} = G_0(1 - \sum_{i=1}^n g_i)$ , sehingga model Prony *series* dapat juga ditulis dalam bentuk Persamaan 4.

$$G(t) = G_0(1 - \sum_{i=1}^n g_i) + \sum_{i=1}^n g_i G_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (4)$$



Gambar 3. Model Prony *series* (Basuki, 2020)

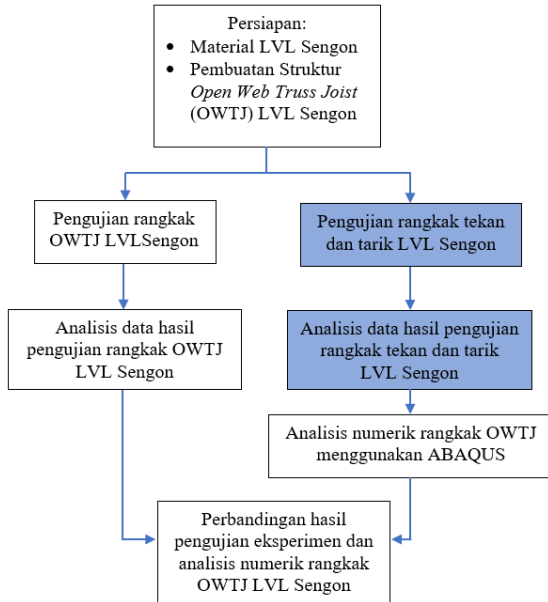
Selanjutnya dengan metode kuadrat terkecil (*least square*), parameter viskositas  $g_i$  dan  $\tau_i$  dapat dihitung dan digunakan sebagai masukan (*input*) pada ABAQUS untuk menghitung nilai deformasi / defleksi rangkak material / elemen struktur dengan nilai  $\sum g_i < 1$  (Barbero, 2013).

Tujuan penelitian adalah untuk memprediksi defleksi dan faktor rangkak OWTJ LVL Sengon secara numerik berdasarkan parameter-parameter viskoelastik model Prony *series*  $n = 3$  dari pengujian rangkak tekan dan tarik sejajar serat LVL Sengon. Selanjutnya, faktor rangkak hasil analisis numerik tersebut dibandingkan dengan hasil pengujian rangkak OWTJ LVL Sengon dan faktor rangkak yang tercantum dalam SNI 7973:2013 tentang Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu.

## Metode

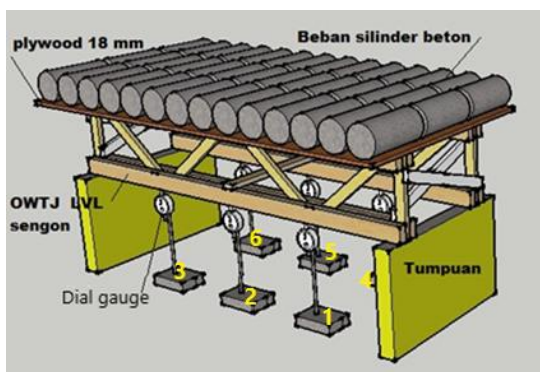
Penelitian rangkak OWTJ dilakukan dalam dua cara yaitu pengujian rangkak OWTJ eksperimen dan analisis numerik rangkak OWTJ berdasarkan parameter-parameter viskoelastik rangkak tekan dan tarik LVL Sengon yang telah dilakukan, seperti ditunjukkan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 4. Material LVL Sengon yang digunakan diperoleh dari PT. Sumber Graha Sejahtera, Tangerang. LVL Sengon mempunyai berat jenis rata-rata 0,344 gr/cm<sup>3</sup> dan kadar air rata-rata 14,3%. OWTJ dibuat di pabrik dengan sambungan dirangkai menggunakan lem PF dan dikempa dengan tekanan 0,6 psi selama dua jam.





Gambar 4. Diagram alir penelitian

Eksperimen rangkak OWTJ mensimulasikan sistem struktur lantai dengan dua buah OWTJ, sedangkan beban lantai disimulasikan dengan silinder beton sebanyak 42 buah yang diletakkan diatas lantai *plywood* setebal 18 mm, seperti tampak pada Gambar 5. Untuk mengukur defleksi, *dial gauge* dipasang pada kedua OWTJ masing-masing pada tengah bentang (*dial gauge* no. 2 dan 5) dan di bawah sambungan batang bawah (*dial gauge* no. 1, 3, 4, dan 6). Sistem pembebanan tersebut setara dengan pembebanan sistem lantai OWTJ dengan lantai beton setebal 6 cm dan penutup lantai spesi dan keramik. Lama pengujiann rangkak 217 hari, pada ruangan yang dikontrol temperaturnya menggunakan *air conditioning* (AC) pada suhu 25°C dan kelembaban relatif (RH)-nya minimal 65% menggunakan *humidifier*.



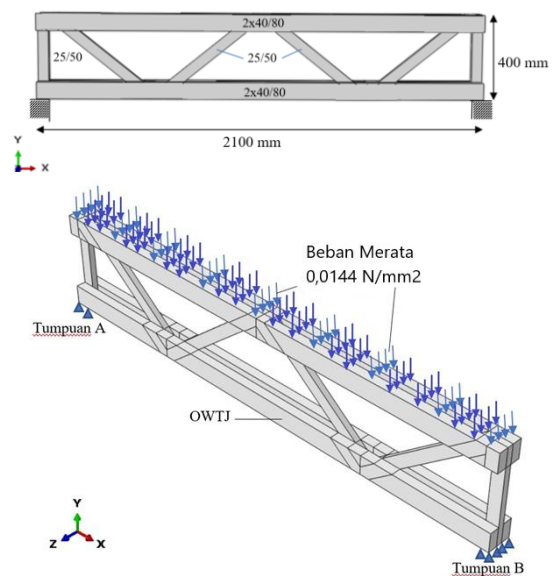
Gambar 5. Setup pengujiann rangkak OWTJ

Data propertis material LVL Sengon (modulus elastisitas, MOE dan rasio Poisson) untuk analisis numerik OWTJ menggunakan perangkat lunak ABAQUS diperoleh dari hasil pengujiann kuat tarik dan tekan, sedangkan rasio Poisson ( $\nu$ ) didapatkan

dari hasil pengujiann LVL Sengon yang dilakukan oleh Eratodi & Awaludin (2017). Modulus elastisitas tarik ( $E_t$ ) dan tekan ( $E_c$ ) sejajar serat berturut-turut adalah 7256 MPa dan 2898 MPa, sedangkan angka rasio Poisson sebesar 0,22.

Parameter viskoelastik yang digunakan sebagai masukan ABAQUS pada analisis numerik adalah parameter viskoelastik model Prony *series*  $n = 3$  hasil pengujiann rangkak tekan dan tarik LVL Sengon dengan level pembebanan 20% yang menghasilkan nilai tegangan elemen/batang OWTJ yang mendekati nilai tegangan elemen/batang OWTJ akibat beban silinder beton pada pengujiann rangkak OWTJ (Basuki *et al.*, 2020).

Pada analisis numerik sistem lantai OWTJ LVL Sengon ini, dibuat model OWTJ berdasarkan seting pengujiann pada Gambar 5, akan tetapi hanya ditinjau satu OWTJ. Beban yang diperhitungkan hanya berat silinder beton, sedangkan berat *plywood* diabaikan. Oleh karena itu, Beban total silinder beton di atas sistem lantai OWTJ dibagi dua, kemudian dikonversi menjadi beban merata pada permukaan atas OWTJ. Model OWTJ, pembebanan dan tumpuan seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Selanjutnya hasil analisis numerik ini dibandingkan dengan hasil pengujiann eksperimen selama 217 hari.

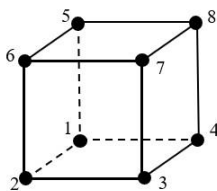


Gambar 6. Model OWTJ: geometri, pembebanan dan tumpuan

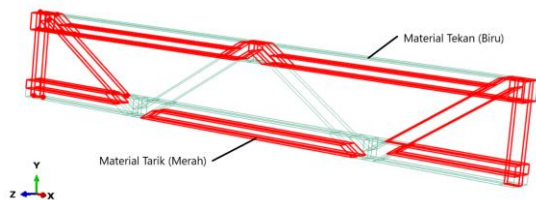
Pada analisis menggunakan ABAQUS ini, LVL Sengon dimodelkan sebagai elemen *linear hexahedron* dengan tipe C3D8R (*continuum stress/displacement, three-dimensional, dan 8 nodes, reduced integration*), seperti tampak pada Gambar 7. Hubungan antar elemen-elemen vinir pada LVL Sengon diasumsikan mempunyai rekatan

yang sempurna sehingga dianggap tidak ada garis rekatan (*glue-line*) pada analisis elemen hingga-nya (FEM). Penyelesaian *incremental* metode Newton-Raphson digunakan untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan non-linier pada analisis perilaku rangkak.

Penentuan parameter-parameter elastik dan viskoelastik pada bagian elemen/batang dalam analisis numerik rangkak OWTJ didekati berdasarkan distribusi tegangan tarik atau tekan dari elemen/batang OWTJ. Sedangkan pada Gambar 8 menunjukkan pendekatan bagian elemen/batang yang akan diberikan parameter-parameter elastik dan viskoelastik tarik atau tekan. Warna biru menunjukkan bagian batang dengan parameter elastik dan viskoelastik tarik atau tekan, sedangkan warna merah menunjukkan bagian batang dengan parameter elastik dan viskoelastik tekan.



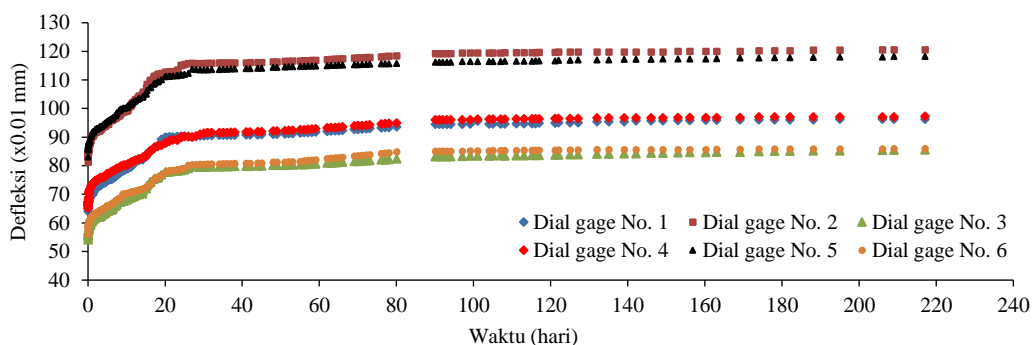
Gambar 7. Elemen C3D8R (*three-dimensional brick elements*) (Khennane, 2013)



Gambar 8. Penentuan parameter elastik dan viskoelastik pada elemen/batang OWTJ

## Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian rangkak pada masing-masing titik penempatan dial gauge seperti ditunjukkan pada Gambar 9, dimana tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pembacaan defleksi pada



Gambar 9. Hasil pengujian rangkak sistem lantai OWTJ LVL Sengon (217 hari)

titik-titik penempatan dial gauge yang bersesuaian (titik 1 = 4, 2 = 5, dan 3 = 6) antara kedua OWTJ. Defleksi awal rata-rata di titik pengamatan no. 1&4, 2&5, dan 3&6 berturut-turut diperoleh 0,64 mm; 0,82 mm; dan 0,55 mm. Pada pengujian rangkak 217 hari besar defleksi rata-rata di titik pengamatan no. 1&4, 2&5, dan 3&6 berturut-turut adalah 0,96 mm; 1,19 mm; dan 0,85 mm, serta nilai faktor rangkaknya berturut-turut didapatkan 1,49; 1,45; dan 1,55. Apabila dirata-rata faktor rangkak 217 hari OWTJ adalah 1,50.

Nilai defleksi awal OWTJ hasil pengujian (eksperimen) dan analisis numerik menggunakan ABAQUS akibat beban merata silinder beton disajikan pada Tabel 1. Nilai defleksi awal hasil pengujian lebih besar dibandingkan hasil analisis numerik. Pada tengah bentang antara hasil pengujian (0,82 mm) dan hasil analisis numerik (0,78 mm) mempunyai selisih 0,04 mm, sedangkan defleksi di bawah sambungan batang bawah masing-masing mempunyai selisih 0,17 mm dan 0,08 mm, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai tersebut menunjukkan perbedaan yang cukup kecil.

Tabel 1. Defleksi awal OWTJ hasil pengujian dan analisis numerik

	Rerata defleksi titik 1 dan 4 (mm)	Rerata defleksi titik 2 dan 5 (mm)	Rerata defleksi titik 3 dan 6 (mm)
Pengujian	0,64	0,82	0,55
Analisis numerik	0,47	0,78	0,47

Pada analisis numerik rangkak OWTJ, parameter-parameter viskoelastik yang digunakan sebagai masukan dalam ABAQUS adalah parameter-parameter viskoelastik  $g$  dan  $\tau$  dari model Prony series  $n = 3$  hasil pengujian rangkak tekan dan tarik LVL Sengon dengan level pembebanan 20% (Basuki *et al.*, 2020) seperti disajikan dalam Tabel 2.

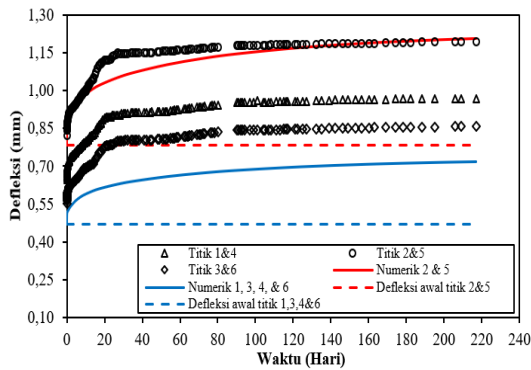
**Tabel 2. Parameter elastik dan viskoelastik model Prony series rangkak tekan dan Tarik**

	<b>E (MPa)</b>	<b>g<sub>1</sub></b>	<b>τ<sub>1</sub></b>	<b>g<sub>2</sub></b>	<b>τ<sub>2</sub></b>	<b>g<sub>3</sub></b>	<b>τ<sub>3</sub></b>
Tekan	2898	0,07536	0,04170	0,06835	1,96686	0,15814	19,57833
Tarik	7256	0,09156	0,03196	0,11748	5,24905	0,18760	76,88022

Pada Tabel 3 disajikan hasil defleksi rangkak dari pengujian dan analisis numerik OWTJ model Prony series  $n = 3$  pada 217 hari, sedangkan Gambar 10 memperlihatkan secara grafis perbandingan defleksi rangkak hasil pengujian dan analisis numerik OWTJ menggunakan model Prony series  $n = 3$  selama 217 hari.

**Tabel 3. Defleksi rangkak OWTJ hasil pengujian dan analisis numerik pada 217 hari**

	<b>Rerata defleksi titik 1 dan 4 (mm)</b>	<b>Rerata defleksi titik 2, 5 (mm)</b>	<b>Rerata defleksi titik 3, 6 (mm)</b>
Pengujian	0,97	1,19	0,86
Analisis numerik	0,72	1,20	0,72



**Gambar 10. Perbandingan defleksi hasil pengujian dan analisis numerik OWTJ**

Berdasarkan Gambar 10 tampak bahwa defleksi rangkak hasil analisis numerik pada 217 hari di titik pengamatan 2 dan 5 adalah 1,20 mm atau mempunyai nilai faktor rangkak sebesar 1,54; sedangkan hasil pengujian rangkak OWTJ diperoleh faktor rangkak 1,50. Rerata defleksi rangkak di titik pengamatan 1, 3, 4, dan 6 hasil analisis numerik pada 217 hari adalah 0,72 mm atau faktor rangkak sebesar 1,53; sedangkan hasil pengujian rangkak OWTJ pada titik pengamatan 1, 3, 4, dan 6 diperoleh rerata faktor rangkak sebesar 1,52.

Prediksi nilai faktor rangkak OWTJ pada umur layan struktur 25 tahun (9125 hari) menggunakan model Prony series  $n = 3$  diperoleh sebesar 1,57.

Faktor rangkak tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai faktor rangkak yang disyaratkan dalam SNI 7973:2013 sebesar 1,5 untuk kayu yang dikeringkan, glulam struktural, balok I kayu prapabrikasi, atau kayu komposit struktural yang digunakan pada kondisi layan kering. Oleh karena itu, penggunaan material LVL Sengon dalam desain disarankan untuk menggunakan nilai faktor rangkak minimal 1,57 untuk perhitungan defleksi/deformasi akibat pembebanan jangka panjang.

Gambar 11 menunjukkan besar tegangan ( $S_{11}$ ) yang terjadi pada pengujian rangkak OWTJ pada hari ke-217 dimana tegangan tekan maksimum 0,96 MPa dan tegangan tarik maksimum 1,41 MPa. Tegangan ini dibandingkan dengan tegangan awal hampir tidak berubah, karena proses rangkak yang menyebabkan terjadinya penambahan defleksi seiring berjalannya waktu diantaranya karena terjadi reduksi kekuatan materialnya (Naumenko & Altenbach, 2007).

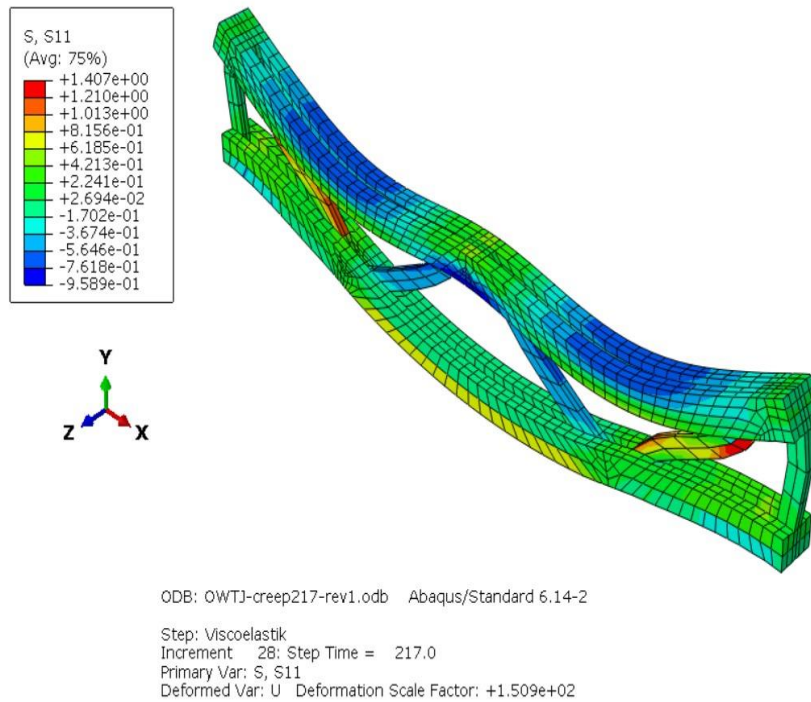
Berdasarkan parameter elastik dan viskoelastik tekan dan tarik LVL Sengon pada Tabel 2, maka dapat juga dihitung nilai modulus elastisitas pegas dan viskositas dashpot dari 3 rangkaian Maxwell dalam model Prony series  $n = 3$  untuk tekan dan tarik material LVL Sengon seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.

**Tabel 4. Nilai modulus elastisitas dan viskositas 3 rangkaian Maxwell model Prony series  $n = 3$**

<b>Parameter elastisitas dan viskositas</b>	<b>Tekan</b>	<b>Tarik</b>
$E_1$ (MPa)	218	664
$\eta_1$ (MPa.hari)	9	21
$E_2$ (MPa)	198	852
$\eta_2$ (MPa.hari)	389	4.474
$E_3$ (MPa)	458	1.361
$\eta_3$ (MPa.hari)	8.973	104.654

**Tabel 5. Perubahan nilai modulus elastisitas tekan ( $E_c$ ) dan tarik ( $E_t$ ) LVL Sengon**

<b>Hari ke-t</b>	<b><math>E_{c,t}</math> (MPa)</b>	<b><math>E_{t,t}</math> (MPa)</b>
1	2.576	6.425
7	2.347	5.847
30	2.123	5.295
90	2.027	4.797
217	2.023	4.458



**Gambar 11. Analisis numerik tegangan rangkak OWTJ pada 217 hari**

Penurunan nilai modulus elastisitas tekan ( $E_{c,t}$ ) dan tarik ( $E_{t,t}$ ) seiring berjalannya waktu menurut Persamaan (1) model Prony *series* untuk waktu 7, 30, 90, dan 217 hari disajikan pada Tabel 5. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada perilaku jangka panjang LVL Sengon terjadi penurunan kekuatan material, sehingga terjadi penambahan defleksi pada tegangan yang tetap. Dibandingkan dengan modulus elastisitas hasil pengujian statik maka besar penurunan modulus elastisitas pada 217 hari masing-masing untuk tekan ( $E_{c,217}$ ) dan Tarik ( $E_{t,217}$ ) berturut turut adalah 30,2% atau 2023 MPa, dan 38,5% atau 4458 MPa.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: parameter-parameter viskoelastik model Prony *series*  $n = 3$  rangkak tekan dan tarik LVL Sengon dapat digunakan untuk memprediksi rangkak OWTJ LVL Sengon. Nilai faktor rangkak pada 217 hari hasil pengujian dan analisis numerik OWTJ LVL Sengon berkisar 1,50-1,54.

Prediksi nilai rangkak pada umur layan 25 tahun sebesar 1,57 atau lebih besar dari nilai faktor rangkak yang ditetapkan dalam SNI 7973:2013 tentang Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu yaitu sebesar 1,5; untuk kayu yang dikeringkan, glulam struktural, balok I kayu prapabrikasi, atau kayu komposit struktural yang digunakan pada kondisi layan kering.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana melalui Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) tahun 2018-2020, dan PT. Sumber Graha Sejahtera (SGS), Tangerang, yang telah menyediakan material LVL Sengon dan *open web truss joist* (OWTJ) yang digunakan dalam penelitian rangkak tekan dan tarik, serta sistem lantai OWTJ.

## Daftar Pustaka

- ABNT 7190. (1997). *NBR 7190 Projeto de Estruturas de Madeira (Project of Wood Structure)*. ABNT-Associacao Brasileira de Normas Tecnicas.
- ASTM D143-09 (2009). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*, Pennsylvania. USA: ASTM
- Awaludin, A., & Astuti, P. (2016). Study on utilization of LVL Sengon (*paraserianthes falcataria*) for three-hinged gable frame structures. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 6(3), 232-241. <https://core.ac.uk/download/pdf/228833584.pdf>
- Awaludin, A., Firmanti, A., Musliikh, Theodarmo, H., & Astuti, D. (2017). Wood frame floor model of LVL *paraserianthes falcataria*. *Procedia Engineering*, 171, 113-120. <https://doi.org/10.1016/>



j.proeng.2017.01.317

Awaludin, A., Irawati, I.S., & Shulhan, M.A. (2019). Two-dimensional finite element analysis of the flexural resistance of LVL Sengon non-prismatic beams. *Case Studies in Construction Materials*, 10(e00225), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00225>

Awaludin, A., Shahidan, S., Basuki, A., Zuki, M.S.S., & Nazri, M.F. (2018). Laminated veneer lumber (LVL) Sengon: an innovative sustainable building material in Indonesia. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(1), 17-22. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.01.003>

Barbero, E.J. (2013). *Finite element analysis of composite materials using abaqus*. Boca Raton: CRC Press.

Basuki, A., Awaludin, A., Suhendro, B., & Siswosukarto, S. (2020). Compression and tension creep behaviour of laminated veneer lumber (LVL) Sengon (*paraserianthes falcataria*). *Asean Engineering Journal*, 11(1), 73-87. <https://doi.org/10.11113/aej.v11.16668>

Bodig, J., & Jayne, B. (1982). *Mechanics of wood and wood composites*. Malabar-Florida: Krieger Publishing Company.

Eratodi, I.G.L.B., & Awaludin, A. (2017). Bending capacity of non-prismatic LVL beams *paraserianthes falcataria*. *Procedia Engineering*, 171, 1362-1369. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.439>

Gilbert, B.P., Bailleres, H., Zhang, H., & McGavin, R.L. (2017). Strength modelling of laminated veneer lumber (LVL) beams. *Construction and Building Materials*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.153>

Gunawan, J.M. (2013). *Perilaku Rangkak (Creep) Balok LVL kayu sengon (Paraserianthes falcataria) Tumpuan Sederhana*. Jogjakarta: Universitas Gadjah Mada.

Hunt, D.G. (1999). A unified approach to creep of wood. *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 455(199), 4077-4095. <https://www.jstor.org/stable/53547>

Krisnawati, H., Varis, E., Kallio, M., & Kanninen, M. (2011). *Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen*:

*Ecology, silviculture and productivity*. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR).

Kullit, R.A. (2013). *Perilaku creep balok laminated veneer lumber Kayu Sengon (paraserianthes falcataria) dengan tumpuan kantilever*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/69371>

Morlier, P. (2005). *Creep in timber structure* (P. Morlier (ed.); 8th ed.). London: E & FN SPON.

Naumenko, K., & Altenbach, H. (2007). Modeling of Creep for Structural Analysis. Foundations of Engineering Mechanics. In *Springer* (Issue January). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-70839-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-70839-1_1)

Piter, J.C., Calvo, C.F., Cuffre, A.G., Rougier, V.C., Zitto, S.M.A., & Torran, E.A. (2007). Creep in structural-sized beams of Argentinean Eucalyptus grandis. *Maderas Ciencia y Tecnologia*, 9(2), 117-126. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2007000200002>

Pusat Pengelolaan Dana Pembiayaan Perumahan. (2016). *Backlog tahun 2015 turun menjadi 11,4 juta*. 29 Juli 2016. <https://ppdpp.id/backlog-tahun-2015-turun-menjadi-114-juta/>

Thelandersson, S. (2003). Timber engineering - general introduction. In S. Thelandersson & H.J. Larsen (Eds.), *Timber Engineering* (pp. 1-11). West Sussex-England: John Wiley & Sons.

Wusqo, U., Awaludin, A., Setiawan, A.F., & Irawati, I.S. (2019). Study of laminated veneer lumber (LVL) Sengon to concrete joint using two-dimensional numerical simulation. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 5(3), 275-287. <https://doi.org/10.22146/jcef.47694>

Yazdani, N., Johnson, E., & Duwadi, S. (2004). Creep effect in structural composite lumber for bridge applications. *Journal of Bridge Engineering*, 9(1), 87-94. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2004\)9:1\(87\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:1(87))

Zhou, H.Z., Fan, F., & Zhu, E.C. (2010). Buckling of reticulated laminated veneer lumber shells in consideration of the creep. *Engineering Structures*, 32(9), 2912-2918. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.05.010>