

Kode>Nama Rumpun Ilmu*: 421/Teknik Sipil

**LAPORAN KEMAJUAN
PENELITIAN PRODUK TERAPAN**



**PENGUJIAN TEKAN ELEMEN STRUKTUR KAYU DENGAN INOVASI
PEMBALIK BEBAN SEBAGAI ALAT TAMBAHAN UNIVERSAL TESTING
MACHINE (UTM)**

Tahun ke-2 dari rencana 2 tahun

OLEH

Ketua Tim : Cindrawaty Lesmana, Ph.D (NIDN 0406087901)

Anggota Tim : Elizabeth, S.Sos., S.Sn., M.Ds (NIDN 0404087802)

**Dibiayai oleh DIPA Kopertis Wilayah IV, Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi,
sesuai dengan Kontrak Penelitian Produk Terapan Tahun Anggaran 2017**

Nomor: 112.E/LPPM/UKM/V/2017

**UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG
AGUSTUS 2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengujian tekan elemen struktur kayu dengan inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan Universal Testing Machine (UTM)

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : CINDRAWATY LESMANA, S.T, Ph.D, M.Sc.
Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Maranatha
NIDN : 0406087901
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 08122176178
Alamat surel (e-mail) : cindra@eng.maranatha.edu

Anggota (1)
Nama Lengkap : ELIZABETH S.Sos, S.Sn, M.Ds
NIDN : 0404087802
Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Maranatha

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 70,000,000
Biaya Keseluruhan : Rp 120,000,000

Mengetahui,
Ketua LPPM



(Dr. Andi Wahyu RE., BSEE., MSEE)
NIP/NIK 720007

Kota Bandung, 25 - 8 - 2017
Ketua,



(CINDRAWATY LESMANA, S.T, Ph.D,
M.Sc.)
NIP/NIK 210291

RINGKASAN

Universal Testing Mechine (UTM) adalah alat yang umum digunakan untuk eksperimen di laboratorium untuk menghasilkan properti mekanis dari material uji. Tujuan penelitian ini adalah membuat alat inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan untuk UTM. Model ini dibuat dengan menambahkan alat pelengkap agar alat yang awalnya bagian mesin yang bekerja tarik dibuat sebagai mesin tekan. Dari hasil modifikasi ini diharapkan alat UTM mempunyai fungsi tambahan, terutama jika diperlukan untuk pengujian tekan pada rangka batang atau batang dengan 2 perletakan sederhana, sebab dalam kondisi awal alat, jika diinginkan pengujian tekan batang diatas 2 perletakan pola tekan beban bekerja dari arah bawah, penyetelan menjadi sulit.

Pada prinsipnya, alat tambahan ini tidak mengganggu alat UTM dan tidak merubah kondisi asal dan alat mudah distel ulang. Kalibrasi didasarkan pada peraturan standar yang berlaku dan hasil uji yang dihasilkan akan dibandingkan dengan data dari pola uji yang sejenis. Pengujian tekan dilakukan sebagai verifikasi modifikasi UTM dilakukan untuk benda uji kayu sebagai balok dan rangka. Selain verifikasi alat, pengujian juga bertujuan menguji kemampuan alat inovasi pembalik beban sebagai alat pendukung UTM. Adapun pemilihan material uji adalah kayu dikarenakan kayu adalah material yang ramah lingkungan dan umum digunakan pada rumah tradisional Indonesia.

Verifikasi dan kalibrasi alat dilakukan 2 tahap, dimana yang pertama adalah pengkalibrasian dengan *load cell* dan verifikasi alat dengan pengujian balok kayu. Kalibrasi dilakukan berkali-kali. Hasil kalibrasi menunjukkan hasil yang stabil apabila pengujian dilakukan setelah rantai meregang maksimum. Verifikasi terhadap benda uji kayu dilakukan 2 tahap, pengujian dengan UTM dalam keadaan normal dan pengujian dengan UTM dengan inovasi pembalik beban. Benda uji terbuat dari kayu solid dengan bentang 1,5 m. Setelah verifikasi alat uji, maka dilanjutkan dengan pengujian benda uji berupa balok dengan alat inovasi pembalik beban. Keuntungan dari alat pembalik beban ini adalah benda uji dapat didesain lebih panjang untuk mengatasi kelemahan mesin UTM yang terbatas. Benda uji yang dipakai adalah kayu solid jenis meranti dan kayu LVL dengan bentang 3,5 m. Selain pengujian balok utuh, pengujian sambungan baut untuk aplikasi *prefabricated house* dilakukan dengan alat pembalik beban.

Kalibrasi alat dan verifikasi menunjukkan hasil yang stabil sehingga membuktikan bahwa alat inovasi pembalik beban dapat dipakai untuk pengujian balok selanjutnya. Metode sambung yang dipakai untuk balok adalah pelat besi dan baut. Sambungan inovasi yang direncanakan dibandingkan dengan sambungan pelat baut biasa yang umum digunakan.

Sambungan dengan balok inovasi menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan sambungan normal.

Alat pembalik beban kembali diujikan ke struktur rangka untuk meninjau kapasitas kegunaan alat dan sekaligus mengkalibrasi kegunaan alat tambahan pada mesin UTM ini. Pada struktur rangka diujikan 2 macam sambungan yaitu sambungan dengan pasak besi dan pasak kayu. Sambungan dibuat sedemikian rupa sehingga hampir tidak kelihatan untuk memperindah estetika.

Penelitian direncanakan berjalan selama dua tahun. Luaran tahun pertama adalah alat inovasi pembalik beban, standar operasional penggunaan alat, dan publikasi ilmiah pada seminar internasional. Penelitian akan dilanjutkan untuk tahun ke-2 yang bertujuan memverifikasi alat inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan pada UTM untuk elemen struktur kolom dan rangka untuk melihat kemampuan alat dan juga efektifitas dari modifikasi ini. Hal ini dilakukan untuk meninjau kelebihan dan keterbatasan alat tambahan pada UTM untuk komponen struktur lainnya, sehingga luaran dari tahun kedua diharapkan dapat diekspansi ke publikasi ilmiah di jurnal internasional dan aplikasi pengajuan paten.

PRAKATA

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas selesainya Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing berkat rahmat dan bimbingannya. Penelitian Hibah Bersaing ini adalah penelitian awal dari tahun ke-2 dari rencana 2 tahun, yaitu berjudul “Pengujian Tekan Elemen Struktur Kayu Dengan Inovasi Pembalik Beban Sebagai Alat Tambahan *Universal Testing Machine* (UTM)”.

Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi alat UTM di laboratorium, mengkalibrasi serta menguji elemen struktur kayu sebagai bentuk validasi dan aplikasi pengujian alat inovatif pembalik beban.

Penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada DIKTI dan Kopertis Wilayah IV atas pembiayaan penelitian ini. Dalam penulisan Laporan Kemajuan Penelitian ini, penyusun sadar masih terdapat kekurangan-kekurangan, oleh sebab itu, penyusun bersedia menerima segala kritik dan saran demi kesempurnaan laporan. Semoga Tuhan berkenan.

Bandung, Agustus 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	2
RINGKASAN	3
PRAKATA.....	5
DAFTAR GAMBAR	8
DAFTAR TABEL.....	10
BAB 1 PENDAHULUAN	11
1.1 Latar Belakang	11
1.2 Perumusan Masalah	12
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	13
1.4 Luaran yang diharapkan.....	13
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Universal Testing Machine (UTM)	15
2.2 Kayu Komposit	16
2.3 Pengujian Material Kayu	16
2.4 Komponen Balok Kayu.....	18
2.4 Penentuan Titik Beban.....	20
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	23
3.1 Tujuan Penelitian	23
3.2 Manfaat Penelitian	23
BAB 4. METODE PENELITIAN	24
4.1 Alur Penelitian	24
4.2 Tata Cara Pengujian.....	25
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	28
5.1 Pembuatan Alat Inovasi Pembalik Beban.....	28
5.2 Setting Alat Inovasi Pembalik Beban	35
5.3 Kalibrasi Alat Inovasi Pembalik Beban	38
5.4 Pengujian Properti Material Kayu	41
5.4.1 Properti Material Tahap 1	41
5.4.2 Properti Material Tahap 2	42
5.4.2.1 Kuat Tekan Tegak Lurus Serat	42
5.5 Pembuatan Benda Uji Balok.....	43

5.6 Pengujian Balok	44
5.6.1 Pengujian Balok Tahap 1	44
5.6.2 Pengujian Balok Tahap 2	50
5.7 Pengujian Rangka	52
5.7.1 Pembuatan Model	52
5.8 Pembahasan.....	53
BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA.....	55
6.1 Rencana Pengujian Berikutnya	55
6.2 Rencana Luaran Hasil Penelitian	56
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
7.1 Kesimpulan	57
7.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN – Susunan Organisasi dan Pembagian Tugas.....	59
LAMPIRAN – Hasil Luaran.....	60
LAMPIRAN – Foto Pengujian	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Area pengujian dan arah pergerakan <i>adjustable crosshead</i> pada UTM...	11
Gambar 2.1 Komponen dari UTM.....	15
Gambar 2.2 Pola Kegagalan Pada Pengujian Balok Kayu	19
Gambar 2.3 Model kurva P- Δ dengan asumsi YK.....	21
Gambar 2.4 Model kurva P- Δ dengan asumsi EEEP.....	22
Gambar 5.1 Model Rencana Alat Inovasi Pembalik Beban	28
Gambar 5.2 Katrol dan kabel pada pengujian model alat 1	29
Gambar 5.3 Kurva P- Δ pada model alat 1	29
Gambar 5.4 Modifikasi pada model alat 2.....	30
Gambar 5.5 Kurva P- Δ pada model alat 2	30
Gambar 5.6 Kerusakan penjepit pada model alat 3	31
Gambar 5.7 Rantai pada model alat 4.....	32
Gambar 5.8 <i>Setting</i> rantai pada model alat 4	32
Gambar 5.9 Rantai pada model alat 4.....	33
Gambar 5.10 Kegagalan Penjepit	33
Gambar 5.11 Kegagalan Rantai pada Model 5	34
Gambar 5.12 Perbandingan Uji Tarik Rantai	35
Gambar 5.13 Komponen rantai dan konektor pada alat inovasi pembalik beban	35
Gambar 5.14 Komponen penjepit dan katrol pada alat inovasi pembalik beban.....	36
Gambar 5.15 Setting alat inovasi pembalik beban.....	37
Gambar 5.16 Perangkat sensor dan komputer dari UTM	37
Gambar 5.17 Setting pengujian kalibrasi rantai double.....	38
Gambar 5.18 Setting pengujian kalibrasi rantai double 2.....	39
Gambar 5.19 Setting pengujian verifikasi dengan <i>load cell</i>	39
Gambar 5.20 Hasil kalibrasi awal.....	40
Gambar 5.21 Hasil kalibrasi 2	40
Gambar 5.22 Persiapan material benda uji kayu solid.....	41
Gambar 5.23 Penyetelan material benda uji kayu solid pada modifikasi UTM	44
Gambar 5.24 Setting UTM dengan Alat Tambahan Pembalik Beban (UTM +).....	45
Gambar 5.25 Pembebanan Balok di Tengah Bentang	46

Gambar 5.26 Sambungan Tipe 1	46
Gambar 5.27 Sambungan Tipe 2	47
Gambar 5.28 Hasil pengujian balok solid utuh dengan UTM	47
Gambar 5.29 Hasil pengujian balok solid utuh dengan UTM +	48
Gambar 5.30 Hasil pengujian balok LVL utuh dengan UTM +	48
Gambar 5.31 Pengujian balok (L=1,5 m) dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM	49
Gambar 5.32 Pengujian balok (L=3 m) dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM +	49
Gambar 5.33 Pengujian balok (L=3 m) dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM +	50
Gambar 5.34 Diagram alir hasil penelitian yang dicapai.....	54
Gambar 6.1 Load cell pelengkap alat kalibrasi.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 6.2 Diagram alir penelitian rencana berikutnya	55

DAFTAR TABEL

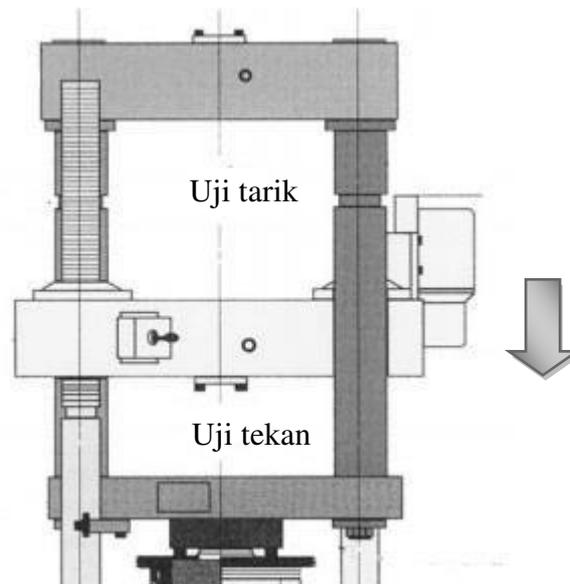
Tabel 2.1 Persamaan Batas Leleh Geser Ganda	20
Tabel 5.1 Sifat fisik material kayu	41
Tabel 5.2 Jenis Pengujian Beserta Jumlah Benda Uji Kayu	45

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Universal Testing Machine (UTM) merupakan alat yang dipergunakan untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan dari bahan atau material. Pada prinsipnya, UTM memberikan gaya tekan atau gaya tarik terhadap benda uji. Alat uji ini memiliki bagian yang dapat bergerak naik dan turun secara vertikal untuk mensimulasikan pengujian tekan dan tarik. Hasil luaran dari UTM adalah informasi mengenai seberapa besar pengukuran yang akan diuji terhadap bahan sehingga standarisasi yang diinginkan dapat tercapai dengan sempurna.

Pengujian tekan meliputi uji tekan, uji geser, uji tekuk, dan uji lentur dan pengujian tarik meliputi uji tarik dan uji robek. Selain keterbatasan beban uji maksimum dari *load cell* UTM, keterbatasan ruang gerak juga menyebabkan ketidakluasaan pengetesan benda uji. Gambar 1.1 mengilustrasikan area pengujian untuk uji tekan dan tarik serta arah pergerakannya.



Gambar 1.1 Area pengujian dan arah pergerakan *adjustable crosshead* pada UTM

Pada umumnya, benda uji untuk uji tekan dipasang di bawah dan benda uji untuk uji tarik dipasang di atas. Hal ini dikarenakan *Adjustable crosshead* pada UTM yang dapat bergerak hanya 1 arah menyebabkan posisi benda uji yang menentukan

jenis pengujian (tekan atau tarik). Dengan memanfaatkan kemampuan alat yang ada, penggunaan UTM dapat dimaksimalkan sehingga memungkinkan fungsi lebih, seperti alat pengujian tarik menjadi sarana pengujian tekan dengan alat tambahan sebagai pembalik arah beban.

Pengujian harus dilakukan untuk benda uji. Benda uji yang dipakai pada penelitian ini adalah *Laminated Veneer Lumber (LVL)*. LVL adalah kayu komposit yang terdiri dari beberapa lapis yang digabung dengan *adhesive*. Jenis ini tergolong baru memasuki pasar Indonesia. LVL memanfaatkan kayu yang relatif muda dan termasuk *engineered wood* yang dibuat di pabrik, maka material properti dari kayu ini dapat dikontrol seperti kekuatan dan ketegakan yang lebih seragam (Wood Solutions, 2013).

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian dilakukan pada alat UTM agar dapat berfungsi lebih, terutama menyangkut model pengujian agar alat menjadi tidak sulit digunakan, karena alat UTM asalnya hanya bisa melakukan 2 jenis pengujian, yaitu uji tarik dan tekan, Dengan memodifikasi UTM tersebut dengan dipasang alat tambahan diharapkan fungsi alat juga bertambah, merubah fungsi pada bagian tarik menjadi berfungsi sebagai alat tekan.

Alat tambahan yang relatif mudah dibongkar pasang diharapkan menambah fungsi lebih dari UTM yaitu uji tarik dan tekan pada posisi atas dimana seharusnya hanya dapat melakukan uji tarik saja. Satu hal yang tidak kalah penting adalah menyangkut perilaku alat dan hasil uji, karena validitasnya perubahan ini juga merupakan bagian dari penelitian ini. Kesetaraan hasil uji akan dilakukan sesuai peraturan / standar yang berlaku, khususnya memenuhi syarat uji berdasarkan ASTM E4 (*Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*) dan ASTM E74 (*Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines*).

Penelitian eksperimental dilakukan di laboratorium dengan benda uji LVL. Sifat fisika dan mekanika kayu akan diujikan untuk mengetahui batas-batas kemampuan kayu komposit. Pengujian tekan dilakukan dengan alat UTM dan modifikasi UTM. Hal ini dilakukan untuk memverifikasi hasil luaran UTM dengan persyaratan yang

berlaku. Selain itu, pengujian pada kayu komposit ini dilakukan untuk melihat kemungkinan jenis kayu komposit ini untuk menggantikan kayu kelas II pada struktur bangunan gedung, mengingat struktur kayu yang banyak digunakan pada bangunan tradisional Indonesia adalah ciri budaya Indonesia yang perlu dilestarikan.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi 3 fase yaitu: fase pembuatan alat tambahan dan fase pengujian.

- Fase pembuatan alat tambahan

Alat tambahan yang akan dibuat adalah pembalik beban sebagai alat tambahan yang akan dipasang pada UTM. Pemasangan alat pembalik beban ini diperuntukan menambah fungsi dari UTM yang seharusnya pada area atas hanya dapat melakukan untuk pengujian tarik dengan pembalik beban ini, beban tarik yang dihasilkan dapat menjadi beban tekan untuk benda uji. Pada fase ini verifikasi dan kalibrasi alat dilakukan sesuai dengan ASTM sehingga modifikasi UTM siap dan valid untuk pengujian benda uji.

- Fase pengujian

Pengujian ini merupakan verifikasi tahap 2 dari alat inovasi pembalik beban. Pada fase pengujian digunakan 2 jenis kayu yaitu kayu komposit *Laminated Veneer Lumber* (LVL) yang akan dibandingkan dengan kayu meranti – kayu kelas 2 yang pada umumnya digunakan sebagai elemen struktur gedung. Parameter yang akan diteliti untuk pengujian tekan adalah lendutan dan beban puncak. Pengujian tekan dilakukan dengan UTM dan modifikasi UTM. Selain itu macam-macam jenis elemen struktur seperti balok beserta sambungannya akan diujikan untuk menguji kelebihan dan kekurangan alat inovasi pembalik beban.

1.4 Luaran yang diharapkan

Penelitian inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan pada UTM diharapkan dapat memberikan fungsi lebih pada alat UTM. Hal ini dapat memaksimalkan fungsi dari UTM dan juga menambah ruang gerak penempatan benda uji. *Standard operational procedure* (SOP) untuk penggunaan alat dan pengujian akan dibuat dan

diharapkan dapat menambah sumbangsih dalam inovasi teknologi yang dapat diaplikasikan untuk pengujian laboratorium yang nantinya diharapkan inovasi ini pada akhir tahun ke-2nya dapat didaftarkan ke pengajuan paten.

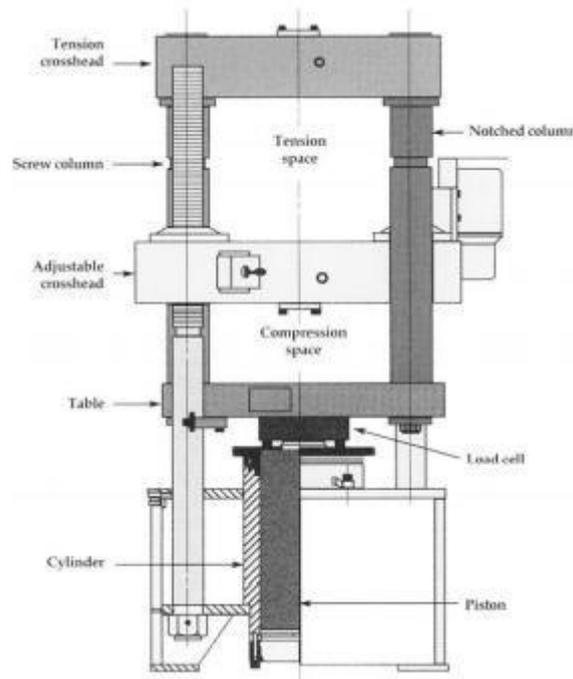
Luaran tahun kedua adalah sebagai berikut:

1. Desain, prototype, model, dan teknologi tepat guna inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan untuk UTM
2. SOP penggunaan alat dan pengujian tekan dengan alat tambahan inovasi pembalik beban
3. Publikasi ilmiah di Seminar Internasional
4. Publikasi ilmiah internasional di jurnal bereputasi
5. Draft pengajuan paten.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Universal Testing Machine (UTM)*

UTM berguna untuk menguji semua properti mekanis seperti tekan, tarik, lentur, dll. Pada dasarnya UTM seperti gambar 2.1 terdiri dari 2 bagian: panel kontrol dan panel beban. Panel control terdiri dari 3 bagian, yaitu: *tension crosshead / upper crosshead*, *adjustable crosshead / middle crosshead*, dan meja / *lower crosshead*. Panel control terdiri dari pembebanan dan pelepasan beban.



Gambar 2.1 Komponen dari UTM

Sumber: (ASM International, 2004)

Uji tekan dilakukan di antara *upper crosshead* dan *middle crosshead*. Uji tekan, geser, lentur dilakukan di antara *middle crosshead* dan *lower crosshead*. UTM ini dapat digunakan untuk berbagai jenis material seperti: kayu, beton, besi, karet, dll. *Load cell* yang dipasang pada UTM mengukur gaya dan deformasi yang dapat dipresentasikan secara grafis pada computer yang dipasang bersamaan dengan alat uji UTM ini. Posisi dari *load cell* dan luarannya harus dapat dilacak dan dipertanggung jawabkan untuk tekan dan tarik (ASTM E4; ASTM E74).

2.2 Kayu Komposit

Kayu adalah material alami yang umum digunakan sebagai elemen struktur maupun non-struktural pada rumah tradisional di Indonesia. Kayu didapat dari batang pepohonan yang tumbuh di hutan. Variasi dari jenis pohon, jenis tanah, kondisi iklim, dan usia pertumbuhan pohon menyebabkan variasi yang berbeda dari properti mekanis kayu. Ketidakseragaman parameter properti ini menyebabkan perbedaan kekuatan kayu sulit diprediksi. Dimensi pohon terbatas sesuai dengan umur pertumbuhan kayu, membuat keterbatasan dimensi kayu juga. Selain itu, usia pertumbuhan kayu yang relatif lama dengan perkembangan pembangunan Indonesia yang semakin meningkat dapat membuat kayu menjadi material yang langka walaupun kayu termasuk material yang ramah lingkungan.

Selain keterbatasan properti mekanis kayu, keterbatasan panjang kayu di pasaran menjadikan tantangan bagi kemajuan teknologi untuk merancang sambungan yang inovatif yang menyambungkan dua batang kayu atau lebih menjadi komponen batang yang lebih panjang. Syarat yang perlu diperhatikan dalam sambungan kayu adalah sambungan sederhana, kokoh, posisi penempatan sambungan, tahan terhadap gaya yang bekerja, menghindari menarik kayu dari dalam, sambungan yang terencana dan pas, dan tidak menggunakan kayu yang cacat.

Salah satu solusi teknologi untuk material kayu adalah penggunaan kayu komposit seperti: *Laminated Veneer Lumber (LVL)*, *Parallel Strand Lumber (PSL)*, *Laminated Strand Lumber (LSL)*, dll. LVL telah dikembangkan sejak 1970 dan mulai banyak digunakan sekarang. Kelebihan dari jenis komposit ini adalah keseragaman properti antar kayu karena kayu merupakan kayu olahan dari pabrik sehingga mutu kayu dapat dijaga, lebih kuat terhadap susut atau melenting. LVL dapat menggantikan kayu solid dengan menjaga material properti dari kayu. (Haygreen & Bowyer, 1996). Dimensi dan panjang kayu tidak terbatas dari umur pohon karena dimensi dapat dibuat dan ditentukan sendiri. Kayu komposit adalah material yang ekonomis serta merupakan material yang ramah lingkungan (APA, 2011; Wood Solutions, 2013).

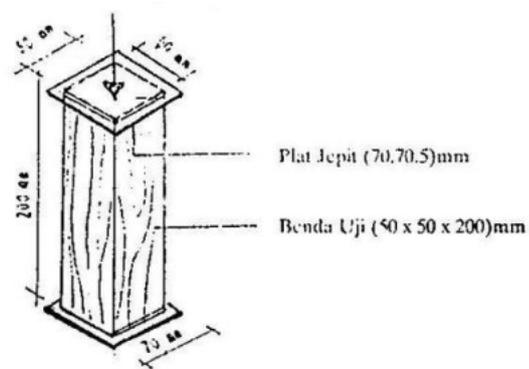
2.3 Pengujian Material Kayu

Salah satu pengujian material kayu adalah pengujian untuk memperoleh nilai tekan kayu. Kuat tekan kayu didefinisikan sebagai gaya tekan per satuan luas bidang

tekan. Kuat tekan kayu terdiri dari kuat tekan sejajar arah serat (kekuatan kayu memikul beban yang bekerja padanya yang arah beban sejajar dengan arah serat kayu) dan kuat tekan tegak lurus arah serat (kekuatan kayu memikul beban yang bekerja padanya yang arah beban tegak lurus dengan arah serat kayu).

Kuat Tekan Sejajar Serat

Ukuran benda uji adalah 50 x 50 x 200 mm dengan ketelitian ukuran penampang benda $\pm 0,25$ mm. Kadar air kayu maksimum adalah 20%. Mesin uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan harus memenuhi kecepatan pembebanan harus konstan merata dan dapat diatur sehingga kecepatan gerak beban 1 mm per menit. Benda uji diletakkan sentris terhadap alat pembebanan. Besarnya beban uji adalah besarnya beban maksimum sampai benda uji mengalami kegagalan.



Gambar 2.2 Benda uji kuat tekan sejajar arah serat

Sumber: (SNI, 1995)

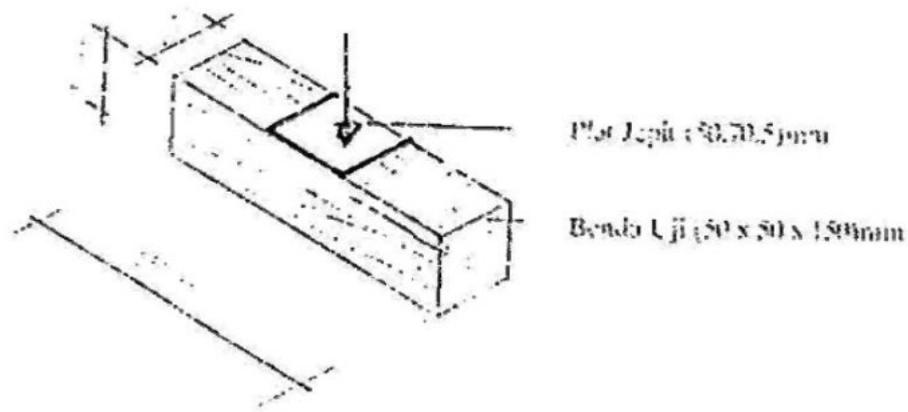
Kuat tekan sejajar serat dihitung dengan beban per satuan luas bidang tekan sebagai berikut:

$$f_{c//} = P / (b \times h)$$

dimana: $f_{c//}$ adalah kuat tekan sejajar serat (MPa), P adalah benda uji maksimum, b dan h adalah lebar dan tinggi benda uji.

Kuat Tekan Tegak Lurus Serat

Ukuran benda uji adalah 50 x 50 x 150 mm dengan ketelitian ukuran benda uji harus tidak melebihi 0,25 mm. Benda uji diletakkan melintang di bawah pelat penjepit dengan jarak sama dari kedua ujungnya. Mesin uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan harus memenuhi kecepatan pembebanan harus konstan merata dan dapat diatur sehingga kecepatan gerakan beban 0,33 mm per menit. Besarnya beban uji yaitu besarnya beban maksimum sampai benda uji mengalami putus.



Gambar 2.3 Benda uji kuat tekan tegak lurus arah serat

Sumber: (SNI, 1995)

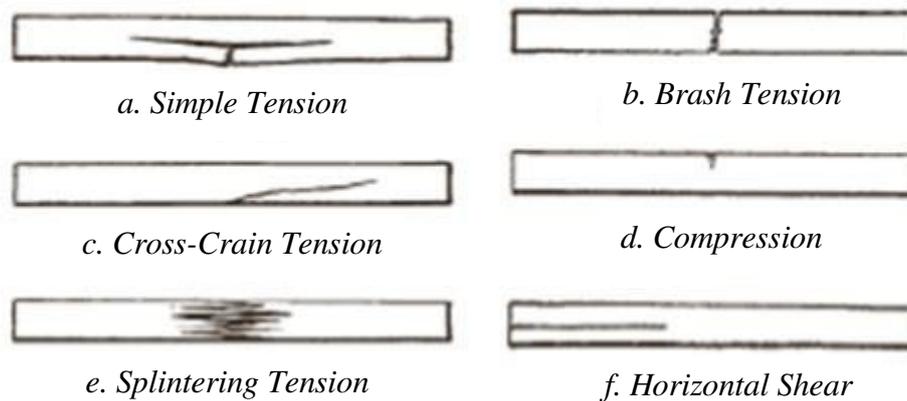
Kuat tekan tegak lurus serat dan kuat tekan sejajar serat dihitung dengan beban per satuan luas bidang tekan, sebagai berikut:

$$f_{c\perp} = P / (b \times h)$$

dimana: $f_{c\perp}$ adalah kuat tekan tegak lurus serat (MPa), P adalah benda uji maksimum, b dan h adalah lebar dan tinggi benda uji.

2.4 Komponen Balok Kayu

Balok merupakan elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser. Balok pun merupakan komponen pemikul momen yang akan menyalurkan beban ke kolom. Sehingga diperlukan adanya pengecekan kapasitas lentur dan geser dari komponen balok suatu struktur bangunan. Pada elemen balok, analisis kinerja balok ditinjau dari kekuatan momen lentur dan kekuatan geser. Pola kegagalan pada pengujian balok kayu menurut ASTM D143-09 (2009) diilustrasikan gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pola Kegagalan Pada Pengujian Balok Kayu

Sumber: (ASTM D143-09, 2009)

Peraturan desain kekuatan momen lentur menggunakan metode desain DFBK (Desain Faktor Beban Ketahanan) menurut SNI 7973:2013 “Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu”. Dalam menganalisis sambungan pada desain model kuda-kuda, digunakan metode desain DFBK (Desain Faktor Beban Ketahanan) dan tipe sambungan mekanis dengan pengencang tipe pasak (baut) yang ditinjau dari peraturan SNI 7973:2013 “Spesifikasi Desain untuk konstruksi Kayu” sebagai berikut yang ditunjukkan Persamaan 2.1 sampai dengan Persamaan 2.2.

$$Z_u \leq Z' \times n \quad (2.1)$$

Dimana:

$$Z' = Z \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{\Delta} \times C_{eg} \times C_{tn} \times K_F \times \Phi_z \times \lambda \quad (2.2)$$

Z_u = Gaya lateral (gaya tarik atau gaya tekan) yang bekerja pada batang

n = jumlah pengencang yang digunakan dalam sambungan

Z = Nilai desain lateral acuan sambungan (SNI 7973:2013 Pasal 11.3.2)

C_M = Faktor Layan Basah (SNI 7973:2013 Pasal 10.3.3)

C_t = Faktor Temperatur (SNI 7973:2013 Pasal 10.3.4)

C_g = Faktor Aksi Kelompok (SNI 7973:2013 Pasal 10.3.6)

C_{Δ} = Faktor Geometrik (SNI 7973:2013 Pasal 11.5.1)

C_{eg} = Faktor Serat Ujung (SNI 7973:2013 Pasal 11.5.2)

C_{tn} = Faktor Paku-Miring (SNI 7973:2013 Pasal 11.5.4)

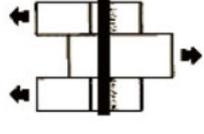
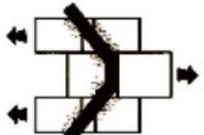
K_F = Faktor Konversi Format (SNI 7973:2013 Pasal 10.3.7)

Φ_t = Faktor Ketahanan (SNI 7973:2013 Pasal 10.3.8)

λ = Faktor Efek Waktu (SNI 7973:2013 Pasal 10.3.19)

Nilai desain lateral acuan sambungan (Z) yang digunakan mengacu pada Pasal 11.3.2 dengan persamaan batas leleh geser ganda yang ditunjukkan Tabel 2.1

Tabel 2.1 Persamaan Batas Leleh Geser Ganda

Mode Kelelahan	Persamaan Batas Leleh	Gambar mode kelelahan
I_m	$Z_{I_m} = \frac{D \times l_m \times F_{em}}{R_d}$	
I_s	$Z_{I_s} = \frac{2 \times D \times l_s \times F_{es}}{R_d}$	
III_s	$Z_{III_s} = \frac{2 \times k_3 \times D \times l_s \times F_{em}}{(2 + R_e) \times R_d}$	
IV	$Z_{IV} = \frac{2 \times D^2}{R_d} \times \sqrt{\frac{2 \times F_{em} \times F_{yb}}{3 \times (1 + R_e)}}$	

(Sumber: American Society for Testing and Materials, 2008; Pranata, Y.A., 2014; SNI 7973:2013)

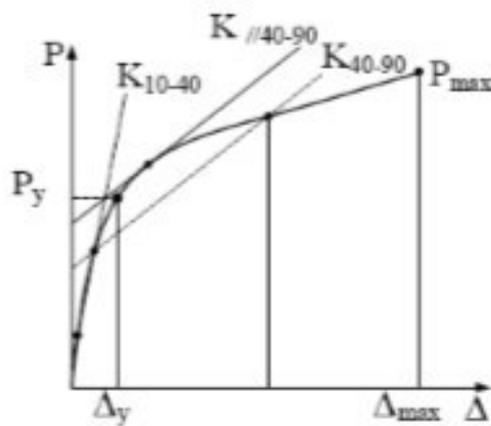
Dimana D adalah diameter baut, l_m adalah tebal kayu utama, dan l_s adalah tebal kayu/pelat pelapis, F_{em} adalah kuat tumpu baut, F_{es} adalah kuat tumpu kayu/baut penyambung, F_{yb} adalah tahanan lentur baut, R_d adalah faktor reduksi, $R_e = F_{em}/F_{es}$, dan θ adalah sudut gaya arah serat, $K_\theta = 1 + 0,25(\theta/90)$.

2.4 Penentuan Titik Beban

Penentuan titik beban batas proposional dan ultimit dapat ditentukan dari beberapa metode, antara lain:

Metode Yasumura dan Kawai (YK)

Metode ini mengasumsikan kekakuan awal berupa garis lurus dihitung antara rentang 10-40% beban maksimum. Titik leleh ditentukan dari pertemuan garis lurus antara dua titik nilai 40% dan 90% beban maksimum (gambar 2.2).



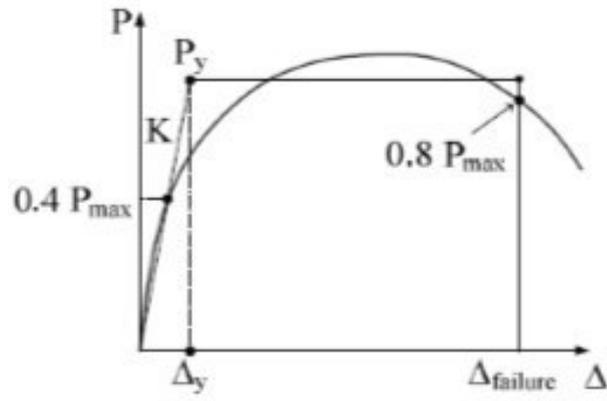
Gambar 2.3 Model kurva P-Δ dengan asumsi YK

Metode *Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve* (EEEP)

Metode ini umum digunakan pada material baja dengan pemodelan kurva sebagai perilaku elastic-plastik sempurna seperti gambar 2.3 . Luasan kurva hasil uji empiris diasumsikan sama dengan luasan kurva bilinear, sehingga beban leleh (P_y) dapat dihitung sebagai:

$$P_y = \left[\Delta_{failure} - \sqrt{\Delta_{failure}^2 - \frac{2w_{failure}}{K}} \right] K$$

dimana: $\Delta_{failure}$ adalah deformasi saat runtuh dan $w_{failure}$ adalah energy disipasi sampai runtuh.



Gambar 2.4 Model kurva P- Δ dengan asumsi EEEP

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari beberapa hal, yaitu:

1. Membuat inovasi pembalik beban sebagai alat pendukung alat UTM untuk menambah fungsi alat.
2. Memverifikasi dan melakukan verifikasi alat modifikasi UTM (UTM + inovasi pembalik beban) agar dapat digunakan untuk pengujian benda uji.
3. Mempelajari elemen struktur apa saja yang dapat diujikan dengan alat modifikasi UTM
4. Mempelajari perilaku kayu komposit dan kemungkinannya digunakan sebagai elemen struktur gedung.

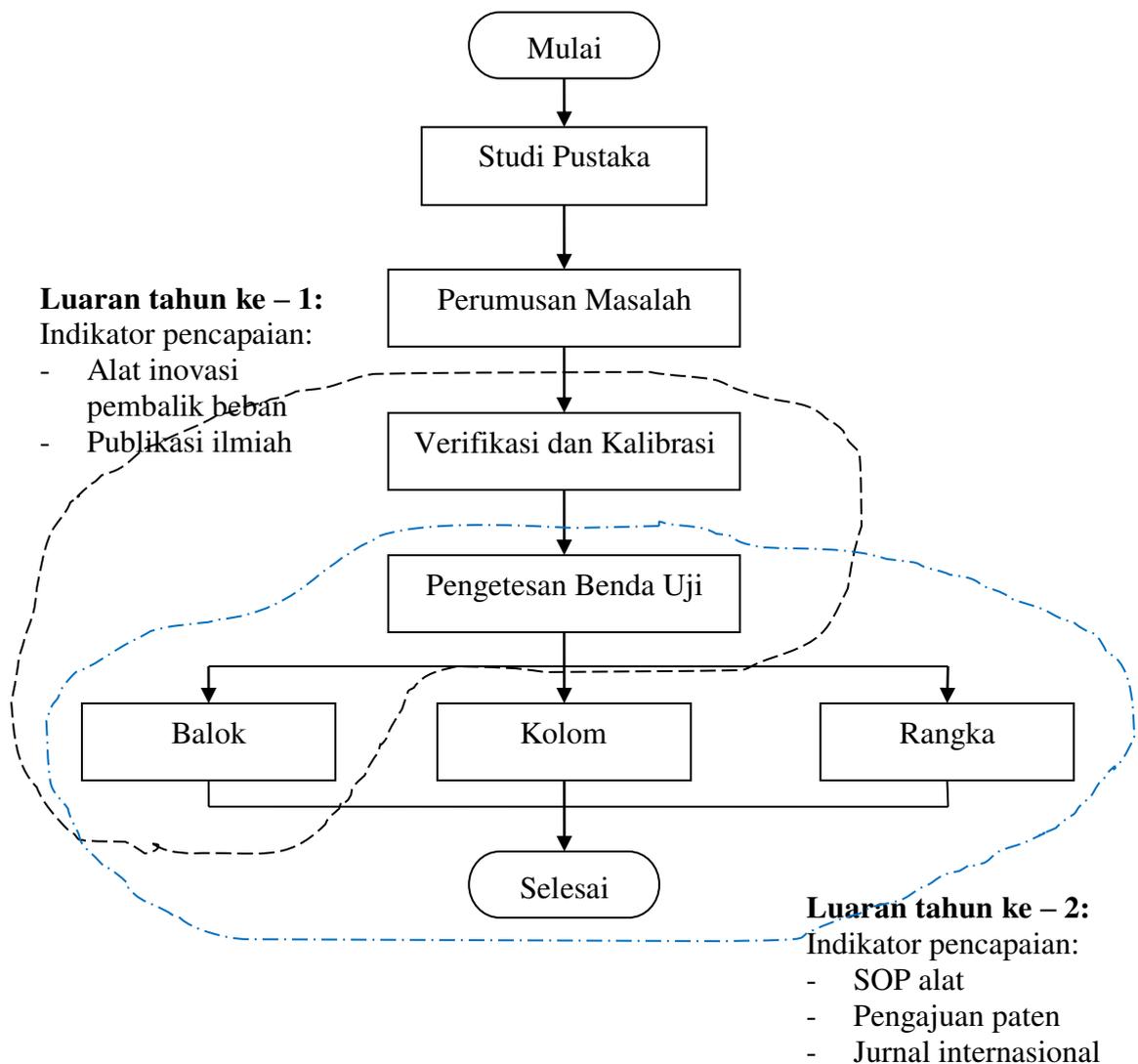
3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diusulkan diharapkan dapat lebih mengefektifitaskan penggunaan alat UTM menjadi multifungsi. Penelitian inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan pada UTM diharapkan dapat memberikan fungsi lebih pada alat UTM. Hal ini dapat memaksimalkan fungsi dari UTM dan juga menambah ruang gerak penempatan benda uji.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Alur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari lima tahapan utama, yaitu: tahap pengumpulan literatur untuk mempelajari dasar teori masalah dengan dukungan buku, jurnal, dan publikasi ilmiah terkait lainnya terutama menyangkut riwayat publikasi hasil penelitian UTM beserta pengujiannya serta model uji yaitu kayu solid dan kayu komposit. Selanjutnya adalah tahap perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, dan sebagainya.



Gambar 4.1 Diagram alir penelitian

Tahap ketiga adalah pembuatan inovasi pembalik beban. Pembuatan teknologi tepat guna ini merupakan aplikasi metode pembuatan beban. Tahap keempat adalah verifikasi dan kalibrasi alat yang selanjutnya dilakukan pengetesan benda uji yang sekaligus merupakan verifikasi tahap 2 dari alat inovasi pembalik beban. Diagram alir penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.1.

4.2 Tata Cara Pengujian

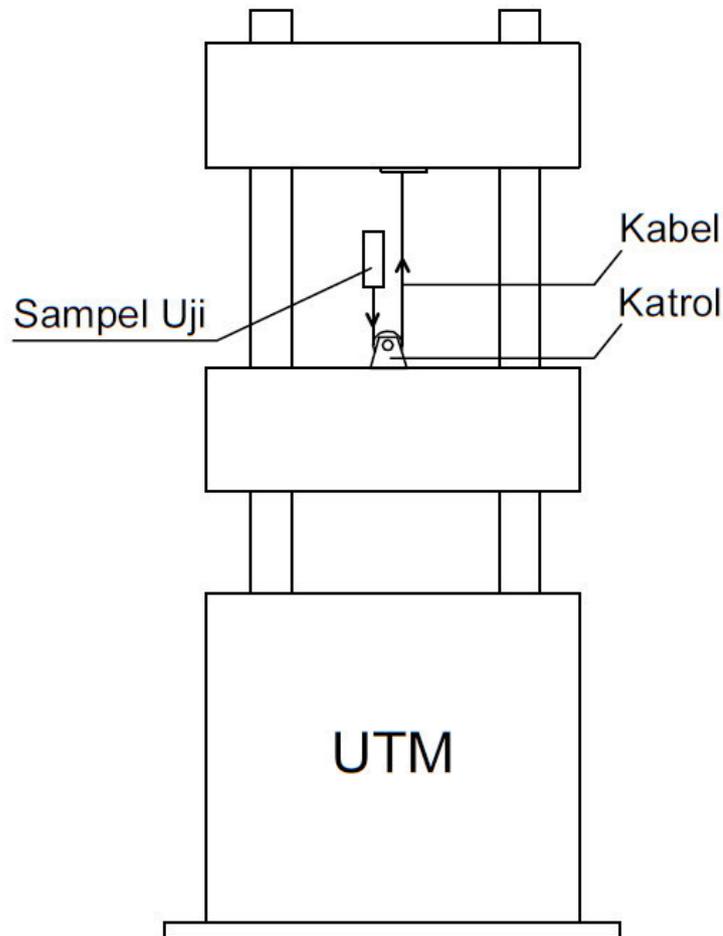
Tata cara pengujian sesuai dengan *American Society for Testing Material* (ASTM) (ASTM, 2008). Membuat model alat yang telah dirancang dan dipasangkan pada alat UTM. Instrumen-instrumen dipelajari UTM dan pengujian sesuai dengan prosedur resmi UTM dari Hung Ta (2004) dilakukan. Alat UTM yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Universal Testing Machine*

Data yang diperoleh dari UTM adalah informasi kurva riwayat waktu hubungan antara beban dan deformasi. Selanjutnya kurva dapat diolah menjadi kurva regangan

tegangan ataupun dipakai untuk mempelajari kondisi-kondisi penting seperti batas leleh dan ultimit beban.



Gambar 4.3 Skema UTM dan alat tambahan inovasi pembalik beban

Pembuatan alat inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan UTM dirancang seperti skema pada Gambar 4.3. Alat ini berfungsi untuk memaksimalkan fungsi UTM yang hanya pengujian tarik pada bagian atas menjadi dapat melakukan pengujian tekan. Alat terdiri dari bagian katrol sebagai pengarah, kabel berfungsi sebagai beban tekan transfer yang bekerja pada balok kayu, perlengkapan untuk mengekang atau penjepit. Kapasitas alat direncanakan mampu menahan beban sampai batas 3-10 ton, pencapaian ini bertujuan agar alat mampu bekerja dengan variasi ukuran dan jenis bahan yang berbeda.

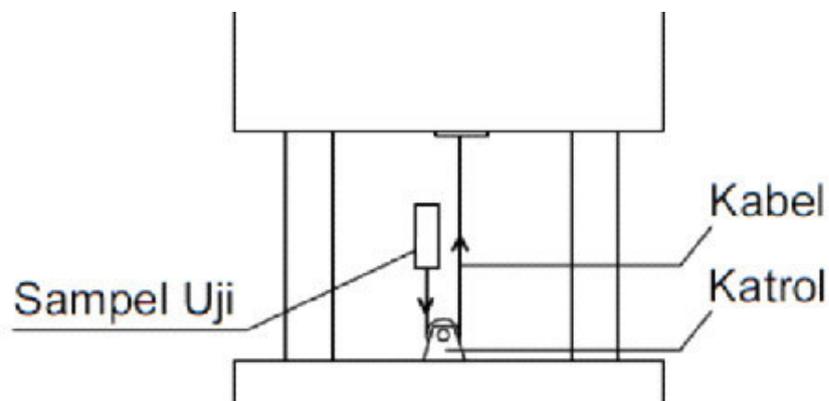
Alat tambahan yang dipasang disyaratkan mempunyai kapasitas kekuatan tarik antara 2 ~ 10 ton, yang dilengkapi kabel dan katrol, tumpuan balok atau benda uji

lainnya. Melengkapi data uji dan validitas alat dibutuhkan data pembandingan, maksud itu perlu referensi dan standar yang sesuai dengan cara / pola pengujian. Hasil uji ini akan diperlihatkan dalam bentuk grafik, mengamati perilaku keadaan yang terjadi. Pengujian dilakukan untuk balok diatas 2 perletakan dengan berbagai jenis kayu (kayu komposit dan kayu kelas 2) dilakukan untuk balok yang tersambung.

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

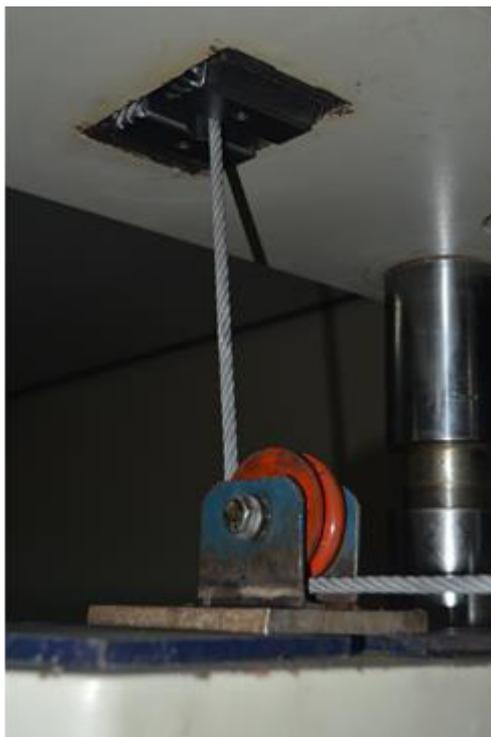
5.1 Pembuatan Alat Inovasi Pembalik Beban

Pembuatan alat inovasi pembalik beban diawali dari studi pustaka dan rancangan gambar alat. Alternatif penggunaan katrol sebagai pembalik beban direncanakan dipasang dengan alat UTM untuk memaksimalkan fungsi UTM yang hanya pengujian tarik pada bagian atas agar dapat melakukan pengujian tekan. Alat terdiri dari bagian katrol sebagai pengarah dan kabel seperti Gambar 5.1.

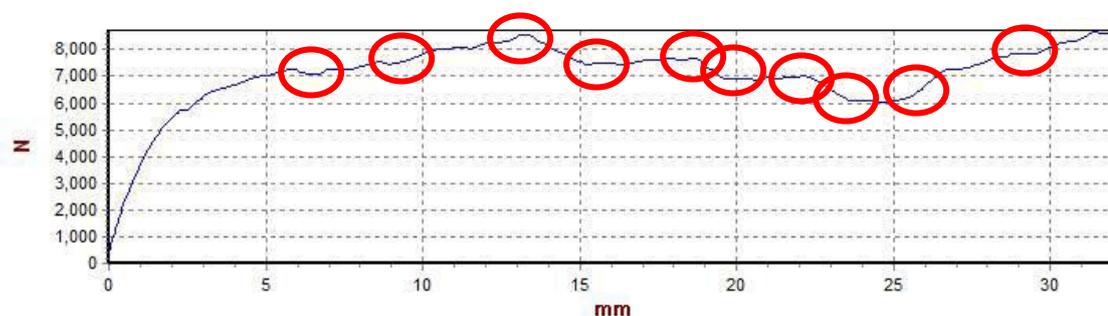


Gambar 5.1 Model Rencana Alat Inovasi Pembalik Beban

Tahap awal yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian elemen alat pembalik beban yaitu kapasitas kabel. Pada tahap percobaan awal digunakan kabel kawat berdiameter 7 mm dengan penjepit seperti pada Gambar 5.2. Kabel dihubungkan dengan pelat besi dengan tebal 1,5 cm sebagai dudukan katrol dan juga besi penjepit diameter 1,5 cm. Sebagai penjepit/dudukan atas dipakai pipa berukuran 1 cm, sehingga memungkinkan kabel untuk dimasukkan ke dalam pipa dan dijepit di dalamnya. Pada pengujian awal, kabel ditarik dengan mesin UTM untuk mengetahui properti mekanis dari kabel serta sambungan penjepitnya. Hasil dari pengujian awal dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Katrol dan kabel pada pengujian model alat 1



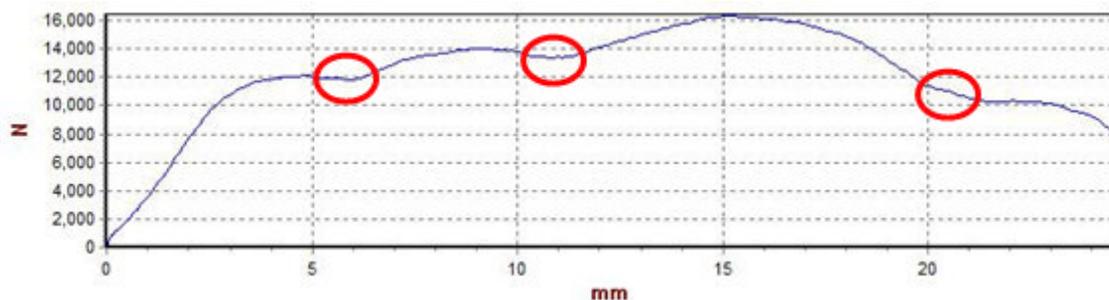
Gambar 5.3 Kurva P- Δ pada model alat 1

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa data P- Δ tidak konstan sehingga dapat disimpulkan masih banyak terdapat slip pada model alat 1 yang ditunjukkan pada lingkaran-lingkaran Gambar 5.3. Setelah dianalisis hal ini terjadi karena kapasitas kabel yang kurang memadai dan juga koneksi sambungan penjepit dengan kabel yang kurang terjepit sempurna. Perbaikan kabel dan penjepit dilakukan seperti Gambar 5.4, yaitu dengan mematkan ujung simpul dengan kawat dan memperkecil pipa penjepit.



Gambar 5.4 Modifikasi pada model alat 2

Gambar 5.5 menunjukkan bahwa data P- Δ untuk model alat 2 setelah kondisi penjepit diperkuat. Hubungan antara beban dan perpindahan lebih konstan dan beban ultimit yang dihasilkan naik menjadi dua kali lipat yaitu sebesar 15000 N. Pada kurva masih ditemukan beberapa slip pada model alat 2 yang ditunjukkan pada lingkaran-lingkaran Gambar 5.5. Kapasitas kabel masih dibawah kapasitas alat yang direncanakan yaitu minimal 3 ton. Selain itu, juga koneksi sambungan penjepit dengan kabel yang kurang terjepit sempurna sehingga masih ditemukan slip.



Gambar 5.5 Kurva P- Δ pada model alat 2

Pada model alat 3, kabel dipilih dengan kapasitas kekuatan yang lebih besar yang kemudian ditarik lagi dengan mesin UTM. Hasil dari penarikan adalah patahnya penjepit seperti Gambar 5.6. Posisi las yang terpatah akibat beban berlebih yang diberikan pada alat pembalik beban.



Gambar 5.6 Kerusakan penjepit pada model alat 3

Kesimpulan yang didapat dari ke-3 model pembalik beban adalah kabel besi tidak direkomendasikan dipakai sebagai komponen alat pembalik beban, penjepit antara kabel dan pipa/besi harus diperhatikan dengan seksama untuk menghindari slip, serta penjepit harus didesain lebih kuat untuk menghasilkan kapasitas alat pembalik beban diantara 3 – 10 ton.

Sebagai alternatif lain dari komponen kabel sling baja, maka digunakan rantai besi seperti Gambar 5.7. Sebelum disusun menjadi alat inovatif pembalik beban maka kuat tarik rantai akan dites sebagai komponen individu untuk meninjau studi kelayakan rantai sebagai bagian dari komponen alat inovasi pembalik beban. Selain itu penjepit pun dirancang khusus dengan takikan dan skrup pengencang agar menghindari slip pada elemen pada saat rantai ditarik.



a. rantai



b. penjepit

Gambar 5.7 Rantai pada model alat 4



Gambar 5.8 *Setting* rantai pada model alat 4

Selanjutnya rantai dipasang pada UTM (Gambar 5.8) untuk dilakukan pengujian kuat tarik sebagai acuan kelayakan rantai sebagai komponen alat pembalik beban. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik untuk melihat perpanjangan dan elongasi rantai pada waktu penggunaan beban nantinya.



a. pengujian 1



b. pengujian 2

Gambar 5.9 Rantai pada model alat 4

Rantai diuji sebanyak dua kali secara simultan dengan mempertimbangkan waktu tunda/pengenduran rantai setelah ditarik. Hasil pengujian rantai dapat dilihat pada Gambar 5.9. Kedua hasil pengujian menghasilkan *broken length* yang sama dan beban ultimit yang mendekati. Kurva P- Δ relatif stabil dengan kekakuan yang mendekati antara satu sama lain. Beban ultimit telah mencapai lebih dari 20000 N membuktikan bahwa material dan jenis rantai dapat digunakan sebagai komponen alat inovatif pembalik beban.



Gambar 5.10 Kegagalan Penjepit

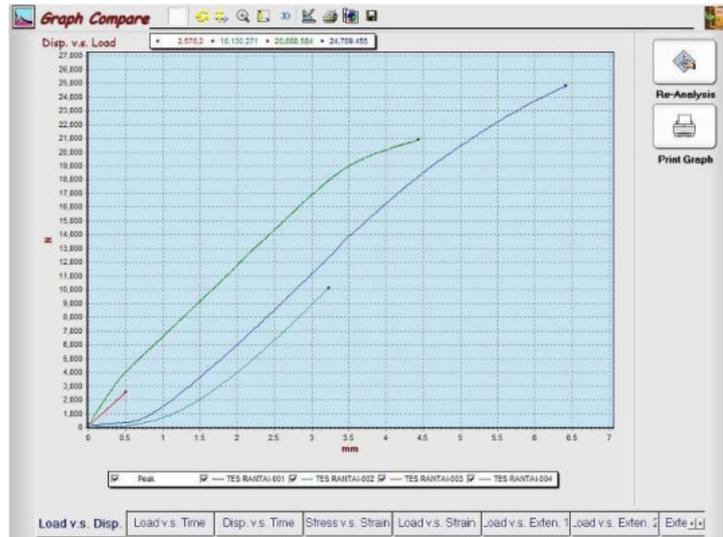
Setelah pengujian model alat 4, rantai tetap utuh tetapi terdeteksi sedikit ausnya elemen penjepit. Hal ini dapat diamati pada Gambar 5.10, posisi rantai agak turun dari posisi penjepitan awal. Besi yang ditakik aus sehingga muncul slip, tetapi hasil slip ini tidak terlalu nampak pada hasil pengujian dari kurva P- Δ pada UTM. Oleh sebab itu, perbaikan pada posisi jepit dilakukan dengan melubangi posisi penjepit pas dengan posisi rantai untuk menghindari pergeseran rantai pada waktu tarikan.



Gambar 5.11 Kegagalan Rantai pada Model 5

Seperti pengujian pada model-model sebelumnya, komponen pengujian terdiri dari dua bagian yaitu komponen penjepit dan komponen rantai. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan beban menerus sampai salah satu komponen rusak. Hal ini untuk mengetahui elemen manakah yang lebih menentukan dalam penentuan kapasitas komponen alat pembalik beban. Hasil pengujian sampai rusak dapat dilihat pada Gambar 5.11 yaitu kegagalan terjadi pada posisi rantai dimana elemen/skrup penyambung rantai lepas dari pusat rantainya. Beban ultimit sampai putus adalah sebesar 287 kN. Setelah perbaikan posisi penjepitan model 5, pada Gambar 5.11 tampak tidak ada keausan pada posisi penjepitan dan sekrup pengencang masih pada posisi semula (tidak ada pergeseran).

Perbandingan hasil rantai dalam setiap model dilihat pada Gambar 5.12. Perbedaan kurva P- Δ menunjukkan adanya ketidak stabilan komponen pada alat pembalik beban. Model rantai beserta penjepitannya perlu diperbaiki kembali. Alat pembalik beban kembali didesain ulang dan prototype kembali dibuat untuk kembali diuji.



Gambar 5.12 Perbandingan Uji Tarik Rantai

5.2 Setting Alat Inovasi Pembalik Beban

Hasil pengujian kekuatan rantai dan penjepitan, menghasilkan beban kapasitas yang mencukupi sesuai target 2 ton. Setting penambahan kapasitas dilakukan dengan cara menggunakan beberapa rantai untuk mendistribusikan beban dan menahan beban lebih baik tanpa adanya kerusakan alat uji.



Gambar 5.13 Komponen rantai dan konektor pada alat inovasi pembalik beban

Setelah pengujian komponen alat, maka selanjutnya dilakukan setting alat pembalik beban. Gambar 5.13 dan 5.14 menunjukkan setting awal alat pembalik beban

sebelum dirangkai. Model ini terbentuk dari hasil *prototype* awal dan pengujian komponen dan setting *prototype*.



Gambar 5.14 Komponen penjepit dan katrol pada alat inovasi pembalik beban

Gambar 5.14 menunjukkan penjepit dilengkapi dengan pelat jepitan untuk penghubung rantai dan sekrup baja. Perancangan pelat penjepit ini dilakukan untuk menghindari adanya slip yang didapatkan dari pengujian-pengujian sebelumnya. Jumlah pengencang diperbanyak serta rantai yang dipakai minimal 2 buah. Adapun alat juga dimodifikasi sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan memiliki kapasitas yang lebih besar sampai dengan 10 ton. Prediksi kapasitas maksimum dengan 4 rantai adalah 10 ton dengan faktor keamanan sebesar 1,5. Katrol pendukung digunakan double dengan 4 lapis, apabila kapasitas sampai 3 ton maka cukup dipakai double rantai saja dan penggunaan 2 gerigi katrol.

Setting alat dilakukan dan dipasang pada alat UTM yang terhubung pada perangkat sensor dan komputer seperti pada Gambar 5.15 dan 5.16.



Gambar 5.15 Setting alat inovasi pembalik beban



Gambar 5.16 Perangkat sensor dan komputer dari UTM

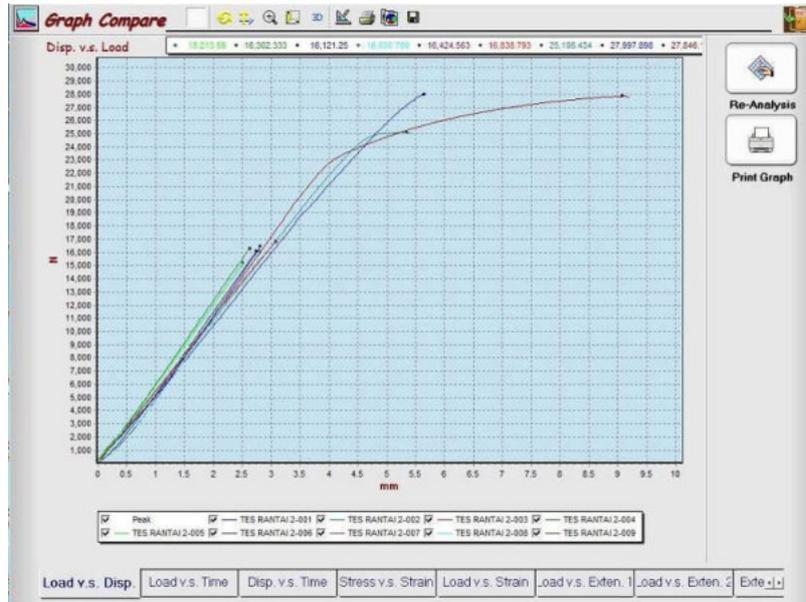
5.3 Kalibrasi Alat Inovasi Pembalik Beban

Kalibrasi alat inovasi pembalik beban dilakukan dengan peninjauan alat pembalik beban dengan pengujian tarik UTM. Pengujian dilakukan secara berkali-kali untuk mengetahui kejenuhan dan kapasitas rantai dan penjepit. Setting pengujian kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 5.17. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.17 Setting pengujian kalibrasi rantai double

Gambar 5.18 menunjukkan kurva $P-\Delta$ yang telah berhimpit setelah pengujian berulang kali dari alat pembalik beban. Perbedaan beban ultimit didapatkan karena control pengujian secara manual untuk menjaga agar rantai atau penjepit tidak patah. Hasil menunjukkan alat pembalik beban sudah homogen dan siap untuk diujikan sekaligus dikalibrasi ulang untuk pengujian kayu.



Gambar 5.18 Setting pengujian kalibrasi rantai double 2

Setting pengkalibrasian alat pembalik beban dengan *load cell* dapat dilihat pada Gambar 5.19. Tekanan pada UTM dibandingkan dengan gaya yang terjadi pada rantai dengan *load cell* yang dipasang pada ujung rantai. Hal ini dilakukan untuk memverifikasi beban yang akan diaplikasikan pada pengujian benda uji nantinya.



Gambar 5.19 Setting pengujian verifikasi dengan *load cell*.

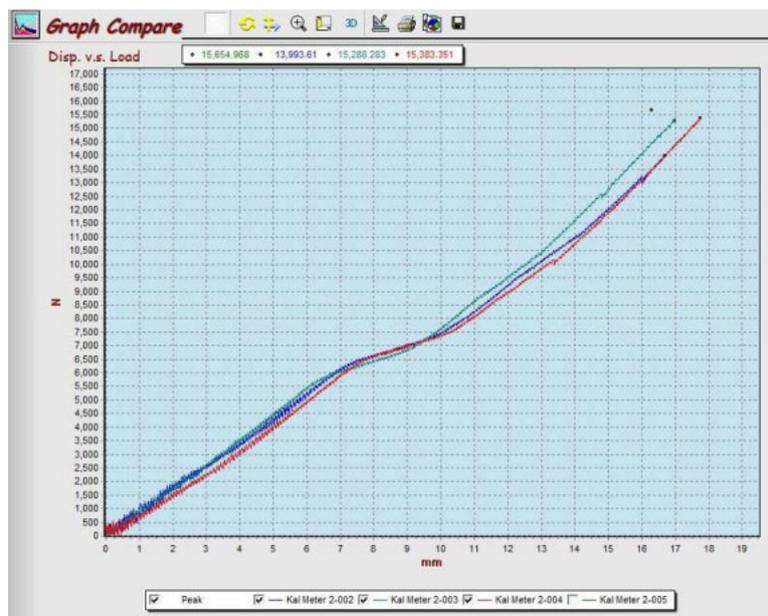
Hasil kalibrasi hasil UTM mendekati *load cell* sampai tegangan mencapai 1,5 ton. Hasil kalibrasi alat dapat dilihat pada gambar 5.20 menunjukkan bahwa apabila rantai belum meregang dan sudah dipakai maka akan terjadi distorsi kurang stabil. Pada

tekanan awal maka diperlukan waktu terlebih dahulu agar rantai meregang baru memasuki pembebanan sebenarnya dari pembebanan benda uji.



Gambar 5.20 Hasil kalibrasi awal

Alat disempurnakan dan kalibrasi kembali dilakukan dengan hasil seperti pada gambar 5.21. Hasil yang cukup stabil didapatkan sampai beban dengan mencapai 6500 N. Sedikit gangguang didapat pada sekitar pembebanan 6500 N – 7500 N untuk selanjutnya kembali stabil.



Gambar 5.21 Hasil kalibrasi 2

5.4 Pengujian Properti Material Kayu

5.4.1 Properti Material Tahap 1

Pengujian sifat fisik material kayu dilakukan untuk 10 benda uji. Penelitian awal baru dilakukan untuk benda uji kayu meranti.

Tabel 5.1 Sifat fisik material kayu

Jenis Kayu	Berat (kg)	volume (cm ³)	Berat jenis
Meranti	13.03	67.2	0.1939
Meranti	11.7	67.2	0.1741
Meranti	13.76	67.2	0.2048
Meranti	11.58	66.24	0.1748
Meranti	12.48	67.2	0.1857
Meranti	12.1	67.2	0.1801
Meranti	8.55	67.2	0.1272
Meranti	8.7	67.2	0.1295
Meranti	16.62	67.2	0.2473
Meranti	29.51	67.2	0.4391
Meranti	10.14	66.24	0.1531
Meranti	10.42	66.24	0.1573

Rata-rata **0.1972**

Deviasi standar **0.0829**



Gambar 5.22 Persiapan material benda uji kayu solid

5.4.2 Properti Material Tahap 2

5.4.2.1 Kuat Tekan Tegak Lurus Serat

Pengujian kuat tekan tegak lurus serat dilakukan pada 5 benda uji berukuran 50x50x150 mm seperti pada Tabel 5.3, kemudian hasil yang diambil merupakan rata-rata dari ke 5 benda uji. Berat jenis basah adalah 947 kg/m³ dengan kuat tekan tegak lurus serat ($f_{c\perp}$) 10,10 MPa. Pola hancur setelah ditekan dapat dilihat pada Gambar 5.3 untuk keempat sisi.

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tekan tegak lurus serat

	b (mm)	h (mm)	t (mm)	Berat (gram)	P (N)	Deformasi (mm)	Berat Jenis (kg/m ³)	$f_{c\perp}$ (MPa)	E_{\perp} (MPa)
K-1	150	50	50	377	29032	0.61	1005	11.61	47593
K-2	150	50	50	347	21574	0.67	925	8.63	32201
K-3	150	50	50	359	24108	0.76	957	9.64	31720
K-4	150	50	50	317	22721	0.92	845	9.09	24697
K-5	150	50	50	376	28837	0.97	1003	11.53	29729
						Rata-rata	947	10.10	33188



Gambar 1 Sisi 1



Gambar 2 Sisi 2



Gambar 3 Sisi 3



Gambar 4 Sisi 4

5.5 Pembuatan Benda Uji Balok

Benda uji balok dibuat dengan bentang 4 m dengan dan tanpa sambungan. Tujuan dari pembuatan benda uji balok adalah untuk mengkalibrasi alat inovasi pembalik beban sekaligus meninjau kegunaan efektifitas alat pembalik beban sebagai alat tambahan pada UTM. Gambar 5.22 mengilustrasikan persiapan benda uji untuk kayu solid.

Selanjutnya penyetalan benda uji pada UTM dengan alat tambahan diilustrasikan pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Penyetelan material benda uji kayu solid pada modifikasi UTM

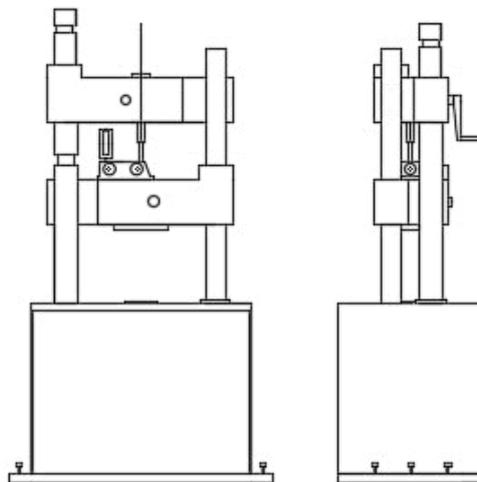
5.6 Pengujian Balok

5.6.1 Pengujian Balok Tahap 1

Pengujian balok dilakukan oleh 2 jenis alat yaitu pengujian dengan alat UTM dan pengujian dengan UTM dengan alat inovasi pembalik beban. Pengujian lentur dilakukan untuk benda uji balok seperti pada tabel 5.2. Hal ini dilakukan sebagai usaha verifikasi hasil dari UTM + alat pembalik beban.

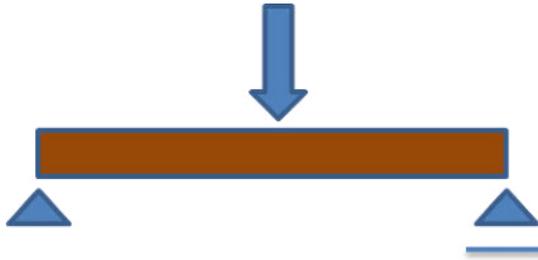
Tabel 5.2 Jenis Pengujian Beserta Jumlah Benda Uji Kayu

		Tipe Balok	Jumlah Sampel
Kayu L = 1,5 m	UTM	Solid (dimensi: 5x15 cm)	3
		Sambungan (dimensi: 5x15 cm)	3
	UTM +	Solid (dimensi: 5x15 cm)	3
		Sambungan (dimensi: 5x15 cm)	3
Kayu L = 3,5 m	UTM +	Solid (dimensi: 5x15 cm)	3
		LVL utuh (dimensi: 9x18 cm & 9x9 cm)	2
		Sambungan (5x15)	3



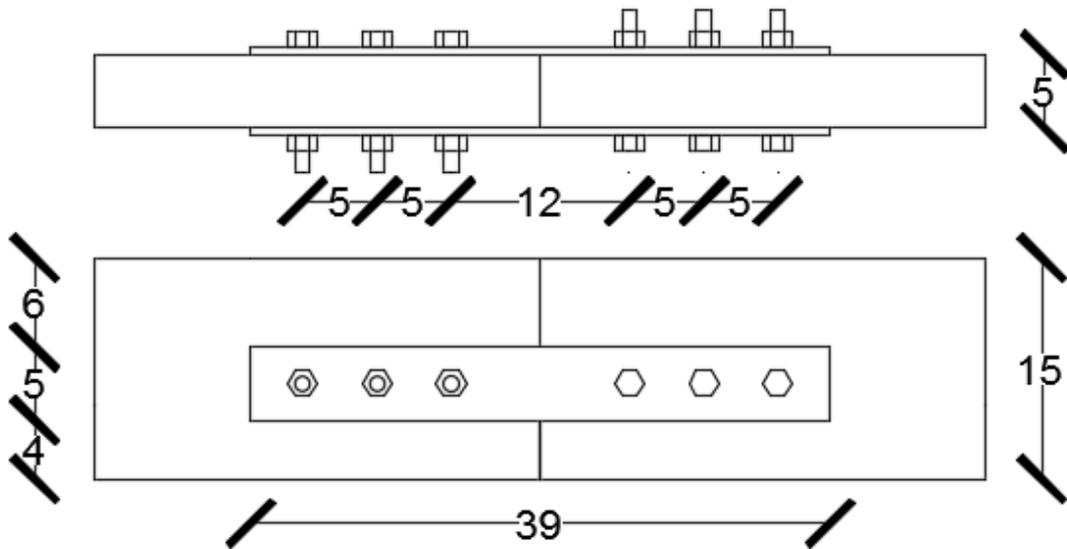
Gambar 5.24 Setting UTM dengan Alat Tambahan Pembalik Beban (UTM +)

Pengujian dengan UTM + adalah pengujian benda uji dengan menggunakan alat uji UTM yang ditambah dengan alat uji pembalik beban seperti skema pada gambar 5.24. Benda uji disimpan dengan dudukan untuk dibebani secara gravitasi pada tengah bentang seperti ilustrasi pada gambar 5.25.

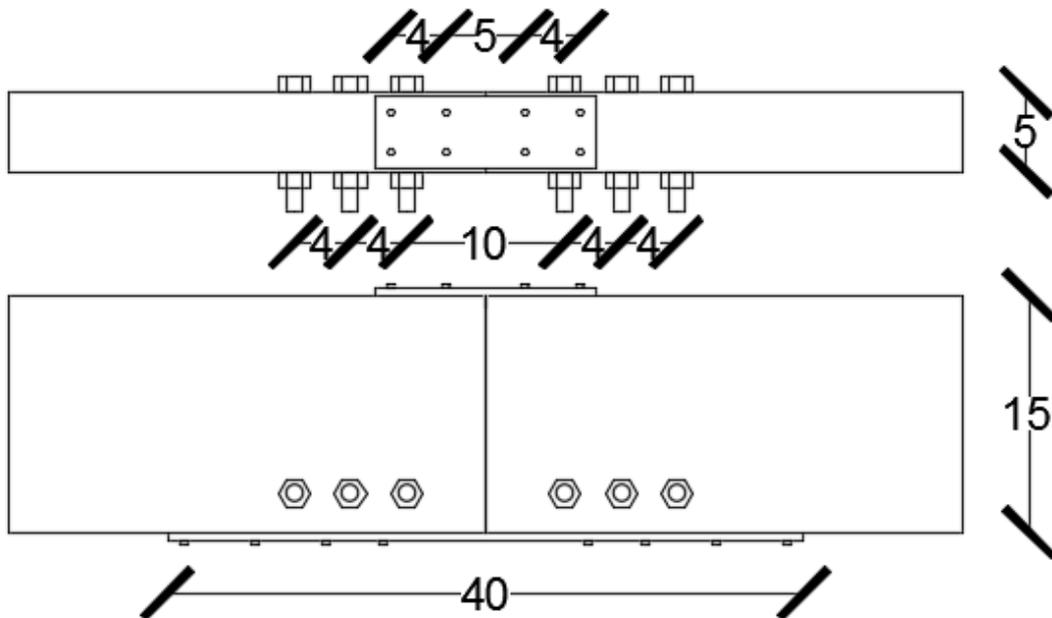


Gambar 5.25 Pembebanan Balok di Tengah Bentang

Pengujian balok dilakukan untuk 2 macam, yaitu: pengujian balok utuh dan pengujian sambungan baut. Pengujian sambungan baut dibuat untuk sambungan tipe 1 – sambungan normal (gambar 5.26) dan sambungan tipe 2 – sambungan inovasi yang menggabungkan kombinasi pelat atas, bawah, dan samping yang belum pernah diaplikasikan di lapangan (gambar 5.27). Baut yang dipakai adalah baut hitam diameter 10 mm dan diameter 2,5 mm.

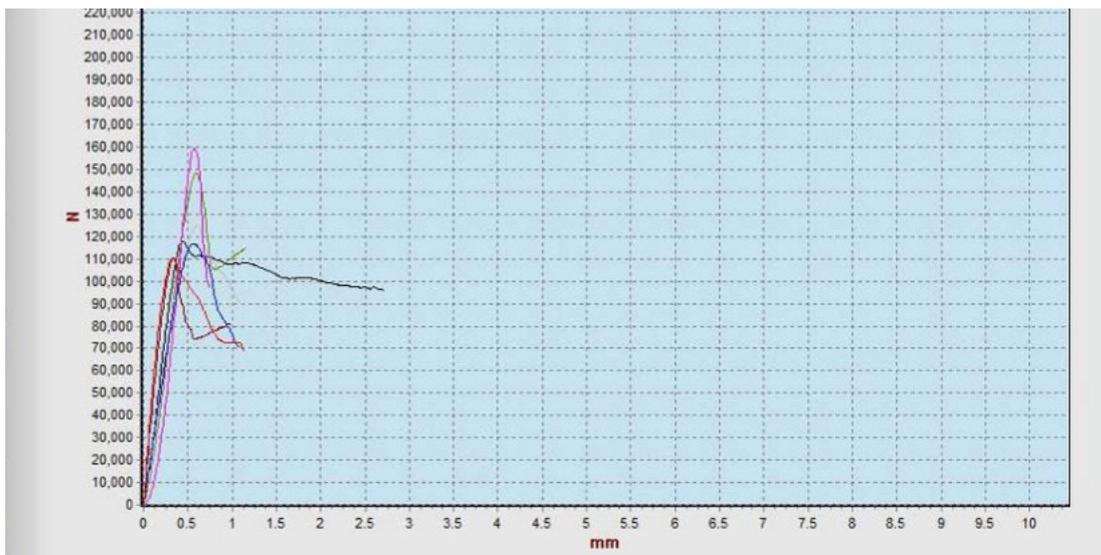


Gambar 5.26 Sambungan Tipe 1



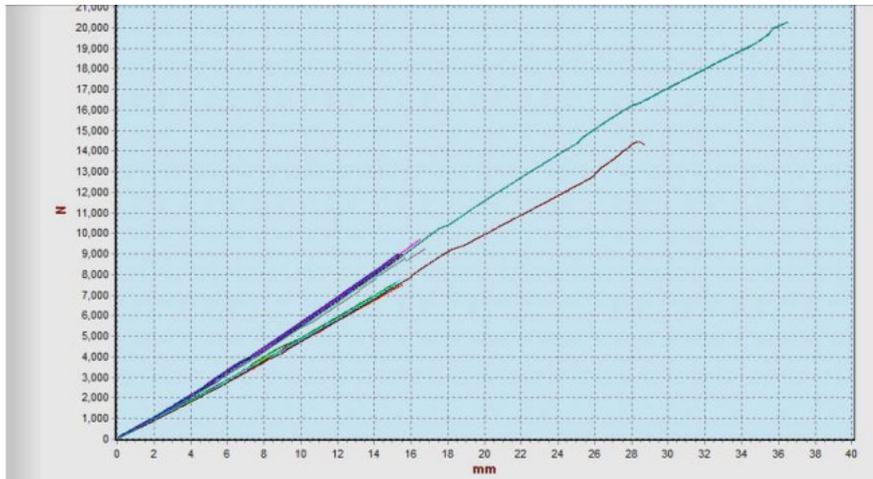
Gambar 5.27 Sambungan Tipe 2

Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 5.28 sampai dengan 5.33. Gambar 5.28 menunjukkan hasil pengujian balok utuh sampai dengan beban puncak dilakukan untuk kayu solid. Pengujian dilakukan dengan alat UTM untuk uji lentur. Perbedaan beban puncak terjadi dipengaruhi adanya perbedaan material properti dari kayu walaupun kayu yang dipakai merupakan kayu dengan jenis yang sama.



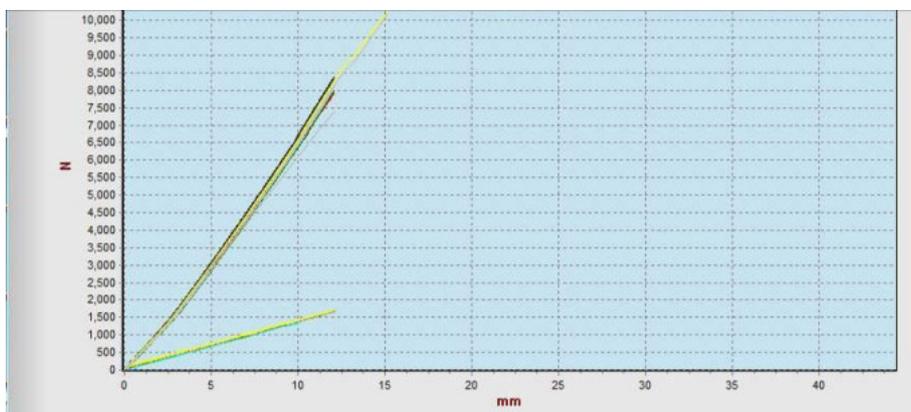
Gambar 5.28 Hasil pengujian balok solid utuh dengan UTM

Gambar 5.29 merupakan pengujian balok solid utuh tanpa sambungan dengan bentang yang berbeda. Hasil kurva beban dan lendutan merupakan hasil pengujian menggunakan UTM+ atau UTM yang ditambah dengan alat pembalik beban. Perbedaan kekakuan dihasilkan karena adanya perbedaan panjang balok.



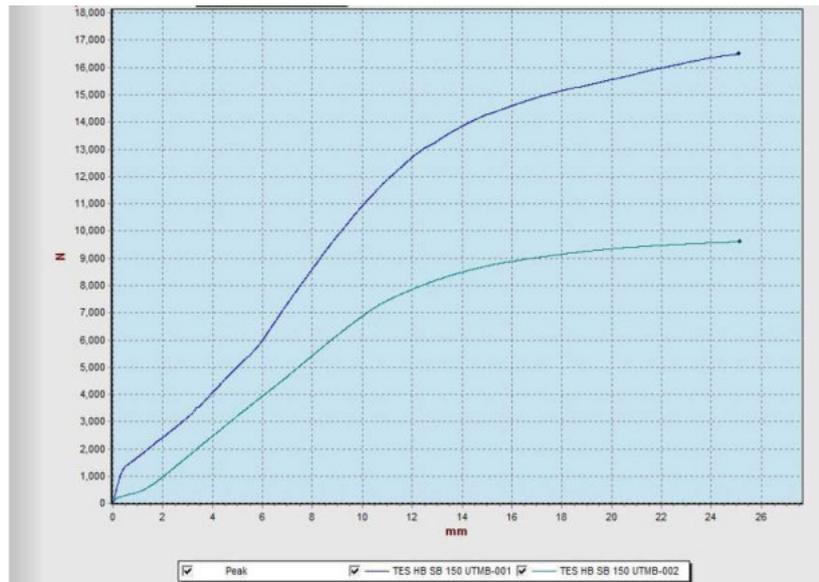
Gambar 5.29 Hasil pengujian balok solid utuh dengan UTM +

Gambar 5.30 menunjukkan hasil pengujian balok LVL dengan UTM +. Ada 2 tipe dimensi balok yang berbeda yang dipakai yaitu 9x9 cm dan 9x18 cm. Perbedaan kekakuan dan beban tampak pada gambar 5.30. Balok dengan dimensi 9x9 cm memiliki beban yang relatif kecil, hanya 1500 N untuk mencapai lendutan 12 mm, sedangkan balok dimensi 9x18 cm dapat mencapai 8000 N untuk mencapai lendutan 12 mm. Hasil menunjukkan bahwa dimensi balok sangat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan balok.

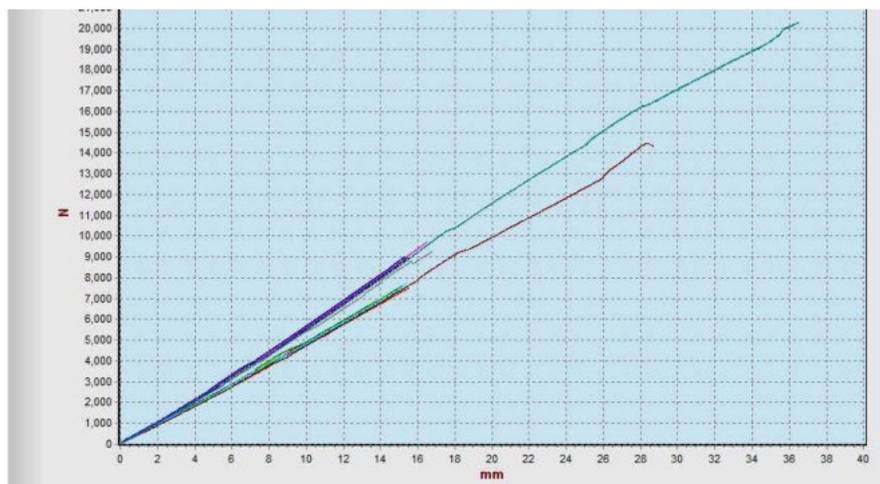


Gambar 5.30 Hasil pengujian balok LVL utuh dengan UTM +

Gambar 5.31 menunjukkan pengujian balok $L=1,5$ m dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM. Perbedaan kapasitas balok sangat nampak pada gambar. Balok dengan sambungan baut tipe 1 memiliki kapasitas yang lebih kecil dari sambungan baut tipe 2. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan baut tipe 2 merupakan sambungan baut yang dapat direkomendasikan sebagai sambungan inovatif untuk *prefabricated timber*.

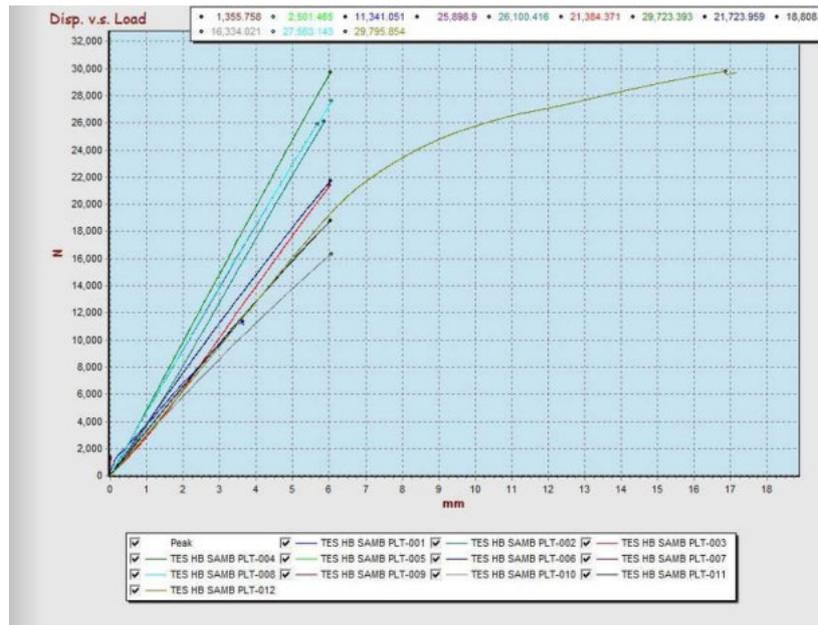


Gambar 5.31 Pengujian balok ($L=1,5$ m) dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM



Gambar 5.32 Pengujian balok ($L=3$ m) dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM +

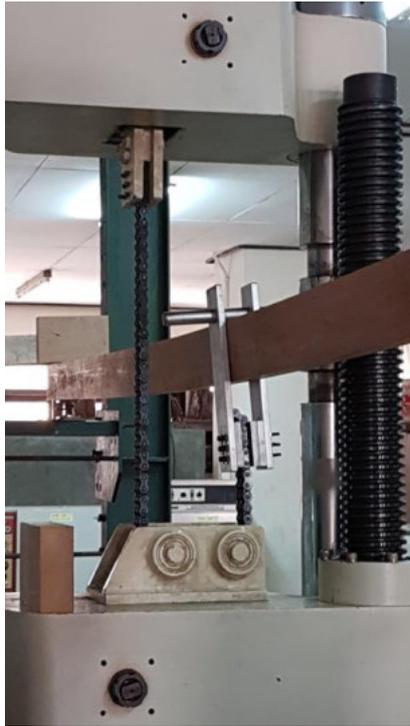
Gambar 5.32 dan 5.33 menunjukkan pengujian sambungan balok dengan alat UTM +. Konfigurasi pelat dan baut yang dipakai seperti pada gambar di lampiran menambah daktilitas kayu dalam menahan beban. Pada gambar 5.33 pengujian dilakukan sampai mencari lendutan 6 mm, tetapi ada 1 balok diuji sampai rusak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa durabilitas dari sambungan kayu cukup baik dengan daktilitas yang memadai.



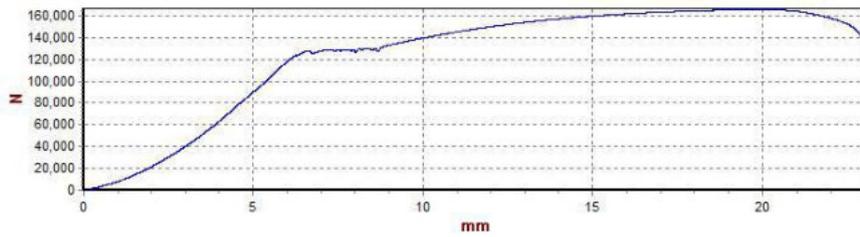
Gambar 5.33 Pengujian balok (L=3 m) dengan sambungan pelat di tengah bentang dengan UTM +

5.6.2 Pengujian Balok Tahap 2

Pengujian balok kembali diujikan pada tahun ke-2 dengan melakukan pengujian terlebih dahulu terhadap material propertis kayu untuk mendapatkan standarisasi dengan pengujian awal seperti yang dapat dilihat pada sub bab 5.4.2. Sambungan dengan konfigurasi baru diuji cobakan untuk mendapatkan konfigurasi yang terbaik dalam sambungan balok.



Gambar 5.34 Pengujian balok dengan alat inovasi beban



Gambar 5.35 Hasil pengujian balok dengan alat inovasi beban



Gambar 5.36 Setting pengujian sambungan balok dengan alat inovasi beban

5.7 Pengujian Rangka

5.7.1 Pembuatan Model

Model rangka dibuat dengan sambungan minimalis untuk menjaga estetika. Panjang dari rangka adalah 3 m dengan tinggi rangka 0,53 m. Sudut kemiringan atap adalah 22° . Perletakan direncanakan dengan perletakan sederhana. Sambungan rangka dibuat dengan 2 tipe yaitu sambungan baut dan sambungan pasak (Gambar 5.38). Rangka dapat dilihat pada Gambar 5.37.



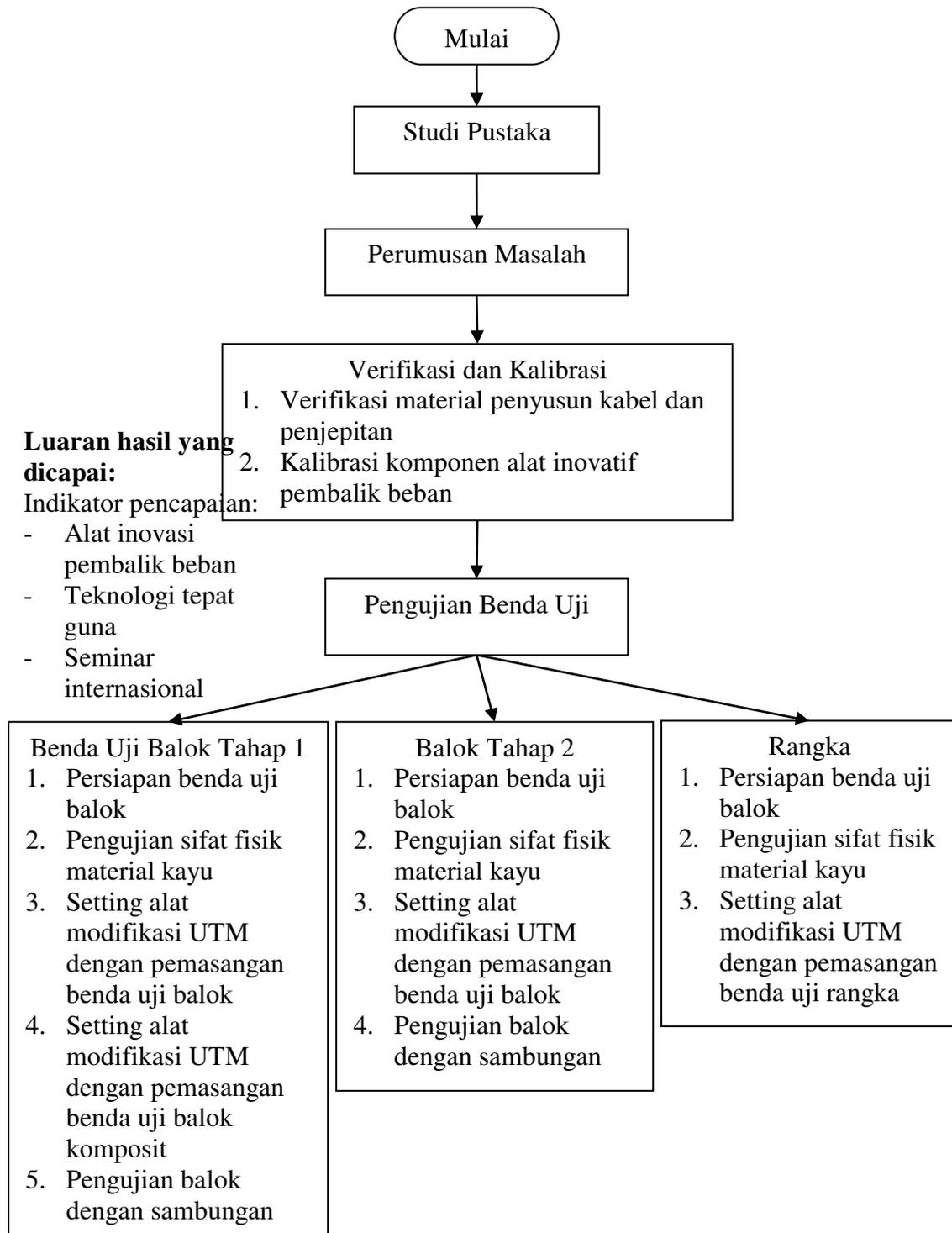
Gambar 5.37 Setting model rangka atap



Gambar 5.38 Pemasangan pasak untuk sambungan rangka atap

5.8 Pembahasan

Penelitian direncanakan untuk memodifikasi alat UTM dan juga melakukan pengujian lentur pada dua jenis kayu yaitu kayu kelas II (Meranti) dan kayu komposit (LVL). Pengujian lentur dilakukan pada elemen balok balok utuh maupun dengan sambungan. Pada sub bab 5.1 sampai dengan 5.7 telah dibahas hasil yang telah dicapai dalam penelitian yang secara skematik tahapan dan hasil ditampilkan pada Gambar 5.21.

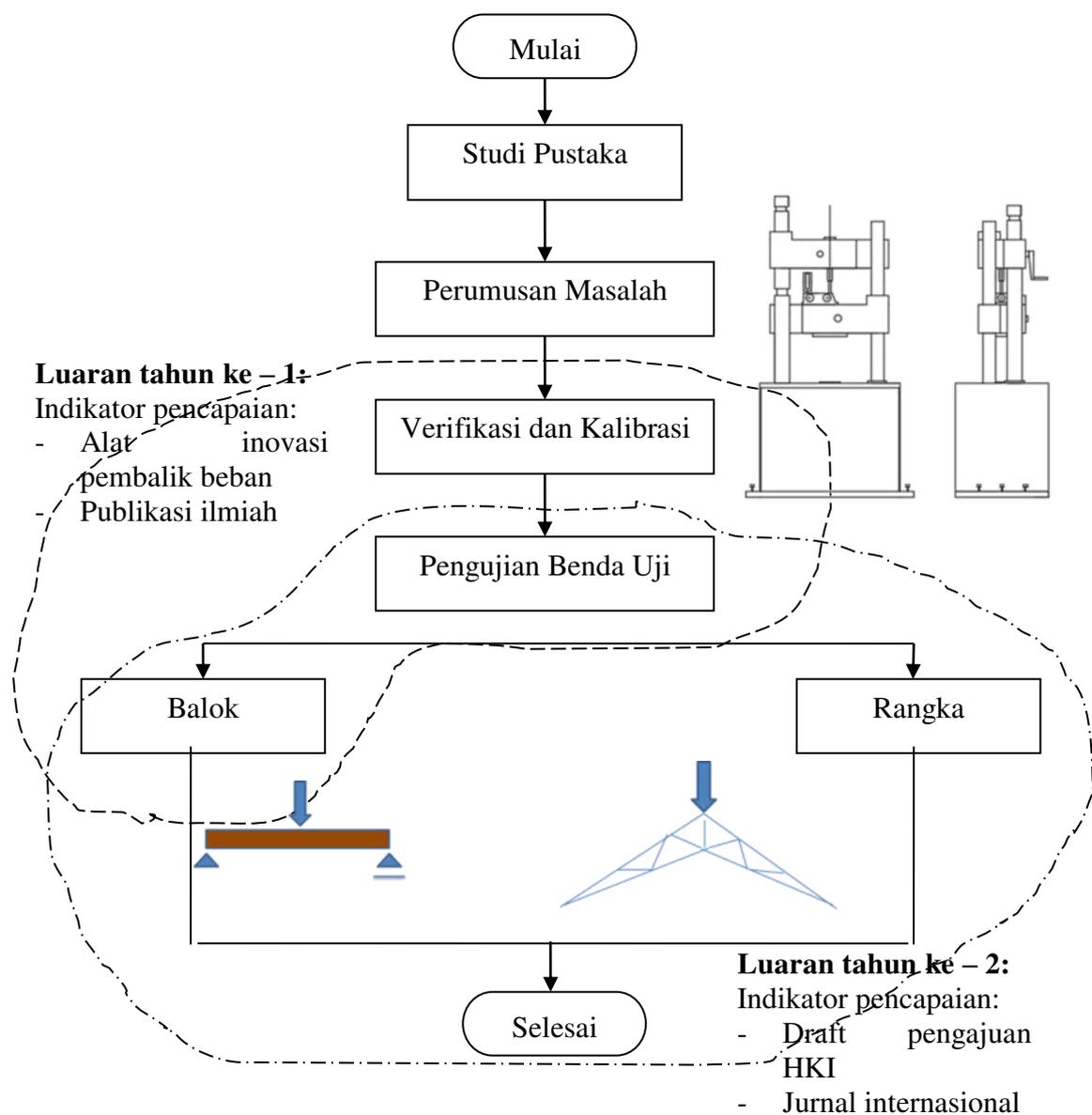


Gambar 5.34 Diagram alir hasil penelitian yang dicapai

BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

6.1 Rencana Pengujian Berikutnya

Penelitian selanjutnya adalah kalibrasi alat inovasi pembalik beban dan pengujian benda uji dengan metode pengujian eksperimental di laboratorium. Setelah menyelesaikan seluruh pengujian benda uji yang sekaligus mengkalibrasi alat inovasi pembalik beban maka data dari hasil pengujian dengan UTM dianalisis untuk mendapatkan persamaan empiris verifikasi dan kalibrasi alat.



Gambar 6.1 Diagram alir penelitian rencana berikutnya

Selain itu, *Standard Operation Procedure* (SOP) akan disusun sebagai manual dalam pemasangan alat tambahan untuk UTM. Alat pembalik beban telah berhasil dibuat hanya saja pengujian perlu tetap dilakukan untuk mengetahui ketahanan alat serta daya guna alat. Selanjutnya skema penelitian rencana tahapan berikutnya dapat dilihat pada gambar 6.1.

Pengolahan data pengujian material kayu dan balok perlu dilakukan dan ditinjau relevansinya terhadap analisis manual maupun dengan program komputer. Setting model rangka dan sambungan telah dilakukan, pada tahap selanjutnya akan dilakukan pengujian rangka beserta sambungannya dengan alat inovasi pembalik beban, seperti dapat dilihat Gambar 6.2.

6.2 Rencana Luaran Hasil Penelitian

Hasil luaran penelitian yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Teknologi tepat guna
2. Model alat modifikasi UTM
3. Desain alat inovasi pembalik beban
4. Draft pengajuan HKI
5. Publikasi seminar internasional
6. Publikasi jurnal internasional

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan sementara yang dapat diambil dari hasil penyusunan laporan akhir penelitian tahun ke-1 adalah alat inovasi pembalik beban sebagai alat tambahan pada mesin UTM dapat mengalihkan fungsi dari UTM yang wilayah beban tarik menjadi beban tekan. Pemakaian rantai sebagai komponen alat pembalik beban sangat disarankan dibandingkan dengan pemakaian kabel baja. Hasil pengujian kayu dengan UTM dan UTM + alat pembalik beban mendekati, sehingga untuk selanjutnya pengujian dapat dilakukan menggunakan UTM + alat pembalik beban.

7.2 Saran

Modifikasi alat UTM dilakukan dengan alat tambahan yaitu alat sederhana yang terdiri komponen rantai, penjepit, dan katrol. Pengujian dan aplikasi alat masih harus diujikan ke elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, ataupun rangka batang. Selain itu mengingat alat ini masih tergolong baru maka kalibrasi dan verifikasi hasil pengujian perlu selalu dilakukan untuk memastikan keakuratan hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- APA. (2011). *Engineered Wood Construction Guide: The Engineered Wood Association*.
- ASM International. (2004). *Tensile Testing*.
- ASTM. (2008). *Annual Book of ASTM Standards Section Four Construction Wood*, American Society for Testing and Materials.
- ASTM D143-09.(2009). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM E4. *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*: ASTM International.
- ASTM E74. *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*: ASTM International.
- Haygreen, J. G., & Bowyer, J. L. (1996). *Forest products and wood science: An Introduction*. Ames IA: Iowa State University.
- Hung Ta Instrument, C., Ltd., (2004). *Hung Ta Instrument Manual Reference*: Hung Ta Instrument, Co., Ltd.
- Wood Solutions. (2013). *Laminated Veneer Lumber (LVL)*. Retrieved Apr 15,2015, from <http://www.woodsolutions.com.au/Wood-Product-Categories/Laminated-Veneer-Lumber-LVL>

LAMPIRAN – Susunan Organisasi dan Pembagian Tugas

No.	Nama / NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas
1	Cindrawaty Lesmana / 0406087901	Universitas Kristen Maranatha	Struktur bangunan/ struktur komposit/ metode elemen hingga / komputer grafis / perancangan bangunan	4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengkoordinir proses penelitian. 2. Mendelegasikan tugas sesuai dengan tahapan penelitian. 3. Memastikan target pencapaian. 4. Mempresentasikan hasil penelitian. 5. Merencanakan dan menyetujui proses pembelian barang habis pakai, pembuatan benda uji, dan peralatan penunjang lainnya. 6. Memastikan prosedur pengujian berlangsung sesuai dengan standar berlaku. 7. Mengolah data analisis hasil pengujian. 8. Mempersiapkan publikasi ilmiah dan laporan penelitian.
2	Ir. Swadiryus Suhendi / 0415045302	Universitas Kristen Maranatha	Manajemen konstruksi / struktur kayu / mekanika bahan / analisis struktur	4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Merencanakan proses pembelian barang habis pakai, pembuatan benda uji, dan peralatan penunjang lainnya. 2. Mengawasi dan membuat alat tambahan inovasi pembalik beban. 3. Mengawasi dan melakukan prosedur pengujian berlangsung sesuai dengan standar berlaku. 4. Membantu persiapan publikasi ilmiah dan laporan penelitian.

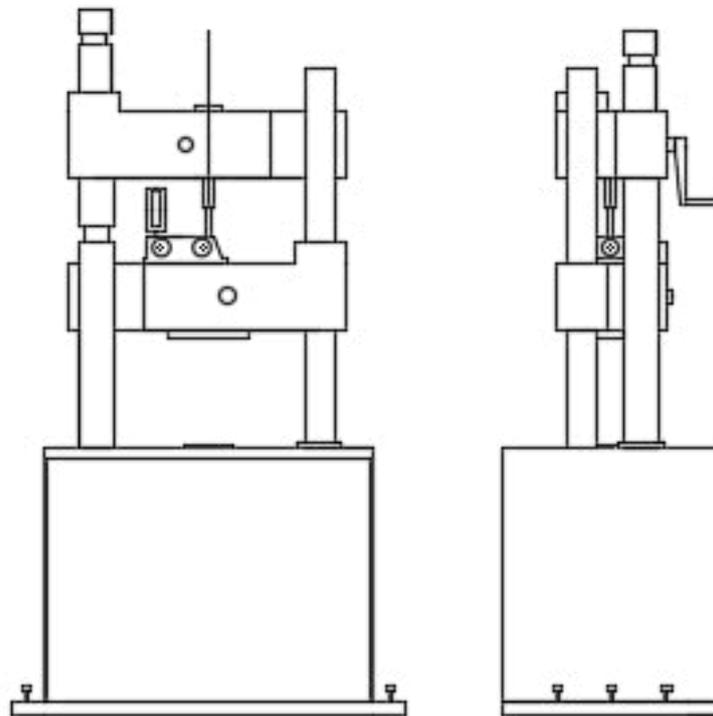
LAMPIRAN – Hasil Luaran

Hasil luaran penelitian yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Model alat modifikasi UTM (*prototype*)



2. Desain alat inovasi pembalik beban



3. Teknologi tepat guna



4. Publikasi seminar internasional

Experimental Investigation of Connection Performance for Prefabricated Timber Beam

C. Lesmana & S. Suhendi

Department of Civil Engineering, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, Indonesia

ABSTRACT: This paper presents the investigation of connection performance for a simple supported prefabricated timber beams using Meranti hardwood (*Shorea sp.*). The good connection is crucial for the proper functioning of the timber structures. The adequate connection condition should be assured so the design capacity and performance of the system can be achieved. The property of material was tested according to ASTM D2395. The proposed design of bolted connections has been evaluated through experimental investigation and compared to the simple supported beam without connection. The results demonstrate the effectiveness of the proposed connection design although the ultimate load of the beam with connection is only half of the beam without connection. The test results obtained the purposed connection should be improved.

Keywords: bolted connection, failure modes, wood experimental test

1 INTRODUCTION

One of the important factor to investigate the performance of the wood building structures is by evaluating the performance of its element structure. The limited wood length in the market creates the demand of the needs to improve connection technology so the element can be longer. Many researchers have studied the wood connections (Dackermann et al., 2016, Lukaszewska et al., 2008, Wanninger and Frangi, 2014, Iqbal et al., 2016) but the innovative design still remain the questions for them.

A prefabricated (prefab) building is a building that is manufactured and constructed using prefabrication or factory-made components that are transported and assembled on-site to form the complete building. The prefab can be solution for delivery urban infill housing and residential buildings (Lehmann, 2013, Brege et al., 2014) and the wood as material can be innovative systems for carbon reduction and waste avoidance (Lehmann, 2013, Pajchrowski et al., 2014). Since this type of housing is factory made so the dimension and connection are not custom made. The connection in beam usually needs to resist moment so the connection more than less need to distribute the tension force. The simple, easier, faster, strong and precise connection are still the challenges for the wood technology.

The wood is a unique sustainable material with a variation of many external factors as soil characteristic, climate condition, and the age of the timber. The mechanics property of the same type of the wood can be different so the test should be conduct-

ed in each experimental investigation to getting know the real characteristics of the material.

The simple and aesthetic connection was designed and applied in connection of two beam elements. The performance was investigated. The main objectives of this study were to investigate the material property of the wood that used for the beam and to evaluate the connection performance of the simple supported beam.

2 MATERIAL AND METHODS

The material properties were obtained according to ASTM D2395. 15 specimens of 50 mm x 50 mm x 50 mm were prepared. Table 1 showed the average results from the specific gravity and water content for Meranti wood (*Shorea sp.*).

Tabel 1. Material property of the specimens

Type	No. of Sample	Specific Gravity							Water content
		min	max	mean	min	max	mean	cov	
Meranti	15	0.508	0.984	0.806	0.462	0.899	0.721	0.207	11.7%

Two simply supported beams were investigated. The BEAM-1 was the solid beam without connection and the BEAM-2 was the solid beam with bolted connection fabrication. The length of the beam was 1.5 m support to support and the vertical loading in the middle was setting up until attain its ultimate load as shown in figure 1.

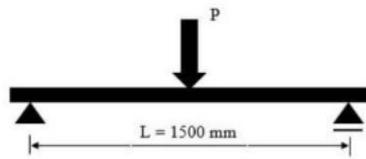


Figure 1. Beam loading pattern

2.1 Bolted connection configuration

The connection was designed to distribute the forces uniformly at the connection with a significant number of bolts. To optimize the testing results, joint test configurations were fabricated in the middle of each specimen. The steel plate was put in the center inside of the wood to cover the tension. The bolted connection was connected horizontal in the side and vertically in the bottom of the wood. The top of the wood also connect with steel plate that strengthened with steel plate. The hole patterns were fabricated and the combination of two rows of bolts. The bolted connection configuration can be seen in figure 2. The top and bottom connection were using 6 mm diameter bolts and the side connection was using 10 mm bolts with ring.



a. Top view of the tested beam



b. Side view of the tested beam



c. Bottom view of the tested beam
Figure 2. Bolted configuration setup

2.2 Test Setup

The tests were conducted with the setup shown in figure 3. A monotonic vertical loading until failure at a speed to cause failure between 3-5 minutes. A load-deformation curve was obtained using the movement of the head of the testing machine as a measure of deflection.



a. Test Setup for BEAM-1



b. Test Setup for BEAM-2

Figure 3. Test Setup

3 RESULTS

3.1 Performance of the BEAM-1 model

Test results for the solid beam without connection were shown in figure 4. The ultimate load can be attained in 30 kN with 17 mm deformation. This test result was the baseline for the designing bolted connection configuration. The result was meet the allowable strength that calculated using the mechanics-based model using Indonesian Standard.

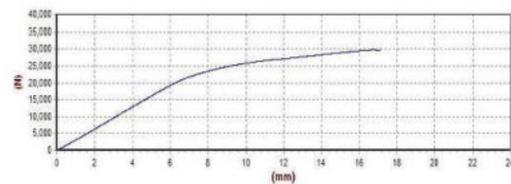


Figure 4. Load-deformation curve of BEAM-1

3.2 Connection Test Results

The results for the beams with connection were shown in figure 4. The maximum ultimate load can be attained was 12 kN with 22.5 mm deformation. Lower value of ultimate load than the ordinary beam was reached. The performance of the connection configuration was not as expected. The first failure

can be observed on 8 kN loading. This result indicated the configuration should be improved.

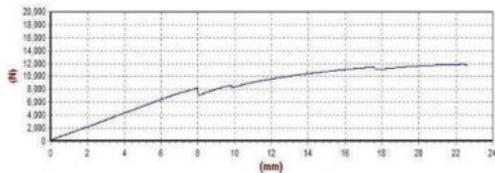


Figure 5. Load-deformation curve of BEAM-2

3.3 Failure Mode

The failure of the BEAM-1 can be observed as the crack pattern that can be seen in figure 6. The very small crack < 1 mm can be observed in the wood. The crack only can be found in the center, no crack patterns can be found in the support.

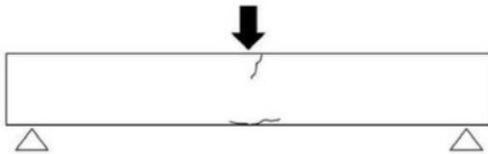


Figure 6. Crack patterns of BEAM-1

For the beam with connection, BEAM-2, the large failure in the middle can be observed as in figure 7. The connection was failed with the separated in the bottom of the beam. The bolts and the plate cannot distribute the loading significantly. The separation of the both connected wood was larger in the bottom of the beam. The bottom plate was bent and the top of the beam loose its capacity and gain more loading because of the top distance between both elements became small. No crack can be observed on the wood and the plates. The failure was only because of the separation of the both elements due to bending.



Figure 7. BEAM-1 failure

4 CONCLUSIONS

From the experimental investigation, the conclusion can be summarized as below:

1. The connection design for the prefabricated beam only can attained less than half of the capacity from the solid beam without connection.
2. The design of bolted connections was need to be improved. It should accommodate the loading transfer, more bolts and bigger diameter were recommended to use.
3. More research should be conducted on the right bolted configuration so the ultimate load of the connection beam can more than less the same with ultimate load of the beam without connection.
4. To improve the models, it is necessary to perform more tests so the strength can be predicted.

5 ACKNOWLEDGEMENT

The authors acknowledge the support and financial assistance provided by the Indonesia Technology and Higher Education in the form of research grants No. 153-Q/LPPM/UKM/VI/2016.

6 REFERENCES

- ASTM D2395-14E1 2014. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- BREGE, S., STEHN, L. & NORD, T. 2014. Business models in industrialized building of multi-storey houses. *Construction Management and Economics*, 32, 208-226.
- DACKERMANN, U., LI, J., RIJAL, R. & CREWS, K. 2016. A dynamic-based method for the assessment of connection systems of timber composite structures. *Construction and Building Materials*, 102, Part 2, 999-1008.
- IQBAL, A., PAMPANIN, S. & BUCHANAN, A. H. 2016. Seismic Performance of Full-Scale Post-Tensioned Timber Beam-Column Connections. *Journal of Earthquake Engineering*, 20, 383-405.
- LEHMANN, S. 2013. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. *Sustainable Cities and Society*, 6, 57-67.
- LUKASZEWSKA, E., JOHNSSON, H. & FRAGIACOMO, M. 2008. Performance of connections for prefabricated timber-concrete composite floors. *Materials and Structures*, 41, 1533-1550.

- PAJCHROWSKI, G., NOSKOWIAK, A., LEWANDOWSKA, A. & STRYKOWSKI, W. 2014. Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings. *Construction and Building Materials*, 52, 428-436.
- WANNINGER, F. & FRANGI, A. 2014. Experimental and analytical analysis of a post-tensioned timber connection under gravity loads. *Engineering Structures*, 70, 117-129.

Author details

The Scopus Author Identifier assigns a unique number to groups of documents written by the same author via an algorithm that matches authorship based on a certain criteria. If a document cannot be confidently matched with may see more than 1 entry for the same author.

Lesmana, Cindrawaty

Universitas Kristen Maranatha, Department of Civil Engineering, Bandung, Indonesia

Author ID: 55800860900

About Scopus Author Identifier | View potential author matches
Other name formats: Lesmana, C.

Documents: 4 [Analyze author output](#)
Citations: 6 total citations by 6 documents
h-index: 2 [View h-graph](#)
Co-authors: 4
Subject area: Engineering, Materials Science [View More](#)

4 Documents | Cited by 6 documents | 4 co-authors

4 documents [View in search results format](#)

Sort on: **Date** [Cited by](#)

Document title	Author(s)	Year	Journal/Conference	Citations
Experimental investigation of connection performance for prefabricated timber beam	Lesmana, C., Suhendi, S.	2017	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0
Nonlinear finite element analysis of rectangular reinforced concrete slabs strengthened by fiber reinforced plastics	Lesmana, C., Hu, H.-T.	2015	Scientia Iranica	0
Parametric analyses of square reinforced concrete slabs strengthened by fiber-reinforced plastics	Lesmana, C., Hu, H.-T.	2014	Construction and Building Materials	2
Numerical analysis of square reinforced concrete plates strengthened by fiber-reinforced plastics with various patterns	Lesmana, C., Hu, H.-T., Lin, F.-M., Huang, N.-M.	2013	Composites Part B: Engineering	4

LAMPIRAN – Foto Pengujian

Persiapan benda uji	Sambungan tipe 2 (tampak bawah)
	
Sambungan tipe 2 (tampak atas)	Pengujian balok utuh dengan UTM
	
Pemasangan LVDT pada pengujian balok utuh dengan UTM +	Pengujian balok utuh dengan UTM +
	

<p>Pengujian balok 2</p>	<p>Sambungan balok (tampak bawah)</p>
	
<p>Sambungan rangka</p>	<p>Sambungan rangka</p>
	
<p>Perletakan rol model rangka</p>	<p>Perletakan sendi model rangka</p>
	