

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan mesin-mesin perkakas yang memanfaatkan teknologi komputer sudah banyak dikembangkan. Bahan utama yang sering digunakan untuk konstruksi mesin perkakas CNC (mesin *milling*) adalah besi cor. Pada struktur mesin perkakas bagian yang menggunakan besi cor adalah pada bagian *column* dan *base*. Berdasarkan analisis ongkos produksi, 80% harga mesin perkakas CNC ditentukan oleh struktur mekanik mesin. Mengacu hal tersebut, diversifikasi bahan struktur mesin dengan menggunakan material lain bisa mereduksi ongkos produksinya (Kushnir and Sheehan, 2003).

Berbagai riset telah dilakukan untuk menghasilkan struktur mesin perkakas yang murah berketelitian tinggi, antara lain dilakukan oleh Roysarkar dan Banerjee (2003) yang meneliti penggunaan *Epoxy Concrete* sebagai bahan struktur mesin perkakas. Penelitian lainnya dilakukan oleh Ping dan Hua (2008) dengan menggunakan material *steel-fibber Polymer Concrete* (SFPC) sebagai bahan struktur mesin perkakas. Mereka menganalisis unjuk kerja statik, dinamik dan termal bahan SFPC dan membuktikan bahwa bahan SFPC lebih bagus dibandingkan besi cor pada unjuk kerja dinamik dan termal. Untuk mengoptimisasi kekuatan struktur mesin perkakas, Nakaminami dkk menginvestigasi metode perancangan struktur untuk mesin perkakas multi aksis. Mereka menganalisis kekakuan statik dan dinamik juga ketelitian gerakan struktur mesin secara toritis menggunakan FEM. Mereka menemukan bahwa penggunaan struktur kotak di dalam kotak menghasilkan ketelitian dan produktifitas terbaik untuk aplikasi struktur mesin perkakas multi aksis.

Pada penelitian kali ini, peneliti mencoba menggunakan material lain sebagai konstruksi *column* dan *base* pada mesin perkakas CNC (mesin *milling*) dimana material tersebut adalah kayu. Namun, sebagai konsekuensinya, material yang dapat dikerjakan dengan mesin ini sangat terbatas, seperti alluminium, kayu, teflon, nilon, maupun bahan-bahan lunak lainnya yang masih dapat diterima untuk

tujuan pembelajaran. Pemilihan jenis kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) dan kayu bengkirai (*Shorea leavis* Ridl) didasarkan pada sifat fisis serta sifat mekanik kayu yaitu berupa MOE (*Modulus Of Elastic*), MOR (*Modulus Of Rapture*), dan kuat tekan. Sifat mekanik merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Sedangkan sifat fisis adalah sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti kelembaban dan densitas yang lebih mengarah pada struktur material. Kayu karet memiliki berat jenis 0,61 (0,55-0,70), MOE 83587,2 kg/cm², MOR 824,4 kg/cm², dan kuat tekan 421,8 kg/cm² (Damanik, 2005). Menurut Abdurachman dan Hadjib (2009), ditinjau dari sifat fisis dan mekanis kayu karet juga tergolong kayu kelas kuat III-II sedangkan kayu bengkirai memiliki berat jenis 0,91 (0,60-1,16), kelas kuat II-III, MOE 187000 kg/cm², dan tegangan pada batas patah 1243 kg/cm² (Martawijaya dkk, 1981). Nilai tersebut menunjukkan bahwa kayu karet dan bengkirai memiliki berat jenis, dan nilai sifat mekanis yang cukup baik sebagai acuan untuk konstruksi dasar mesin perkakas CNC (mesin *milling*). Dalam hal ini juga yang menjadi kategori pemilihan kayu adalah harganya yang murah dan mudah di dapat. Namun, karena kayu karet memiliki sifat fisis dan sifat mekanis yang jauh berbeda dibandingkan dengan bahan besi cor, berbagai rekayasa dilakukan untuk memenuhi kriteria yang dibutuhkan. Untuk itu tahapan-tahapan proses dilakukan yang meliputi : penentuan jenis kayu, dan proses perlakuannya untuk meningkatkan stabilitas dimensi, menentukan jenis konstruksi sehingga memiliki kemampuan peredaman getaran dan kekakuan yang baik.

Guna meningkatkan stabilitas dimensi dan menentukan jenis konstruksi mesin perkakas CNC (mesin *milling*) maka diperlukan penelitian tentang kayu. Penelitian yang diperlukan adalah Analisis Distorsi Volume dan Analisis Kekuatan Sambungan Bahan Kayu Karet dan Bengkirai.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- d. Menentukan pengaruh *coating* pada kayu karet dan bengkirai terhadap distorsi volume yang terjadi pada kelembaban tinggi.
- e. Menguji kekuatan tarik pada tiap jumlah sambungan kayu karet dan bengkirai dengan variasi jarak dan jumlah baut.
- f. Menguji kekuatan sambungan tarik geser ganda pada kayu bengkirai dengan variasi torsi pengencangan baut.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis memberikan batasan masalah supaya tujuan yang diharapkan dapat memberikan hasil yang maksimal, diantaranya:

- a. Material uji yang digunakan sebagai bahan baku adalah kayu karet dan kayu bengkirai.
- b. Dimensi dan struktur yang digunakan hanya dalam ukuran-ukuran tertentu sesuai dengan ide peneliti.
- c. Variasi penyambungan berupa pengeleman, pemasangan baut dengan jumlah 1 baut, 2 baut dengan jarak 20 mm, 2 baut dengan jarak 30 mm dan menggunakan pelat sambung.
- d. Kayu dikeringkan menggunakan oven hingga kelembaban 10-15 % agar penyusutan pada produk yang menggunakan kayu yang dikeringkan akan berkurang, pembengkokan dan belah ujung dapat dihindarkan.
- e. Baut yang digunakan untuk sambungan sejajar adalah baut segi enam (*hexagonal head bolt*) dengan diameter baut 6 mm dengan torsi pengencangan baut yang seragam dan lem epoxy yang terdiri dari campuran *resin* dan *hardener* sebagai perekat sambungan kayu. Pengujian sambungan tarik geser ganda menggunakan baut segi enam (*hexagonal head bolt*) dengan diameter baut 10 mm dengan torsi pengencangan baut 15 N.m, 20 N.m dan 25 N.m.
- f. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian distorsi volume, kekuatan sambungan kayu berdasarkan pengujian tarik dan pengujian tarik geser ganda.

1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir kali ini adalah :

a. Studi Pustaka

Studi pustaka adalah suatu metode yang dipergunakan dalam penelitian ilmiah yang dilakukan dengan membaca dan mengolah data yang diperoleh dari literatur. Data yang dibaca dan diolah adalah data yang berhubungan dengan hasil-hasil eksperimen yang telah dilakukan dan dibukukan oleh para peneliti sebelumnya.

b. Pengujian di Laboratorium

Metode ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *coating* terhadap distorsi volume kayu yang terjadi pada kelembaban tinggi, mengetahui kekuatan sambungan segaris pada kayu terhadap variasi jumlah dan jarak baut serta mengetahui kekuatan sambungan tarik geser ganda terhadap variasi torsi pengencangan baut.

c. Asistensi dan Konsultasi

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan bimbingan pengetahuan dan masukan dari dosen pembimbing serta koreksi terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi dalam pembuatan Tugas Akhir dan penyusunan laporan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Laporan Tugas Sarjana yang digunakan adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai struktur kayu, sifat fisik kayu, sifat mekanik kayu. Selain itu, dijelaskan juga mekanisme sambungan pada kayu.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir penelitian dan teknis pelaksanaan pengujian

BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

Berisi tentang hasil pengujian pengaruh *coating* terhadap distorsi volume kayu yang terjadi pada kelembaban tinggi kemudian tentang hasil pengujian kekuatan

sambungan sejajar kayu karet dan bengkirai terhadap variasi jumlah baut dan jarak baut, pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda serta foto hasil pengujian berikut analisisnya.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian dan saran untuk penelitian selanjutnya agar didapatkan hasil yang lebih baik.

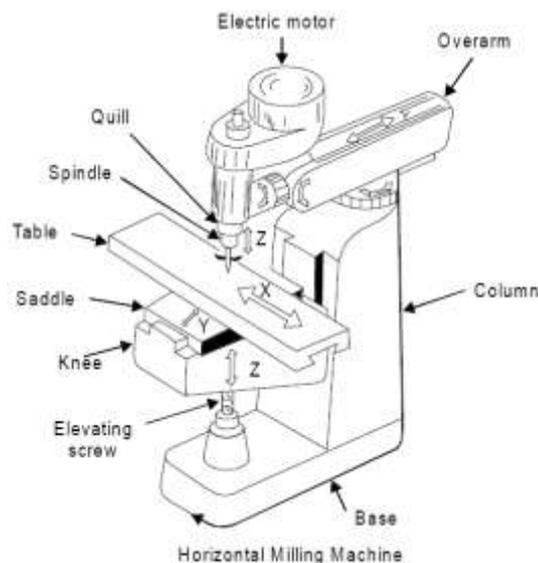
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

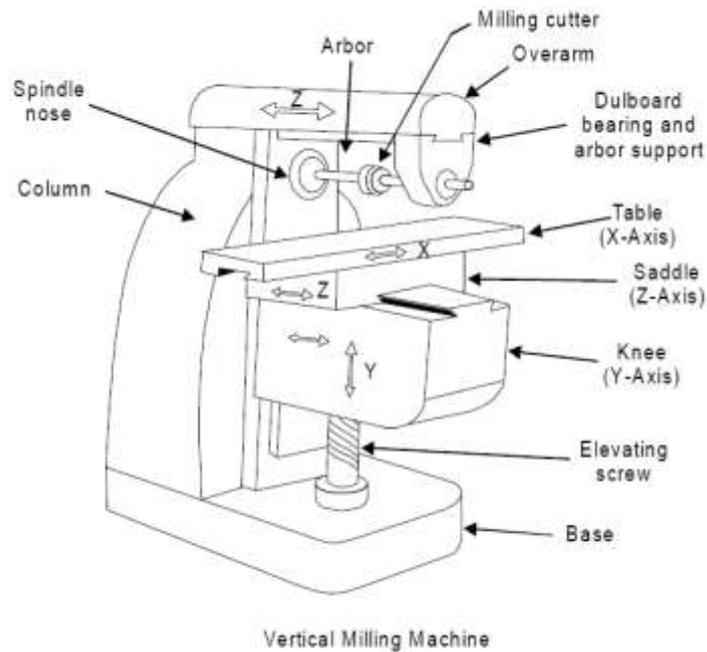
BAB II DASAR TEORI

2.1 Deskripsi Mesin Perkakas CNC (Mesin *Milling*)

Mesin *milling* adalah satu jenis mesin perkakas untuk pemotongan bahan yang terbuat dari logam. Prinsip kerja mesin *milling* berbeda dengan mesin bubut. Jika pada mesin bubut benda kerja berputar dan pahat (*tools*) dihantarkan agar terjadi proses pemotongan maka pada mesin *milling*, *tools* yang berputar dan benda kerja yang dihantarkan. Pada mesin *milling* benda kerja dapat dihantarkan ke *tools* dalam arah vertikal maupun horisontal atau kedua-duanya secara bersamaan. Berdasarkan jenis pahat dan arah pemotongan mesin *milling* dikelompokkan atas 3 macam, yaitu mesin *milling* vertikal digunakan untuk mayoritas pemotongan vertikal, mesin *milling* horisontal digunakan khusus untuk pemotongan arah horisontal dan mesin *milling* serba guna (*multipurpose*) merupakan jenis mesin *milling* yang dapat digunakan secara horisontal maupun vertikal (Hafid, 2008). Gambar 2.1 dan 2.2 merupakan gambar mesin *milling* horisontal dan mesin *milling* vertikal.



Gambar 2.1 Mesin *Milling* Horizontal (Singh, 2006)



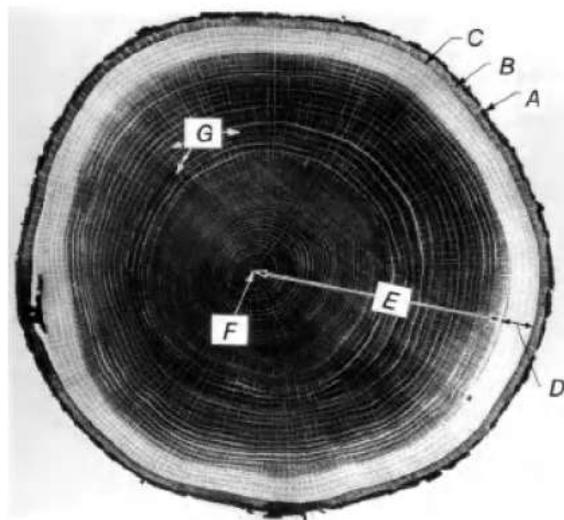
Gambar 2.2 Mesin *Milling* Vertikal (Singh, 2006)

Bagian-bagian utama pada mesin *milling* :

- a. *Base* (dasar) merupakan pondasi untuk menunjang semua komponen mesin *milling*. Terdapat *column* pada salah satu ujungnya.
- b. *Column* merupakan komponen pendukung yang utama dipasang vertikal pada *base*. Berbentuk kotak, bergaris berat di dalam dan merupakan tempat dimana terdapat semua mekanisme untuk menunjang *spindle* dan *knee*.
- c. *Knee* untuk menunjang *saddle* dan *table* (meja kerja) dapat digerakkan dalam arah vertikal (sumbu y). Sebuah skrup angkat terpasang di *base* digunakan untuk menyesuaikan tinggi *knee* dan mendukunya.
- d. *Saddle*, diletakkan di atas *knee* untuk menunjang meja kerja, dapat digerakkan dalam arah melintang (sumbu z) dan disetel tepat 90^0 ke bagian depan *column*.
- e. Meja kerja (*table*), diletakkan di atas *saddle* untuk menunjang benda kerja, dapat digerakkan dalam arah memanjang (sumbu x).

2.2 Struktur Anatomis Kayu

Struktur anatomis kayu ditetapkan berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran secara mikroskopis yang meliputi pori, jari-jari, parenkim, dimensi serat dan kadang-kadang saluran interselular (Martawijaya dkk,1981). Bagian-bagian penampang melintang pohon ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Penampang melintang pohon (Regis B.Miller,1999).

Jika sebatang pohon kita potong melintang, maka terdapat beberapa macam bagian, yaitu :

- a. Bagian A merupakan kulit luar (*outer bark*), yaitu bagian yang telah mati yang tugasnya melindungi bagian-bagian disebelah dalamnya.
- b. Bagian B merupakan kulit dalam (*inner bark*), yaitu bagian yang masih hidup, yang gunanya untuk mengangkut atau menghantarkan makanan yang dibuat di daun ke bagian-bagian bawah lainnya.
- c. Bagian C merupakan kambium, yaitu sebuah lapisan yang sangat tipis (tebalnya hanya berukuran micron saja). Proses pertumbuhan terjadi pada lapisan kambium ini, dimana sel memecah, bertumbuh dan memecah lagi untuk membentuk sel-sel kulit baru atau zat kayu baru.
- d. Bagian D merupakan kayu gubal (*sapwood*), yaitu bagian kayu yang lunak, berwarna keputih-putihan dan tebalnya berlainan untuk macam-macam kayu, mulai dari 1 cm sampai 20 cm atau lebih tergantung dari jenisnya pohon.

- e. Bagian E merupakan kayu inti (*heartwood*), yaitu bagian inti yang kuat dan kokoh. Warnanya sedikit lebih tua dari pada kayu gubal. Bagian ini lebih awet dari pada kayu gubal karena tidak terdapat bahan-bahan makanan di dalamnya. Karena itu hal ini penting artinya jika kita merencanakan sebuah konstruksi kayu yang ditempatkan pada tempat yang berpotensi besar untuk terjadi pelapukan, misalnya tertimbun di dalam tanah.
- f. Bagian F merupakan hati kayu (*pitch*), yaitu bagian yang terdalam yang sangat berguna untuk menentukan suatu jenis pohon. Jenis pohon sendiri dapat digolongkan menjadi 2 golongan besar, yaitu kayu lunak (*softwood*) dan kayu keras (*hardwood*) (Wiryomartono,1976).

2.3 Sifat higroskopik

2.3.1 Kadar air

Kadar air adalah bobot air yang terkandung di dalam kayu kering tanur ditentukan dalam persen perbandingan (Ka%). Perubahan kadar air kayu menyebabkan mengembang dan menyusutnya kayu. Disamping itu perubahan kadar air di bawah titik jenuh serat juga mempengaruhi sifat mekanik kayu. Di atas titik jenuh serat, perubahan kadar air tidak mempengaruhi sifat kayu karena perubahan kadar air belum terjadi pada dinding sel (Mardikanto dkk, 2011).

Banyaknya kandungan air pada kayu bervariasi tergantung jenis kayunya. Kandungan tersebut berkisar antara 40%-300% dan dinyatakan dengan persentase dari berat kayu kering tanur. Berat kayu kering tanur dapat dipakai sebagai dasar, karena berat ini merupakan petunjuk banyaknya zat padat kayu. Rumus penentuan kadar air adalah sebagai berikut:

$$(Ka\%) = \frac{\text{Berat air di dalam kayu}}{\text{Berat kayu kering tanur}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Standar untuk menentukan banyaknya air adalah dengan mengeringkan kayu pada suhu 100 °C - 105 °C, hingga mencapai berat tetap. Dalam keadaan ini kadar air dianggap nol, walaupun sebenarnya kayu masih memiliki kadar air sekitar 1 persen. Berat kayu pada keadaan kering tanur disebut kayu kering tanur (Wo).

Karena itu berat air yang ada di dalam kayu adalah perbedaan antara berat kayu sebelum dikeringkan (berat basah/berat awal= W_b) dikurangi berat kayu sesudah dikeringkan dengan tanur. Rumus diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$K_a (\%) = \frac{(\text{Berat kayu+air}) - (\text{Berat kayu kering tanur})}{(\text{Berat kayu kering tanur})} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

$$K_a (\%) = \frac{W_b - W_o}{W_o} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Banyaknya air yang dikandung pada sepotong kayu dapat pula ditentukan dengan menggunakan alat hydrometer (alat pengukur kadar air) dengan batas maksimum kadar air 60 % (Dumanauw, 1982). Kayu bersifat higroskopis, maka kadar air kayu kering udara bervariasi tergantung kelembaban udara di sekitar kayu tersebut, lamanya pengeringan serta ukuran dan bentuk kayu yang bersangkutan (Mardikanto,dkk,2011).

Kayu akan selalu berusaha untuk mencapai keseimbangan dengan keadaan sekelilingnya. Kayu akan menghisap air dari udara atau akan mengeluarkan air yang dikandungnya, hal ini tergantung pada kadar air udara sekelilingnya. Daya hisap itu tentu saja dipengaruhi juga oleh temperatur pada saat itu, tetapi pengaruh itu tidak sebesar pengaruh kelembaban udara. Harus diingat, bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan itu sukar sekali untuk menentukannya. Maka pemilihan kadar air kayu adalah penting untuk berbagai maksud dalam konstruksi. Sebagai contoh kayu yang akan dipergunakan untuk membuat jembatan, kadar airnya tidak perlu serendah kayu yang akan dipakai untuk membuat perkakas rumah tangga seperti meja dan kursi. Di bawah ini adalah daftar kadar air kayu yang cocok untuk berbagai macam konstruksi (Wiryomartono, 1976).

Tabel 2.1 Daftar Kadar Air Kayu yang Cocok Untuk Berbagai Macam Konstruksi (Wiryoartono, 1976)

Kontruksi	Kadar air
Alat-alat pertanian, jembatan, pagar-pagar	18%
Meja kursi untuk kebun, kuda-kuda yang terlindungi	16%
Perkakas rumah seperti tempat tidur, meja, kursi	12 %
Radio	6-8%

2.4 Sifat Fisis

2.4.1 Berat jenis

Berat Jenis yang dimaksud adalah perbandingan berat dan volume kayu dalam keadaan kering udara dengan kadar air sekitar 15%. Nilai berat jenis yang dicantumkan adalah nilai rata-ratanya, tetapi untuk memperoleh gambaran mengenai variasi berat jenis dalam tiap jenis kayu, diantara tanda kurung dicantumkan juga nilai minimum dan maksimum empiris yang diamati pada contoh kayu yang bersangkutan. Misalnya berat jenis kayu jati ditulis sebagai berikut: 0,67 (0,62-0,75) (Martawijaya dkk, 1981).

Berat jenis sangat baik untuk dipakai sebagai indikator kekuatan kayu karena mempunyai hubungan baik terutama pada kayu bebas cacat. Semakin tinggi berat jenis dan kerapatan kayu, semakin kuat kayu tersebut. Semakin tinggi berat jenis kayu, semakin banyak kandungan zat kayu pada dinding sel yang berarti semakin tebal dinding sel kayu. Kekuatan kayu terletak pada dinding sel ini (Mardikanto dkk, 2011).

2.4.2 Kelas kuat

Angka rapat ialah hasil bagi berat kering tungku (*oven-dry*) dan isi potongan kayu itu. Kerapatan ini adalah suatu indikator yang terbaik tentang

kekuatan kayu, meskipun sifat-sifat lainnya juga ada pengaruhnya, seperti kadar kadar air, arah serat dan adanya mata kayu dan sebagainya.

Angka rapat itu tergantung dari banyaknya zat dinding sel tiap satuan isi. Kayu yang berserat kasar mengandung sedikit sel-sel tiap-tiap satuan isi yang berarti sedikit dinding selnya, jadi angka rapatnya rendah pula. Maka semakin kecil angka rapat suatu kayu, semakin kecil pula kekuatan kayu (Wiryomartono,1976).

Kelas kuat kayu di Indonesia dibagi ke dalam lima kelas yang ditetapkan menurut berat jenisnya dengan metode klasifikasi seperti tercantum dalam tabel, yang menunjukkan hubungan antara berat jenis kayu dengan keteguhan lentur dan keteguhan tekan.

Tabel 2.2 Kelas Kuat Kayu Menurut PKKI NI 5-1961

Kelas kuat	Berat Jenis	Keteguhan lentur mutlak (kg/cm ²)	Keteguhan tekan mutlak (kg/cm ²)
I	Lebih dari 0,90	lebih dari 1100	lebih dari 650
II	0,60-0,90	725-1100	435-650
III	0,40-0,60	500-725	300-425
IV	0,30-0,40	360-500	215-300
V	kurang dari 0,30	kurang dari 360	Kurang dari 215

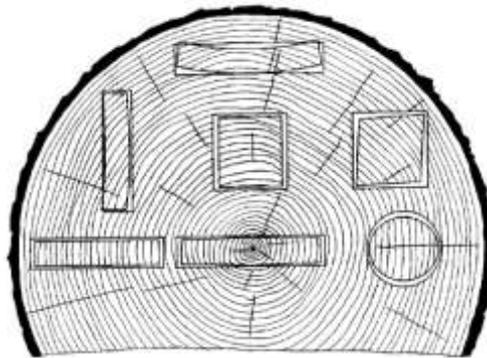
2.4.3 Penyusutan

Kayu akan mengembang bila kadar airnya bertambah ($t^0 = constant$) dan menyusut bila kadar airnya berkurang. Tetapi besarnya kembang susut itu tidak sama di dalam berbagai arah. Kita membedakan 3 macam arah, yaitu arah radial (menuju ke pusat), arah tangensial (searah dengan garis singgung) dan arah axial (sejajar dengan arah panjang batang). Untuk semua jenis kayu kembang susut itu dipengaruhi oleh derajat panas dan angka-rapat kayu, dan rata-rata besarnya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Besar Penyusutan dalam Berbagai Arah (Wiryomartono,1976)

Arah	Besar Penyusutan (%)
Tangensial	3 s.d 14 %
Radial	2 s.d 8 %
Axial	0,1 s.d 0,2 %
Volumetric	7 s.d 21 %

Kembang susut kayu bisa dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Karakteristik penyusutan dan distorsi pada potongan datar, persegi dan bulat (Simpson dan Tenwolde,1999).

Susutnya kayu menyebabkan berbagai cacat pada kayu, terutama sekali pecah-pecah atau sobek-sobek pada muka kayu. Bila air meninggalkan muka kayu, lapisan-lapisan luar menyusut dan menyebabkan timbulnya tegangan tarik, sedang lapisan sebelah dalam menghalang-halangi penyusutan tersebut, sehingga terjadi tegangan desak. Karena kayu tidak begitu tahan akan tegangan tarik pada arah tegak lurus serat, maka apabila tegangan tarik tersebut begitu besar hingga melebihi kekuatan serat, sehingga timbul retak-retak kecil pada muka kayu. Air lebih mudah menguap dalam arah sejajar arah serat. Oleh karena itu pada kedua ujung kayu akan sering kita dapati retak-retak tersebut (Wiryomartono,1976).

Penyusutan dihitung dari keadaan basah sampai kering udara, kering tanur atau sampai kadar air tertentu. Dalam keadaan khusus kadang-kadang dicantumkan nilai penyusutan yang dihitung dari kadar air tertentu (bukan keadaan basah). Penyusutan dinyatakan dalam persen dan dibelakang masing-masing angka dalam tanda kurung dicantumkan apakah penyusutan tersebut terjadi dalam radial (R) atau tangensial (T). Penyusutan dalam arah longitudinal tidak dicantumkan dalam risalah

ini, karena umumnya bernilai kecil sehingga dapat diabaikan (Martawijaya dkk,1981).

$$\text{Penyusutan (\%)} = \frac{\text{Dimensi awal} - \text{Dimensi akhir}}{\text{Dimensi awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Salah satu usaha untuk mencegah dan membatasi penyusutan kayu ialah dengan membuat kadar air kayu sekecil mungkin, atau pada keadaan kadar air keseimbangan, dengan cara sebagai berikut:

- a. Kayu dikeringkan sampai mencapai kadar air yang stabil (tetap), sehingga penyusutan yang terjadi relatif kecil atau bahkan dapat diabaikan.
- b. Setelah itu kayu tersebut disimpan dalam ruang yang tidak lembab dan memiliki sirkulasi udara yang baik.
- c. Memberi lapisan pada kayu dengan bahan – bahan penutup *finishing* untuk menghambat perubahan kadar air atau mempertahankan kestabilan kadar air, selain berfungsi untuk keindahan (Dumanauw, 1982).

2.3.2 Pengaruh temperatur

Seperti benda-benda lain kayu akan mengembang jika dipanasi dan mengecil apabila didinginkan. Tetapi pengaruh temperatur ini tidak begitu besar seperti pengaruh perubahan kadar air. Pada temperatur biasa, angka muai linier (λ_t) kayu dalam arah sejajar serat rendah sekali dibandingkan dengan λ_t besi. Untuk arah tegak lurus serat adalah besar, tetapi lebih besar lagi perubahannya karena pengaruh kadar air kayu, sehingga untuk arah tegak lurus serat akibat perubahan temperatur λ_t dapat diabaikan. Di bawah ini adalah daftar nilai λ_t untuk berbagai benda.

Tabel 2.4 Daftar Angka Muai Linier λ_t Beberapa Material (Wiryomartono,1976)

Bahan	λ_t
Aluminium	23×10^{-6}
Beton	10×10^{-6}
Gelas	8×10^{-6}
Kayu	
Sejajar serat	4×10^{-6}
Tegak lurus serat	56×10^{-6}
Baja	12×10^{-6}
Batu merah	12 X 10^{-6}

2.5 Sifat Mekanis

2.5.1 Pengertian dasar sifat mekanis kayu

Sifat mekanis kayu atau sifat kekuatan kayu merupakan ukuran kemampuan kayu untuk menahan gaya yang datanginya dari luar, yang biasa disebut gaya luar atau beban. Beban ini cenderung untuk mengubah ukuran dan bentuk benda yang terkena beban tadi. Perubahan bentuk atau ukuran benda tidak hanya terjadi akibat beban saja tetapi dapat juga terjadi akibat adanya gaya dalam yang bekerja pada seluruh bagian benda (kayu) seperti pada perubahan kadar air (terjadi kembang susut), atau akibat adanya perubahan suhu (terjadi pemuaian).

Dalam studi sifat mekanis suatu bahan, akan dibahas tentang perilaku benda yang berkaitan dengan tegangan yang terjadi akibat beban, regangan atau perubahan bentuknya, serta faktor-faktor yang mempengaruhi hal tersebut. Tegangan (*stress*) adalah gaya yang terdistribusi dan bekerja bersama dari suatu benda ke benda yang lain atau dari suatu bagian benda ke bagian benda lain yang sama. Tegangan ini akan timbul akibat adanya beban atau gaya yang datanginya dari luar benda yang biasa dikenal dengan "*external force*", sedangkan tegangan yang ditimbulkan dinamai "*internal stress*". Gaya luar tadi akan selalu diimbangi dengan gaya dalam bila benda dalam keadaan setimbang. Apabila tidak ada gaya luar yang menimpa benda, maka partikel benda dalam keadaan tertentu secara alami dan hal ini benda dikatakan dalam ukuran dan bentuk alami (*natural shape and size*). Bila ada

gaya luar yang bekerja, selain mengalami tegangan, benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan bentuk yang terjadi ini disebut regangan atau *strain*. Setiap perubahan tegangan akibat adanya perubahan beban akan diikuti dengan perubahan regangan yang sebanding besarnya sampai suatu batas tertentu yang disebut “batas proporsi” atau “batas elastis”.

Besarnya tegangan dihitung berdasarkan besarnya beban per satuan luas, besarnya tegangan dinyatakan dalam bentuk rumus sebagai berikut :

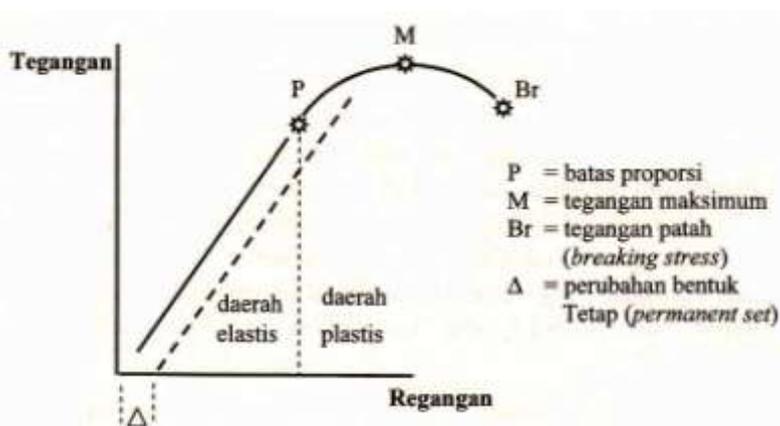
$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana : σ = tegangan (kg/cm²)

P = besar beban (kg)

A = luas penampang penahan beban (cm²)

Apabila dibuatkan grafiknya, perubahan bentuk yang terjadi pada benda akibat perubahan beban yang menyimpannya sampai dengan batas proporsi ini grafiknya tidak berbentuk garis lurus lagi melainkan berubah menjadi bentuk parabolik. Sebelum batas proporsi benda tersebut masih bersifat stastis (benda kembali ke bentuk semula bila beban dilepas). Setelah beban melewati batas proporsi benda akan bersifat plastis (apabila beban dilepas, benda tidak kembali ke bentuk semula melainkan terjadi sedikit perubahan bentuk yang tetap sebelum benda mengalami kerusakan).



Gambar 2.5 Diagram tegangan-regangan (Mardikanto dkk, 2011).

Grafik yang berupa garis lurus tadi posisinya miring sehingga memiliki sudut kemiringan (*slope*) terhadap sumbu horizontal. Nilai kemiringan (*slope*) ini seirama dengan sifat mudah tidaknya benda tersebut berubah bentuk akibat beban. Semakin mudah benda tersebut berubah bentuk akibat beban yang sama, maka akan semakin kecil *slope*-nya, yang berarti semakin tidak kaku (elastis) benda tersebut. Demikian juga sebaliknya, grafik akan semakin tegak apabila benda yang diuji tersebut semakin sulit berubah bentuknya, yang berarti benda tersebut semakin kaku.

2.5.2 Sifat orthotropis kayu

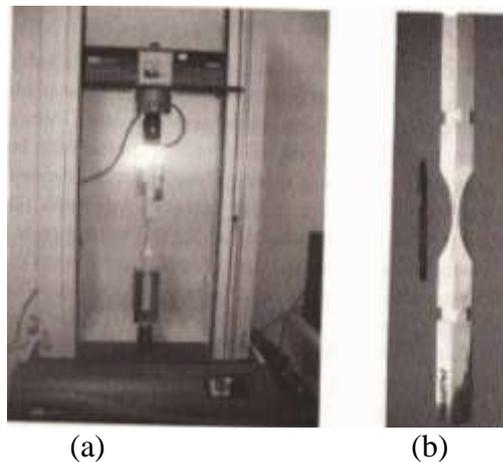
Kayu mempunyai sifat yang berbeda dengan bahan lainnya yang berupa logam (besi, baja, aluminium, dll.). Bahan dari logam dibuat dengan cara dicetak, sedangkan kayu berasal dari tumbuhan yang terdiri dari serat-serat dengan orientasi serat tertentu. Logam bersifat “isotropis”, dimana bahan tersebut mempunyai sifat mekanis dan sifat elastis yang sama pada segala arah. Kayu lebih dicirikan sifatnya dengan adanya tiga sumbu simetri yang saling bersilangan tegak lurus. Hal ini akibat susunan serat yang ada pada kayu. Oleh karenanya kayu bersifat “anisotropis”. Dengan adanya tiga sumbu simetri tersebut maka kayu lebih dikenal mempunyai sifat “orthotropis”. Ketiga sumbu simetri adalah sumbu longitudinal (memanjang serat), sumbu radial (tegak lurus lingkaran tumbuh) dan sumbu tangensial (menyinggung lingkaran tumbuh). Ketiga arah sumbu tersebut dipengaruhi oleh orientasi struktur serat, sel jari-jari (*ray cell*) serta elemen pembentuk kayu lainnya (sel serabut, sel trakeida, sel parenkim). Sifat kekuatan dan sifat elastisitas kayu ini berbeda besarnya tergantung arah sumbu tersebut. Pada umumnya perbedaan besarnya sifat tersebut lebih ditentukan oleh arah memanjang serat (*aksial*) dan arah tegak lurus serat (*transversal*).

2.5.3 Macam sifat mekanis kayu

2.5.3.1 Kekuatan tarik (*tensile strength*)

Kekuatan tarik adalah kemampuan benda (kayu) untuk menahan beban tarikan. Besarnya kekuatan ini tergantung pada sifat kohesi benda yang bersangkutan. Mengingat kayu bersifat *orthotropis* (*anisotropis*), maka dikenal kekuatan tarik sejajar serat (*tensile strength parallel to grain*) dan kekuatan tarik

tegak lurus serat (*tensile strength perpendicular to grain*). Jika dilihat pada arah sumbu simetrinya, kekuatan tarik arah radial masih lebih besar dari pada arah tangensial, tetapi kekuatan tarik terbesar adalah pada arah longitudinal atau kekuatan tarik sejajar serat. Kekuatan tarik sejajar serat kayu, besarnya tergantung pula pada kekuatan serat yang tidak hanya pada ukuran serat secara alami dari elemen-elemen kayu tadi, tetapi juga dari susunan seratnya. Keberadaan miring serat pada kayu mempengaruhi akan mengurangi kekuatan sejajar serat. Hal ini disebabkan beban yang semula arahnya sejajar akan berubah menjadi ke arah tegak lurus serat, dimana kekuatan tarik tegak lurus serat pada kayu sangat kecil. Perbandingan kekuatan tarik sejajar serat dengan kekuatan tarik tegak lurus serat dapat mencapai 40 : 1.



Gambar 2.6 a. Pengujian kekuatan tarik sejajar serat, b. Contoh spesimen uji (Mardikanto dkk, 2011).

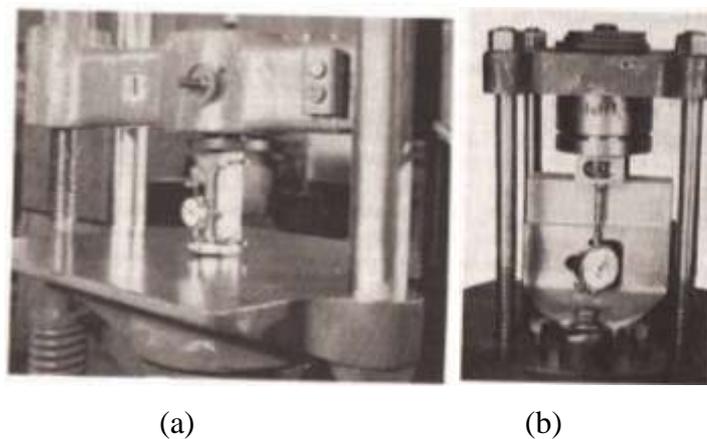
Kekuatan spesimen kayu pada arah ini ditentukan dengan menghitung besarnya beban tarik pada arah tegak lurus serat yang menyebabkan kerusakan. Beban maksimum tersebut selanjutnya dibagi dengan luas penampang minimum (bagian yang ramping) dari spesimen. Kekuatan ini dihitung untuk memberikan dugaan pada kemampuan kayu untuk menahan belahan akibat adanya alat sambung yang dapat berupa mur-baut, pasak, paku, atau alat sambung lainnya.

2.5.3.2 Kekuatan tekan (*compressive strength* atau *crushing strength*)

Mengingat kayu bersifat orthotropis, maka dibedakan kekuatan tekan sejajar serat dan kekuatan tegak lurus serat. Tekanan pada arah tegak lurus serat atau “*sidewise compression*” agak mirip dengan kasus kekerasan (*hardness*) dan kasus geseran tegak lurus serat (*transverse shear*). Pengujian tekan pada arah tegak lurus serat dapat berupa tekanan pada seluruh permukaan kayu atau tekanan pada bagian permukaan kayu. Pada prakteknya, kasus yang terakhir (pada sebagian permukaan kayu) yang sering terjadi, contohnya seperti tiang yang bertumpu pada sebagian komponen struktur horizontal atau beban yang menimpa bantalan rel kereta api.

Efek pertama yang terjadi akibat tekanan tegak lurus serat kayu adalah terjadinya pemadatan sel karena dinding bagian atas dan bagian bawah sel menyatu (berimpit). Dengan kejadian tersebut, maka kekuatan kayu seolah-olah menjadi meningkat lagi, yang sebenarnya sudah terjadi kerusakan. Oleh sebab itu hasil pengujian kekuatan tekan tegak lurus serat bukan diambil dari nilai maksimum tetapi diambil hanya dari nilai tegangan serat pada batas proporsi (*fiber stress at proportional limit*), dimana kayu masih bersifat elastis.

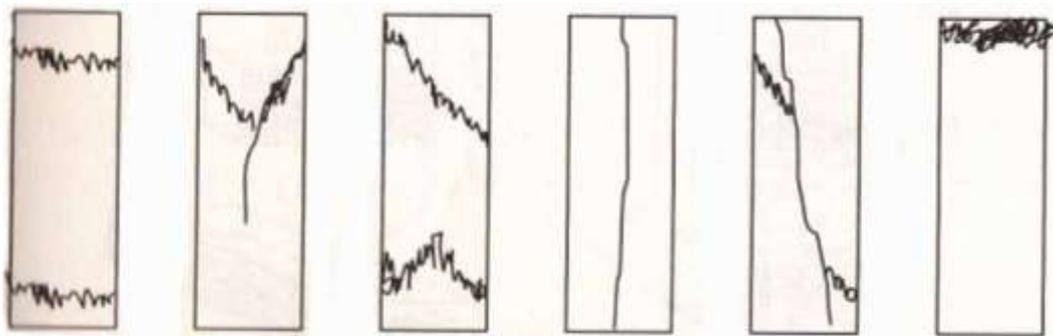
Tekanan sejajar serat atau “*edwise compression*” banyak terjadi dalam praktek bila kayu dipakai untuk bangunan sebagai komponen untuk tiang, tunggul, kusen pintu dan jendela serta bagian lain. Komponen bangunan semacam ini akan menerima beban yang cenderung mendesaknya atau memendekkannya pada arah memanjang atau sejajar serat.



Gambar 2.7 a. Pengujian tekanan sejajar, b. Pengujian tekan tegak lurus serat pada contoh kecil bebas cacat (Wangard, 1950).

Variasi bentuk kerusakan yang terjadi pada pengujian tekan sejajar serat batang pendek dikelompokkan dalam beberapa tipe (FF. Wangard,1950), yaitu:

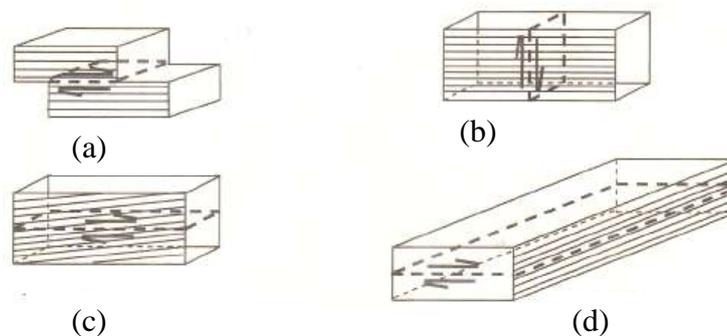
- a. **Crushing**, dimana spesimen mengalami patahan dengan bidang patahan horizontal, hal ini biasa terjadi bila ujung-ujung spesimennya agak basah (Gambar 2.8a)
- b. **Wedge Splits**, dimana kerusakan yang terjadi pada spesimen berupa kombinasi antara geseran dan patahan (Gambar 2.8b)
- c. **Shearing**, dimana bidang patahan yang terjadi akibat beban membuat sudut tajam dengan sumbu tegak. Kerusakan ini biasa terjadi pada spesimen dalam pengujian (Gambar 2.8c)
- d. **Splitting**, kerusakan yang terjadi pada spesimen berupa pecahan (pemisahan sel) pada arah vertikal, sejajar serat kayu spesimen. Kerusakan ini bisa terjadi pada spesimen yang sangat kering (Gambar 2.8d)
- e. **Compression and Shearing Parallel to Grain**, kerusakan ini menandakan bahwa spesimen sebenarnya ada cacatnya yang berupa miring serat (*cross grain*), data yang diperoleh dari spesimen ini tidak boleh dipakai karena spesimen mengandung kecacatan (Gambar 2.8e)
- f. **End Rolling atau Brooming**, dimana terjadi bentuk kerusakan pada permukaan spesimen bagian atas atau bagian bawah. Hal ini terjadi akibat kesalahan dalam pembuatan spesimen dimana bidang permukaan atas atau bawah tidak sejajar dengan kepala beban atau tumpuan bawah sehingga terjadi konsentrasi pembebanan pada sebagian permukaan (Gambar.2.8f)



Gambar 2.8 Skema bentuk kerusakan yang terjadi pada pengujian tekan sejajar serat batang pendek : a. *Crushing*, b. *Wedge splits*, c. *Shearing*, d. *Splitting*, e. *Compression and shearing Parallel*, f. *End rolling* (Wangard,1950).

2.5.3.3 Kekuatan geser (*shearing strength*)

Kekuatan geser kayu adalah ukuran kemampuan kayu untuk menahan gaya yang cenderung untuk menggeser satu bagian dengan bagian yang lain dari kayu yang sama. Dengan adanya beban ini akan timbul tegangan geser. Geseran yang terjadi dapat berupa geseran sejajar serat (*shear parallel/ along the grain*), geser tegak lurus serat (*shear across the grain* atau *shear perpendicular to grain*), geser miring serat (*oblique shear*) serta geser antar serat (*rolling grain*). Secara skematik bentuk (macam) geseran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.9.



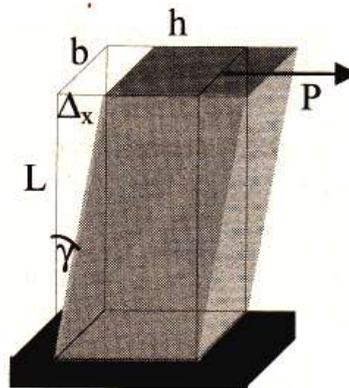
Gambar 2.9 Macam-macam geseran yang dapat terjadi pada kayu : a. Geser sejajar serat, b. Geser tegak lurus serat, c. Geser miring serat, d. Geser antar serat (Mardikanto dkk, 2011).

Pada geser sejajar serat, dua bidang dalam satu benda (kayu) saling bergeseran satu sama lain dengan bidang gesernya sejajar serat dengan arah geseran juga sejajar serat (Gambar 2.9a). Pada kasus geser tegak lurus serat, gaya gesernya seolah-olah akan memotong serat kayu, dengan bidang gesernya juga tegak lurus (Gambar 2.9b). Kalau pada geser miring serat, arah gesernya sejajar sumbu kayu, tetapi bidang gesernya miring terhadap arah serat (Gambar 2.9c). Kasus geser miring serat dapat terjadi pada sebatang kayu dengan cacat miring serat yang mendapatkan beban tekan atau tarik sejajar serat kayu, sedangkan pada geser antar serat kayu, gaya geser cenderung menggeser serat kayu pada arah geseran melintang serat, sedang bidang gesernya sejajar serat.

Besarnya kekuatan geser untuk beragam kasus geser seperti tersebut di atas tidak sama. Peringkat kekuatan terbesar adalah geser tegak lurus serat, selanjutnya disusul oleh kekuatan geser sejajar serat, dan yang paling lemah adalah

kekuatan geser antar serat. Kekuatan geser miring serat sedikit lebih besar dibanding kekuatan geser sejajar serat. Semakin besar sudut kemiringan serat maka kasusnya akan menjadi geser tegak lurus serat.

Benda yang menerima beban geser diperlihatkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Benda yang menerima beban geser (Mardikanto dkk, 2011).

Seperti terlihat pada Gambar 2.10, beban sebesar P bekerja pada satu sisi, dengan arah sejajar dengan penampang benda, sedangkan sisi lainnya tertanam mati. Beban geser sebesar P tersebut menyebabkan deformasi berupa perpindahan horizontal sehingga silinder membentuk sudut γ terhadap arah aksial. Perpindahan horizontal pada ujung silinder, dinotasikan dengan Δ_x .

Tegangan geser (τ) adalah besarnya beban geser sejajar penampang (P) dibagi dengan luas penampang geser (A):

$$\tau = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.6)$$

dan regangan geser (ε) adalah rasio perpindahan (Δ_x) terhadap panjang mula-mula (L):

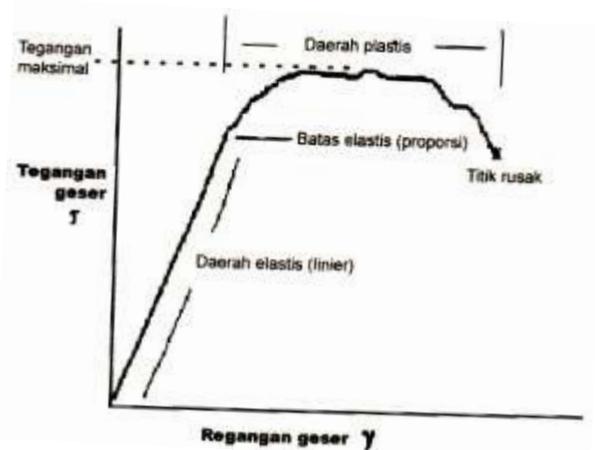
$$\varepsilon = \frac{\Delta_x}{L} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan memperhatikan bangun segitiga kecil yang dibentuk oleh Δ_x , L , dan tepi silinder, regangan geser ($\frac{\Delta_x}{L}$) adalah ekuivalen dengan tangen sudut gamma ($\tan \gamma$). Kemudian oleh karena besarnya perpindahan sangat kecil dibanding panjang mula-mula, tangen sudut gamma kira-kira bernilai sama dengan sudut gamma, sehingga:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_x}{L} = \tan \gamma = \gamma \dots \dots \dots (2.8)$$

Hubungan tegangan geser dan regangan geser memiliki pola yang sama dengan tegangan normal dan regangan normal seperti terlihat pada Gambar 2.9. Pada diagram tegangan-tegangan geser, kemiringan kurva merupakan modulus geser (*shear modulus*), yang dinotasikan dengan G . Satuan modulus geser adalah Pascal. Modulus geser merupakan perbandingan antara tegangan geser (τ) dengan regangan geser (γ):

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \dots \dots \dots (2.9)$$



Gambar 2.11 Diagram tegangan-regangan geser (Mardikanto dkk, 2011).

Semakin tegar/kaku (*rigid*) suatu material maka modulus gesernya semakin besar. Oleh karena itu, modulus geser sering pula disebut *modulus of rigidity*.

2.5.3.4 Sifat kekakuan (*stiffness*)

Sifat kekakuan kayu adalah ukuran kemampuan kayu untuk mempertahankan bentuk aslinya akibat adanya beban yang cenderung mengubah bentuk dan ukuran benda. Setiap benda yang dibebani akan mengalami perubahan bentuk baik berupa beban tekan, tarik lentur maupun geser. Besar kecilnya perubahan bentuk akibat beban ini dipengaruhi sifat kekakuan benda (kayu) yang bersangkutan. Semakin kaku kayu tersebut, semakin sulit pula kayu tadi dirubah bentuknya, demikian pula sebaliknya. Sifat kekakuan kayu ini biasanya disimbolkan dengan modulus elastisitas atau *Modulus of Elasticity* (MOE). Sifat kekakuan ini

berlaku untuk tarik, tekan, lentur, dan geser, tetapi khusus untuk geser sifat ini dinamai “modulus rigiditas” (*modulus of rigidity*) dan tidak boleh disingkat dengan nama MOR karena menyebabkan salah arti dengan *modulus of rupture* pada kasus lentur, berupa kekuatan lentur maksimum.

Nilai MOE (kekakuan) ini hanya berlaku sampai dengan batas proporsi di mana kayu masih bersifat elastis, tetapi nilai ini bukan merupakan tegangan serat pada batas proporsi. Pada pengujian lentur elastis kayu, MOE mempresentasikan sebagai sifat kekakuannya dalam menahan lenturan yang terjadi akibat beban. MOE pada kasus ini biasanya dipakai untuk menggambarkan besarnya lenturan yang dapat terjadi pada balok. Selanjutnya dari perhitungan ini dapat untuk menentukan beban yang aman untuk balok yang bersangkutan. Rumus untuk menghitung besarnya MOE pada balok terlentur adalah sebagai berikut:

$$\text{MOE} = \frac{PL^3}{48yl} \dots\dots\dots (2.10)$$

- Dimana: MOE = Modulus Elastisitas balok (kg/cm²;psi)
 P = Beban di bawah batas proporsi (kg;lbs)
 L = Bentang balok (jarak sangga) (cm;in)
 y = Besarnya lenturan maksimum yang biasanya ada di tengah bentang (cm;in)
 I = Momen inersia penampang balok (cm⁴;in⁴)

Bila penampang balok berbentuk empat persegi panjang, maka besarnya $I = \frac{1}{12}bh^3$, demikian selanjutnya rumus di atas akan menjadi sebagai berikut.

$$\text{MOE} = \frac{PL^3}{48yl} \dots\dots\dots (2.11)$$

- Dimana: b = Dasar penampang balok (cm;in)
 h = Tebal penampang balok (cm;in)
 (b dan h adalah dimensi penampang balok)

2.5.3.5 Sifat keuletan (*toughness*)

Sifat keuletan kayu dapat diartikan dalam banyak pengertian, misalnya kayu yang sulit pecah dikatakan kayu ulet, atau kayu yang tidak mudah rusak meski beban yang diberikan sudah mendekati maksimum, atau kayu yang masih terikat erat satu sama lain meskipun kayu tersebut sudah patah. Pada pengetahuan “Sifat Mekanis Kayu” di definisikan sebagai kemampuan kayu untuk menyerap energi yang relatif besar atau mampu menahan tegangan atau pukulan yang berulang-ulang (untuk beban jangka pendek) yang melewati batas proporsi yang dapat menyebabkan perubahan bentuk tetap dan ada kerusakan sebagian.

Sifat keuletan ini lawannya sifat regas atau rapuh (*brittleness*). Pada kayu ulet yang dibebani sampai mengalami kerusakan, akan memberikan gejala terlebih dahulu. Pada saat kayu rusak biasanya timbul suara terlebih dahulu yang menandakan adanya sel yang terpisah satu sama lain sebelum kayu mengalami kerusakan fatal, sedangkan pada kayu yang bersifat regas, pada saat terjadi kerusakan tidak memberikan tanda-tanda terlebih dahulu melainkan kerusakan terjadi dengan tiba-tiba. Sifat keuletan ini dapat dikatakan pula sebagai “ketahanan/kekuatan pukul”, mengingat dalam pengujiannya beban yang diberikan berupa beban pukulan. Kadang-kadang nama pengujiannya dikatakan sebagai “Pengujian Lentur Dinamis”, karena spesimennya seperti lentur statis sedangkan bentuk pembebanannya bersifat dinamis.

Ada beberapa macam cara pengujian sifat keuletan kayu ini, yaitu :

- a. *Increment Drop Impact test*. Bentuk spesimen pada pengujian ini sama dengan spesimen lentur dan diberikan beban pukul (beban dijatuhkan dengan jarak tertentu) yang dilakukan secara berulang sampai spesimen mengalami kerusakan. Saat ini cara pengujian semacam ini sudah jarang dilakukan.
- b. *Single Drop Impact Test*. Pada pengujian ini beban pukul yang diberikan hanya satu kali saja dijatuhkan. Cara pengujian ini lebih sederhana dan banyak dilakukan untuk menguji kayu yang kurang ulet. Hasil pengujian ini kurang memadai untuk pengujian standar karena tegangan serat pada batas proporsi dan modulus elastisitasnya tidak dapat ditentukan dengan baik.

- c. *Tortion Test atau Twisting Test*. Beban yang diberikan pada pengujian ini berupa beban puntir. Salah satu ujung dipuntir sedangkan ujung lainnya diikat erat atau dipuntir pada arah berlawanan. Akibat pemberian beban torsi ini, spesimen akan mengalami kombinasi pembebanan berupa geseran, tarikan arah longitudinal dan tegangan tarik akibat puntiran yang selanjutnya terjadi pemadatan serat ke arah sumbu (bagian tengah) spesimen. Dalam pengujian sifat keuletan kayu ada beberapa nilai yang dicari, yaitu: Tegangan Serat pada Batas Proporsi (*fiber stress at proportional limit*), Usaha pada Batas Proporsi (*work to proportional limit*), Jarak Beban atau Jarak pukulan (*height of drop*).

2.5.3.6 Sifat kekerasan (*hardness*)

Sifat kekerasan kayu adalah kemampuan kayu untuk menahan indentasi (*indentation*) atau tekanan setempat pada permukaan kayu. Sifat kekerasan ini dapat pula dikatakan sebagai kemampuan kayu untuk menahan kikisan (abrasi) pada permukaannya. Apabila sifat ini digabungkan dengan sifat keuletan, akan merupakan gabungan sifat yang sangat menentukan dalam pemakaian kayu untuk lantai, *paving block*, *bearing* (penahan benda yang berputar) dan juga *roller*. Pada dasarnya sifat kekerasan kayu dapat dipengaruhi kerapatannya, tetapi selain itu ditentukan pula oleh keuletan kayu, ukuran serat kayu, daya ikat antar serat kayu serta susunan serat kayunya.

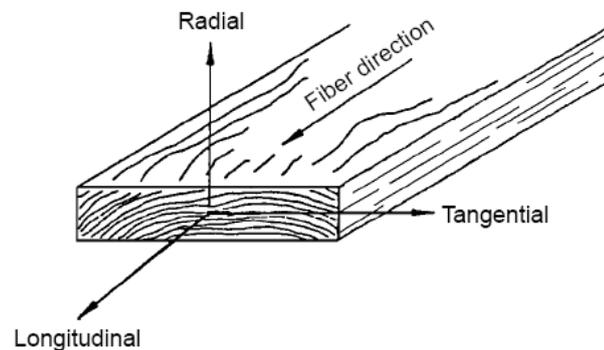
2.5.3.7 Sifat ketahanan belah (*cleavage resistance*)

Sifat ketahanan belah kayu merepresentasikan kemampuan kayu untuk menahan belahan. Contoh sederhana beban belahan pada kayu, misalkan kayu dikampak. Kayu dengan ketahanan belah rendah sangat disukai untuk keperluan penyiapan kayu bakar, karena mudah dibelah. Kayu dengan ketahanan belah tinggi sangat diperlukan untuk mengikat paku atau sekrup serta alat sambung lain pada bangunan.

Pengujian ketahanan belah dilakukan untuk mendapatkan besarnya gaya yang diperlukan untuk membelah kayu dengan bidang belahan sejajar serat kayu baik itu pada arah radial maupun tangensial. Cara pengujian dan spesimennya pun mirip pengujian tarik tegak lurus serat (Mardikanto dkk, 2011).

2.5.4 Hubungan arah serat dengan arah gaya

Kayu adalah benda *anisotropy* (*non isotropic material*) karena hal tersebut sifat-sifat mekanik ke berbagai arah tidak sama. Untuk membedakan itu kita mempunyai 3 arah sumbu yang tegak lurus sesamanya, yaitu *longitudinal* (sejajar arah serat), *radial* (menuju pusat) dan tangensial (menurut arah garis singgung) seperti terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Tiga sumbu simetri kayu (Mardikanto dkk, 2011).

Modulus elastisitas, kuat tarik, tekan, lentur, puntiran dan kuat geser, berbeda-beda menurut arah ketiga sumbu tersebut. Demikian pula menurut arah yang membentuk sudut dengan tiga sumbu itu. Tetapi walaupun kayu itu mempunyai 3 sumbu yang menunjukkan perbedaan sifat-sifat kayu, kita hanya membedakan 2 buah sumbu saja, karena sifat-sifat mekanik ke arah tangensial dan radial tidak banyak bedanya. Jadi kita tinggal mempunyai 2 sumbu, yaitu sejajar arah serat (*longitudinal*) dan tegak lurus serat (*tangensial* dan *radial*).

Perbedaan dengan baja, kayu tidak mempunyai batas elastisitas yang jelas tetapi seperti diagram tegangan regangan seperti pada Gambar 2.5 untuk suatu arah (sejajar atau tegak lurus) mempunyai bagian yang lurus sebelum melengkung. Oleh karena itu, kayu tidak memiliki batas elastisitas, tetapi mempunyai batas proporsional yaitu sebuah titik pertemuan pada diagram tegangan regangan antara bagian garis lurus dan yang melengkung (titik p). Di dalam praktek batas proporsional itu dianggap sebagai batas elastis seperti pada konstruksi baja.

Kayu lebih kuat mendukung gaya tarik sejajar arah serat dari pada menurut tegak lurus arah serat ($\sigma_{tr \parallel} > \sigma_{tr \perp}$). Menurut arah serat kayu lebih kuat mendukung

tarikan dari pada mendukung tekanan ($\sigma_{tr} \parallel > \sigma_{ds} \parallel$). Perbandingannya $\frac{\sigma_{tr} \parallel}{\sigma_{ds} \parallel} = \pm 2 - 2,5$. Kayu lebih kuat mendukung gaya tekan sejajar arah serat dari pada menurut tegak lurus arah serat ($\sigma_{ds} \parallel > \sigma_{ds} \perp$). Pada batas elastisitasnya $\sigma_{ds} \parallel = \pm 1,2 \sigma_{ds} \perp$. Kayu lebih kuat mendukung gaya geser tegak lurus arah serat dari pada menurut arah serat ($\tau \parallel > \tau \perp$) dan $\tau \perp$ ini sedemikian besar sehingga jarang terjadi kayu patah karena gaya geser. Umumnya akan timbul retak-retak akibat gaya desak lebih dahulu daripada retak-retak akibat $\tau \perp$.

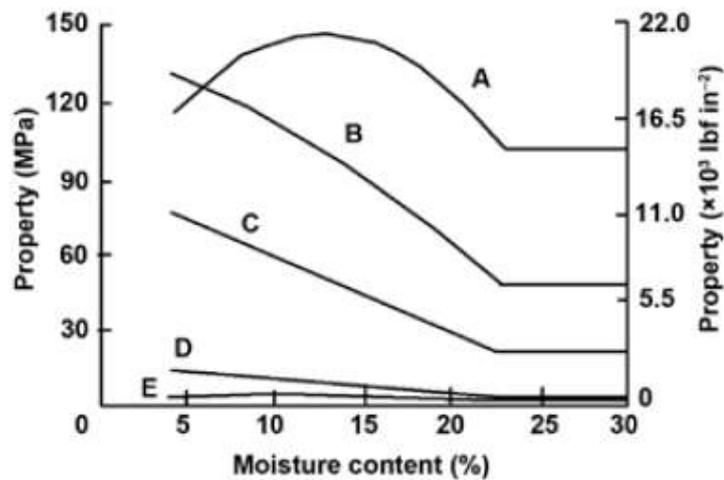
2.5.5 Pengaruh angka rapat

Kekuatan kayu sebanding dengan banyaknya zat kayu yang dikandungnya, maka semakin berat kayu jadi angka rapatnya besar, semakin kuat kayu itu dengan faktor-faktor lain dianggap sama. Seperti kadar air kayu yang harus sama, dikarenakan semakin besar kadar air kayu semakin berat juga kayu itu, sebagai ukuran dipakai kayu dengan kadar air 12%, karena kadar air ini umumnya dimiliki oleh kayu yang akan dalam keseimbangan dengan kadar air udara biasa (pada musim kemarau).

2.5.6 Pengaruh kadar air kayu

Kadar air kayu besar pengaruhnya terhadap kekuatan kayu, terutama daya dukungnya terhadap kekuatan tarik sejajar arah serat, kekuatan lentur, kekuatan tekan sejajar arah serat, kekuatan tegak lurus arah serat dan kekuatan tarik tegak lurus arah serat. Metode pengeringan kayu dapat memberikan pengaruh pula pada kekuatan kayu, tergantung banyaknya cacat yang timbul akibat pengeringan. Pada Gambar 2.13 terlihat hubungan antara kadar air dengan kekuatan kayu yang meliputi:

- a. Kekuatan tarik sejajar serat
- b. Kekuatan lentur
- c. Kekuatan tekan sejajar serat
- d. Kekuatan tekan tegak lurus serat
- e. Kekuatan tarik tegak lurus serat



Gambar 2.13 Efek kadar air terhadap kekuatan kayu : a. Kekuatan tarik sejajar serat, b. Kekuatan lentur, c. Kekuatan tekan sejajar serat, d. Kekuatan tekan tegak lurus serat, e. Kekuatan tarik tegak lurus Serat (Green dkk, 2010).

Pada Gambar 2.13 terlihat betapa besar pengaruh kadar air terhadap daya dukung kayu. Karena itu pentingnya pengeringan kayu sebelum dipergunakan pada suatu bangunan.

2.5.7 Jangka waktu pembebanan (*duration of stress*)

Bila kayu dibebani dalam waktu singkat, kemampuan kayu untuk menahan lebih besar dibanding bila kayu dibebani dengan jangka waktu pembebanan yang lebih lama. Umumnya waktu maksimum pengujian lentur statis sampai spesimen mengalami kerusakan 3 sampai 5 menit. Apabila waktu pembebanan dirubah dalam waktu satu detik sampai terjadi kerusakan, maka kekuatan kayu menjadi 10 % lebih tinggi dibanding dengan waktu standar pengujian. Kayu yang dibebani terus menerus akan mengalami kerusakan pada beban kurang lebih $\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$ dari beban yang berjangka waktu pendek.

2.6 Sambungan Kayu

2.6.1 Pengertian sambungan

Sambungan adalah lokasi sederhana yang menghubungkan dua bagian atau lebih menjadi satu dengan bentuk tertentu pada ujung-ujung perlekatannya. Menurut pun (1987), sambungan kayu adalah sambungan yang mengikat dua atau lebih papan kayu secara bersamaan dengan menggunakan alat sambung mekanik seperti paku, baut, konektor atau menggunakan alat sambung berupa perekat struktural. Tipe sambungan dengan alat sambungan dengan alat sambung mekanik tersebut dikenal dengan istilah *mechanical joint* dan tipe sambungan dengan alat sambung perekat disebut *glued joint*. Sambungan kayu berperan penting dalam pembuatan konstruksi kayu, seperti bangunan rumah, gedung, menara, maupun jembatan. Hal ini dikarenakan struktur kayu terbuat dari komponen yang harus disambungkan secara bersama-sama untuk memindahkan beban yang diterima oleh komponen kayu tersebut.

Penyambungan kayu dilakukan untuk memperoleh panjang yang diinginkan atau membentuk suatu konstruksi rangka batang sesuai dengan yang diinginkan. Sambungan pada suatu konstruksi merupakan titik kritis atau terlemah pada konstruksi tersebut. Kayu yang akan disambung harus merupakan pasangan yang cocok dan pas, tidak longgar agar tidak saling bergeser dan tidak longgar agar tidak saling bergeser dan tidak terlalu kencang. Penyambungan tidak boleh sampai merusak kayu yang disambung tersebut. Setelah bentuk sambungan selesai dibuat hendaknya diberi bahan pengawet agar tidak lapuk dan sebaliknya sambungan kayu yang dibuat terlihat dari luar agar mudah untuk dikontrol (Surya, 2002).

Menurut Wiryomartono (1976), kekuatan sambungan dipengaruhi oleh ukuran kayu, arah gaya (beban) terhadap arah serat kayu, ukuran kayu yang disambung dan pelat sambung, kadar air kayu, jarak antar alat sambung dan ukuran alat sambung. Lebih lanjut dikemukakan bahwa apabila gaya (beban) tidak sejajar dengan arah serat maka kekuatan sambungan akan berkurang. Pengaruh penyimpangan arah serat dilukiskan sebagai garis sinusoida.

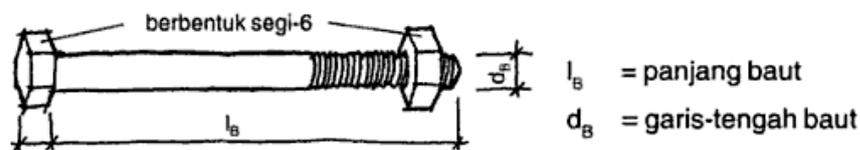
2.6.2 Baut sebagai alat sambung

Alat-alat sambung dapat digolongkan menjadi empat, yaitu :

- Paku, baut, sekrup kayu
- Pasak-pasak kayu keras
- Alat-alat sambung modern (kokot, buldog, cincin belah, dan lain-lain)
- Perekat

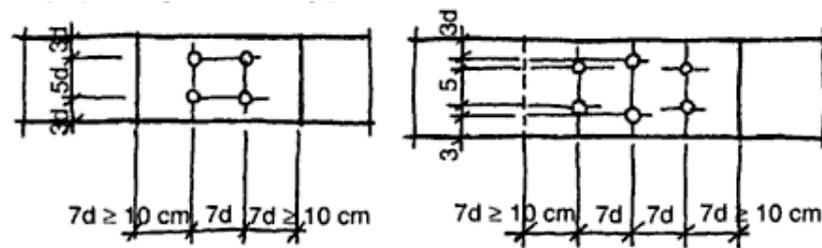
Selanjutnya bila dilihat dari cara pembebanannya, alat-alat sambung dibagi menjadi (Wiryomartono, 1977) :

- Alat sambung untuk dibebani geseran, misalnya paku, baut, perekat dan pasak kayu.
- Alat sambung yang dibebani bengkokan atau lenturan, misalnya paku, baut dan pasak kayu.
- Alat sambung untuk dibebani jungkitan, misalnya pasak kayu.
- Alat sambung untuk dibebani desakan, misalnya kokot dan cincin belah.

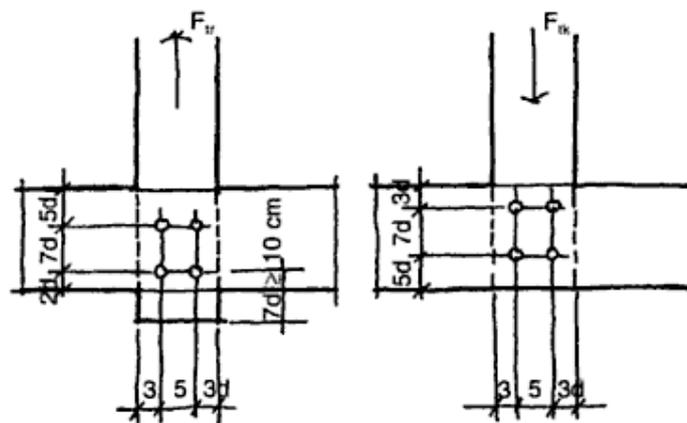


Gambar 2.14 Baut segi enam sebagai alat sambung (Frick dkk, 2004).

Menurut Porteous (2007) dalam Siska (2011), baut sebagai alat sambung banyak digunakan dalam aplikasi sambungan kayu yang menerima beban besar. Sambungan baut ini dapat digunakan untuk sambungan kayu dengan kayu, tetapi lebih cocok digunakan untuk sambungan kayu dengan baja dan sambungan kayu dengan panel. Sambungan dengan baut telah banyak digunakan dalam konstruksi-konstruksi kayu meskipun sebenarnya tidak begitu baik karena menyebabkan efisiensi kecil dan deformasi besar. Sambungan baut hanya boleh digunakan untuk menyambung kayu yang benar-benar kering udara, karena penyusutan kayu bisa mengakibatkan retak pada kayu dan mengurangi kekuatan sambungan.



Gambar 2.15 Penempatan baut pada sambungan yang lurus (Frick dkk, 2004).



Gambar 2.16 Penempatan baut pada sambungan yang tegak lurus (Frick dkk, 2004).

Ulir pada baut memiliki beberapa bagian sebagai berikut, bagian yang pertama yaitu jarak puncak (*pitch*) adalah jarak antara bentuk ulir yang berdekatan diukur sejajar dengan sumbu ulir. Kemudian bagian yang kedua yaitu diameter besar (*major diameter*) d adalah diameter terbesar dari ulir sekrup. Bagian yang ketiga yaitu diameter kecil (*minor diameter*) d_r adalah diameter terkecil dari ulir sekrup. Selanjutnya bagian yang terakhir yaitu jarak maju l adalah jarak mur bergerak sejajar dengan sumbu sekrup bila mur diberi satu putaran. Untuk ulir tunggal, jarak maju adalah sama dengan jarak puncak (Shigley, 1986). Berikut tabel diameter dan luas ulir metris berjarak puncak kasar dan halus (semua ukuran dalam millimeter).

Tabel 2.5 Diameter dan Luas Ulir Metris Berjarak-Puncak Kasar dan Halus
(Semua Ukuran Dalam Millimeter) (Sighley,1986)

Dimeter besar nominal, d	Seri	Jarak Puncak	Kasar	Seri	Jarak Puncak	Halus
	Jarak puncak p	Luas tegangan tarik, A_t	Luas diameter kecil, A_r	Jarak Puncak p	Luas tegang an tarik, A_t	Luas diameter kecil, A_r
1,6	0,35	1,27	1,07			
2	0,04	2,07	1,79			
2,5	0,45	3,39	2,98			
3	0,5	5,03	4,47			
3,5	0,6	6,78	6,00			
4	0,7	8,78	7,75			
5	6,8	14,2	12,7			
6	1	20,1	17,9			
8	1,25	36,6	32,8	1	39,2	36
10	1,5	58,0	32,3	1,25	61,2	56,3
12	1,75	84,3	76,3	1,25	92,1	86,0
14	2	115	104	1,5	125	116
16	2	157	144	1,5	167	157
20	2,5	245	225	1,5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3,5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4,5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5,5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1,5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

2.6.3 Sambungan dengan perekat

Sebagai pengikat sambungan digunakan lem atau bahan perekat kayu. Pada umumnya perekat yang digunakan adalah lem putih atau PVaC, yang menggunakan air sebagai bahan pencair. Lem kuning *Chloropren* sering dikenal dengan nama lem *Aica Aibon*, yang menggunakan bahan pencair *thinner* atau *acetone*.

Penggunaan jenis lem di atas dibedakan berdasarkan tujuannya agar mutu sambungan kontruksinya sempurna. Lem putih (PVaC) digunakan untuk sambungan kontruksi mati antara kayu dengan kayu, khusus untuk interior dan terlindungi dari air, untuk kontruksi eksterior dan tahan cuaca digunakan lem khusus yang diatur dengan aturan khusus pula, misalnya DIN no 68602 untuk kontruksi laminasi kayu kosen jendela/pintu. Lem putih ini juga digunakan pada sambungan untuk keperluan mebel yang mati. Lem kuning (*Chloropren*) terbuat dari bahan elastis karet sehingga kurang tahan terhadap panas. Lem jenis ini digunakan untuk sambungan kayu dengan lembaran sintetik lainnya yang mempunyai angka penyusutan tidak sama dengan kayu, misalnya kayu dengan bahan pelapis sintetik formika, kayu dengan papan lapis atau papan kawul (partikel, *chip board*). Lem kuning lebih tahan terhadap air karena bahan pencairnya adalah sejenis *thinner* atau *acetone*. Namun hindarkan dalam penggunaan untuk tujuan benda kerja yang akan *difinishing* dengan melamine atau NC yang menggunakan *thinner*.

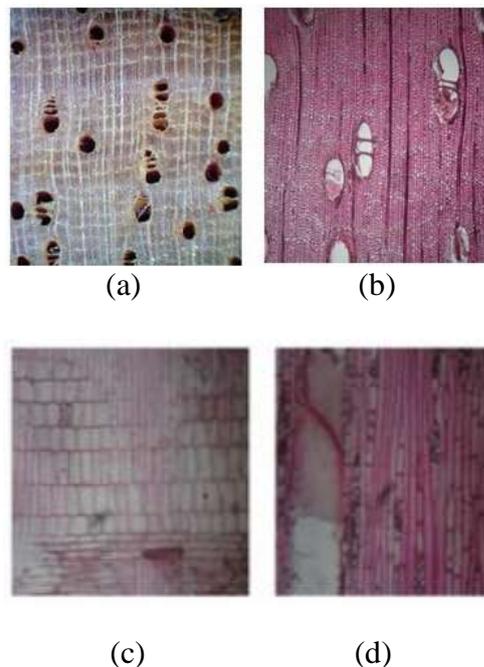
Perbedaan kekuatan daya rekat lem banyak dipengaruhi oleh kadar air dalam kayu dan cara pengolesannya. Hasil kekuatan konstruksi yang kayunya berkadar air 4%-8%, daya bebannya lebih rendah bila pada bidang yang akan disambung masing-masing dioles sekali dengan lem putih dibandingkan bila dioles lem 2 kali. Demikian pula pada kayu yang berkadar air 10%-15% yang dioles lem 2 kali, masing-masing satu kali pada bidang yang akan direkatkan, daya bebannya lebih rendah daripada bila dioles satu kali saja pada satu bidang. Kayu berkadar air lebih dari 15%, daya rekatnya sangat rendah. Kayu yang kering akan menyerap air lem lebih dahulu sehingga lem mengkristal tidak sempurna. Demikian pula bila kayu basah, pori-pori kayu tidak dapat menyerap lem dengan sempurna sehingga dasar kekuatan cengkeram lem terhadap kayu tidak baik (Budianto, 1996).

2.7 Gambaran Umum Jenis-Jenis Kayu yang Diuji

2.7.1 Kayu karet

Karet memiliki naman latin *Hevea Brasiliensis Muel Arg.* Karet dapat tumbuh baik di daerah katulistiwa dengan suhu optimal 20⁰C pada ketinggian 200-600 m di atas permukaan laut (Setyamidjaja, 1993). Ciri umum dari kayu ini adalah

warna kayu teras berwarna putih kekuning-kuningan pucat, terkadang agak merah jambu segar, lambat laun berubah menjadi kuning jerami atau coklat muda sedangkan kayu gubal berwarna putih. Batas antara kayu gubal dan kayu teras tidaklah jelas (Martawijaya, 1972). Tekstur kayu karet agak kasar tetapi rata. Berdasarkan pada pengamatan yang dilakukan secara mikroskopis dengan preparat kayu karet yang telah diawetkan arah seratnya lurus sampai agak terpadu. Kesan raba kayu karet agak kasar, permukaan kayu karet yang terlihat agak kusam dan sering tampak garis kehitaman-hitaman akibat adanya lapisan tipis kulit yang tersisip. Bau yang tercium dari kayu karet adalah berbau lateks. Kayu karet tergolong kayu agak lunak hingga agak keras dengan densitas antara 435-625 kg/m³ dan berat jenis rata-rata 0,61 (0,55-0,70). Pada struktur anatomi kayu karet untuk jumlah pori yang ditemukan pada foto makroskopis dengan ukuran 3x4 mm berjumlah 37 pori. Jari-jari kayu karet agak sempit sampai agak lebar dengan jumlah 7-10 jari-jari/mm² dengan tinggi rata-rata 1,8 mm. Menurut hasil pengamatan panjang serat rata-rata 1138,594, diameter serat rata-rata 26,453, diameter lumen rata-rata 19,679 dan tebal dinding serat rata-rata 3,387. Berikut merupakan foto mikroskopis kayu karet yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Foto mikroskopis kayu karet : a. Bidang lintang, b. Bidang lintang, c. Bidang radial, d. Bidang tangensial (sarderforester.blogspot.com,2012).

Kayu karet yang baru ditebang memiliki kadar air kayu segar berkisar antara 60-80%. Untuk mengurangi kadar air tersebut dilakukan pengeringan baik secara alami maupun buatan. Pada percobaan pengeringan yang dilakukan oleh Isna (1995) papan kayu karet dengan tebal 25 mm dapat dikering udarakan menjadi dibawah 20% selama 40-60 hari dan tebal 50 mm perlu waktu 60-80 hari pengeringan alami. Pengeringan dengan tanur (*klin drying*) dapat dilakukan dengan penguapan pendahuluan pada temperature 70-100⁰C selama beberapa jam sebelum diberlakukan jadwal pengeringan yang sesuai. Untuk kayu karet, dapat digunakan jadwal pengeringan yang disajikan pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Jadwal Pengeringan Kayu Karet (Wardhani dan Sukanton, 1995)

Kadar Air (%)	Temperatur Bola Kering (⁰ C)	Temperatur Bola basah (⁰ C)	Perkiraan Kelembaban relatif (%)
Basah	48,5	46	85
60	48,5	45	80
40	51,5	46,5	75
30	54,5	47	65
25	60,0	49	55
10	60,0	53	45
15	76,5	58	40

Sedangkan waktu yang diperlukan untuk mengeringkan kayu karet memakai jadwal pengeringan adalah kayu tebal 25 mm memerlukan waktu 5-6 hari dan kayu dengan tebal 50 mm memerlukan waktu 10-12 hari sampai dicapai kadar air 8-12%.

Penelitian juga dilakukan oleh Abdurachman dan Hadjib (2009) meneliti tentang sifat fisis dan sifat mekanis kayu karet, dimana kayu karet memiliki nilai kerapatan sebesar 0,61 g/cm³, kadar air 11.46 %, kekuatan lentur statis yang berupa nilai MOE 83567,20 kg/cm², nilai MOR sebesar 824,40 kg/cm², dan keteguhan tekan sejajar serat 421.80 kg/cm². Kayu karet juga tergolong kelas kuat III – II dan tergolong kelas awet V.

2.7.2 Kayu bengkirai

Nama botanis kayu bengkirai adalah *Shorea leavis* Ridl (syn. *S. laefivolia* Endert) termasuk dalam famili *Dipterocarpaceae*. Nama daerah dari kayu ini adalah anggelam, bengkirai dan benuas. Daerah penyebaran kayu ini di seluruh Kalimantan. Tinggi pohon sampai 50 m dengan panjang batang bebas cabang 35-40 m, diameter 100 cm atau lebih tinggi, tinggi banir 2 m. Kulit luar berwarna kelabu, merah atau coklat, kadang-kadang sampai merah tua, beralur dan mengelupas kecil-kecil, tipis, berdamar warna kuning tua.

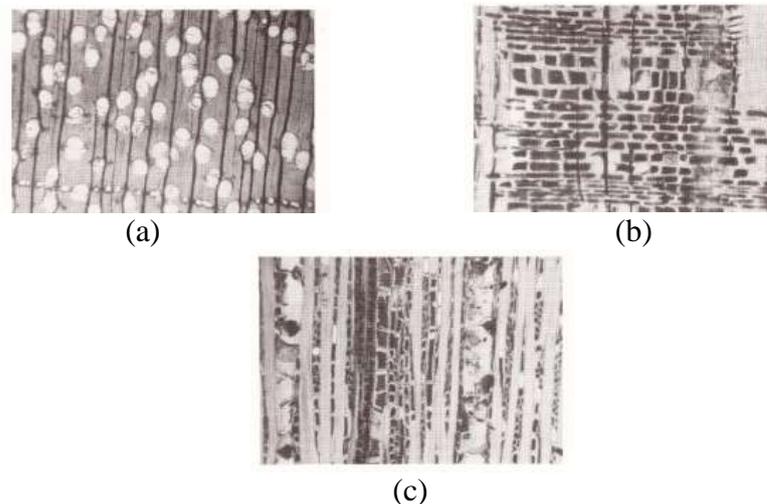
Ciri umum dari kayu ini adalah warna kayu teras berwarna kuning-coklat, kayu gubal coklat muda pucat kekuning-kuningan. Tekstur kayu halus sampai agak kasar. Arah serat kayu lurus atau berpadu. Permukaan kayu licin atau berganti-ganti antara licin dan kesat karena arah serat yang berpadu dan mengkilap. Struktur pori sebagian besar soliter, sebagian kecil bergabung 2-4 dalam arah radial, kadang-kadang bergabung dalam arah tangensial atau miring, berbentuk bundar atau lonjong diameter 100-300 μ , frekuensi 2-10 per mm^2 , berisi banyak tilosis, bidang perforasi berbentuk sederhana. Parenkim termasuk tipe paratrakeal berbentuk selubung lengkap atau tidak lengkap, terdapat pula parenkim apotrakeal berbentuk pita tangensial pendek dan parenkim tersebar. Jari-Jari satu macam, sempit dan pendek frekuensi 6-8 per mm, kadang-kadang berisi endapan berwarna coklat. Saluran interseluler vertikal hampir selalu lebih kecil daripada pori, kadang-kadang sama besar, tersusun dalam deretan memanjang arah tangensial kadang-kadang dalam deretan pendek berisi dammar berwarna putih. Panjang serat 1.203 μ dengan diameter 19,9 μ , tebal dinding 1,9 μ dan diameter lumen 16,1 μ . Berat jenis dan kelas kuat kayu adalah 0,91 (0,60-1,16); I-II. Penyusutan sampai kering tanur 4,5 % (R) dan 8,3% (T). Pada Tabel 2.7 di bawah ini menunjukkan sifat mekanis kayu.

Tabel 2.7 Sifat Mekanis Kayu Bengkirai (Martawijaya dkk ,1981)

Kekuatan lentur statis	Basah	Kering
Tegangan pada batas proporsi (kg/cm ²)	872	857
Tegangan pada batas patah (kg/cm ²)	1160	1243
Modulus elastisitas (1000 kg / cm ²)	189	187
Usaha sampai batas proporsi (kgm/dm ³)	2,3	2,2
Usaha sampai batas patah (kgm/dm ³)	7,0	7,6
Kekuatan <i>impact</i>		
Radial (kgm/dm ³)	30,5	27,3
Tangensial (kgm/dm ³)	28,8	32,2
Kekuatan tekan sejajar arah serat, tegangan maksimum (kg/cm²)		
	6,27	6,80
Kekerasan (JANKA)		
Ujung (kg/cm ²)	6,98	6,20
Sisi (kg/cm ²)	-	6,08
Kekuatan geser		
Radial (kg/cm ²)	65,3	91,8
Tangensial (kg/cm ²)	75,5	102,8
Kekuatan belah		
Radial (kg/cm ²)	49,5	65,7
Tangensial (kg/cm ²)	65,7	84,5
Kekuatan tarik tegak lurus arah serat		
Radial (kg/cm ²)	36,5	36,5
Tangensial (kg/cm ²)	43,2	40,2

Kadar selulosa kayu sebesar 52,9 %, kadar lignin sebesar 24,0%, kadar pentosan sebesar 16,8%, kadar abu sebesar 1,0%, kadar silika sebesar 0,4%. Kelarutan pada alkohol-benzena sebesar 3,0%, kelarutan pada air dingin sebesar 0,8%, kelarutan pada air panas sebesar 2,6%, dan kelarutan pada NaOH 1% sebesar

10,9 %. Nilai kalor dari kayu sebesar 4.017 cal/g. Berikut merupakan foto mikroskopis kayu bengkirai yang ditunjukkan pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 Foto mikroskopis kayu bengkirai : a. Penampang transversal, b. Penampang radial, c. Penampang tangensial (Martawijaya dkk, 1981).

Kayu bengkirai termasuk dalam kelas awet I-II (III), sedangkan daya tahannya terhadap rayap kayu kering *Cryptotermes cynocephalus* Light termasuk kelas III. Kayu bengkirai sukar diawetkan. Papan bengkirai tebal 2,5 cm dan 4 cm yang dikeringkan dengan dapur pengering dari kadar 50% sampai 15%, masing-masing memerlukan waktu 6 hari dan 9 hari dengan suhu pengeringan berkisar antara 43⁰C- 71⁰C dan kelembaban nisbi 84%-38%. Kayu bengkirai termasuk sulit dikeringkan, karena mudah pecah dan retak serta berubah bentuk. Kayu bengkirai tidak baik untuk pembuatan venir dan kayu lapis, karena keras dan mempunyai berat jenis yang tinggi. Meskipun keras kayu bengkirai tidak begitu sulit untuk dikerjakan, antara lain dapat digergaji dengan menggunakan gergaji yang ujungnya diperkeras atau dapat diserut sampai licin asal digunakan sudut ketam yang kecil, untuk pemakuan sebaiknya dibor terlebih dahulu supaya jangan pecah. Karena kekuatan dan keawetan yang tinggi, kayu bengkirai dipergunakan untuk konstruksi berat di bawah atap atau maupun di tempat terbuka, antara lain untuk bangunan jembatan, bantalan, tiang listrik, lantai, bangunan maritime, perkapalan, karoseri dan perumahan (Martawijaya dkk, 1981).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Kayu karet dan kayu bengkirai sebagai bahan yang disambung, untuk kayu bengkirai diperoleh di tempat pemotongan kayu di daerah Anjasmoro, Semarang sedangkan kayu karet diperoleh di daerah BSB (Bukit Semarang Baru).
- b. Cat *epoxy* dan *hardener* digunakan untuk *coating* pada kayu
- c. Lem *epoxy* yang terdiri dari campuran *resin* dan *hardener* sebagai perekat sambungan kayu.
- d. Baut dengan ukuran diameter 6 mm sebanyak 30 batang untuk menyambung kayu pada pengujian sejajar kayu dan baut ukuran 10 mm sebanyak 6 batang untuk pengujian sambungan tarik geser ganda.
- e. Pelat sambung dari pelat baja dengan ukuran 6 x 60 x 60 mm sebanyak 12 buah untuk pengujian sambungan tarik geser ganda.

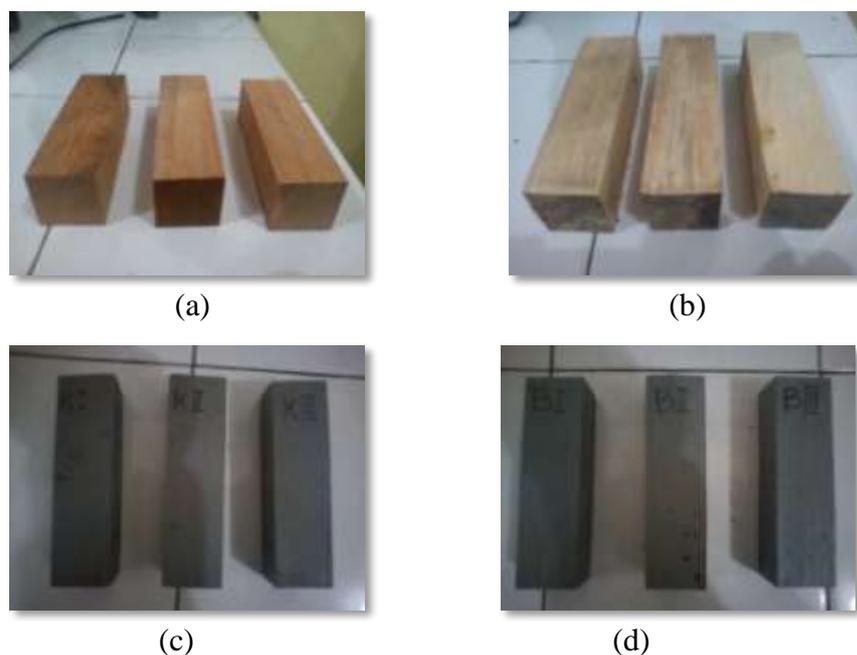
3.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gergaji mesin yang digunakan untuk memotong balok kayu menjadi batang-batang Spesimen, mesin serut *double planner* untuk meratakan sisi dari batang kayu dan mesin bor untuk melubangi batang kayu. Alat ukur meliputi *vernier caliper* digunakan untuk mengukur volume dari spesimen, oven yang digunakan mengeringkan kayu dan alat pengukur kadar air kayu saat pengujian kadar air kayu. Alat penunjang meliputi palu kunci pas, dan kunci torsi digunakan untuk membantu memasukkan baut ke dalam batang kayu. Alat-alat tulis untuk mencatat hasil pengujian, *Universal Testing Machine* merek *Shimadzu* tipe SFL-20-350 kapasitas 20 ton digunakan untuk menguji kekuatan sambungan sejajar kayu, *Universal Testing Machine* merek *Tarno Grocki* kapasitas 10 ton untuk menguji kekuatan tarik sambungan kayu dengan menggunakan pelat.

3.3 Uji Distorsi Volume

3.3.1 Pembuatan spesimen uji

Sebelum dibuat menjadi spesimen, balok kayu terlebih dahulu dikeringkan untuk mendapatkan kadar air kering udara atau kadar air mencapai sekitar 10-15%. Spesimen untuk pengujian distorsi volume dibuat dengan ukuran 130 x 37 x 37 mm masing-masing 6 spesimen untuk setiap jenis kayu dengan variasi *coating* dan *non coating* (seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Spesimen untuk pengujian distorsi volume : a. Kayu bengkirai (tanpa *coating*), b. Kayu karet (tanpa *coating*), c. Kayu karet (dengan *coating*), d. Kayu bengkirai (dengan *coating*).

3.3.2 Pengujian distorsi volume

Pengujian distorsi volume bertujuan untuk mengetahui perubahan volume yang terjadi akibat kelembaban tinggi pada masing-masing spesimen (kayu karet dan kayu bengkirai) dengan perbedaan perlakuan berupa *coating* dan *non coating*. Spesimen dikeringkan dengan menggunakan oven dengan temperatur 60 °C sampai kadar air mencapai 10-15% (seperti terlihat pada Gambar 3.3). Pengukuran kadar air dilakukan dengan menggunakan alat ukur kadar air *wood moisture meter* (seperti terlihat pada Gambar 3.2). Pengukuran kadar air dilakukan dengan cara

menempelkan *wood moisture meter* pada setiap spesimen, maka pada *display* akan terlihat angka yang merupakan kadar air untuk masing-masing spesimen. Setelah kadar air kayu mencapai 10-15%, spesimen diukur terlebih dahulu dengan menggunakan *vernier caliper* (seperti terlihat pada Gambar 3.4) sebelum dilakukan perendaman di dalam air. Kemudian spesimen direndam di dalam air (seperti terlihat pada Gambar 3.5) selama tiga hari dan diukur perubahan volume yang terjadi setiap harinya.



Gambar 3.2 *Wood moisture meter*.



Gambar 3.3 Pengeringan kayu dengan menggunakan oven.



Gambar 3.4 Pengukuran volume kayu dengan menggunakan *vernier caliper*.

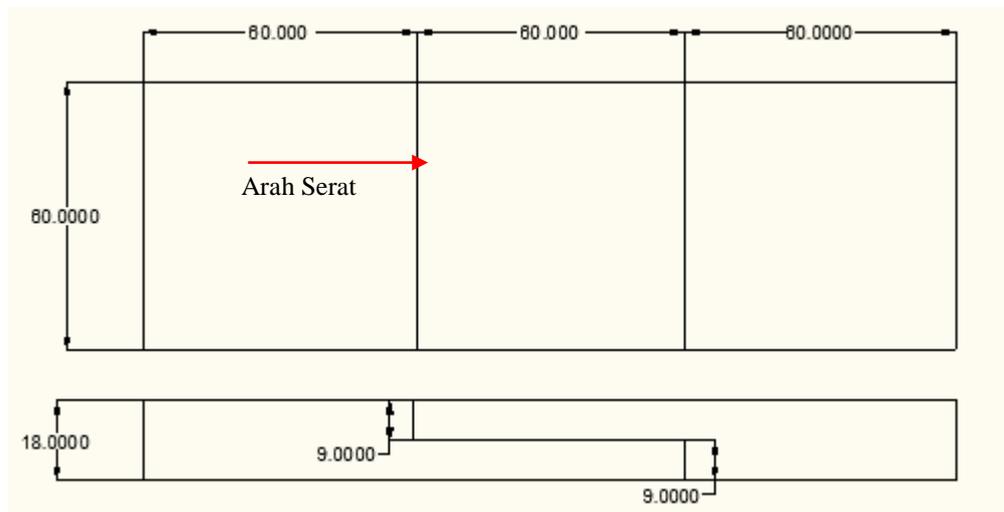


Gambar 3.5 Perendaman spesimen uji.

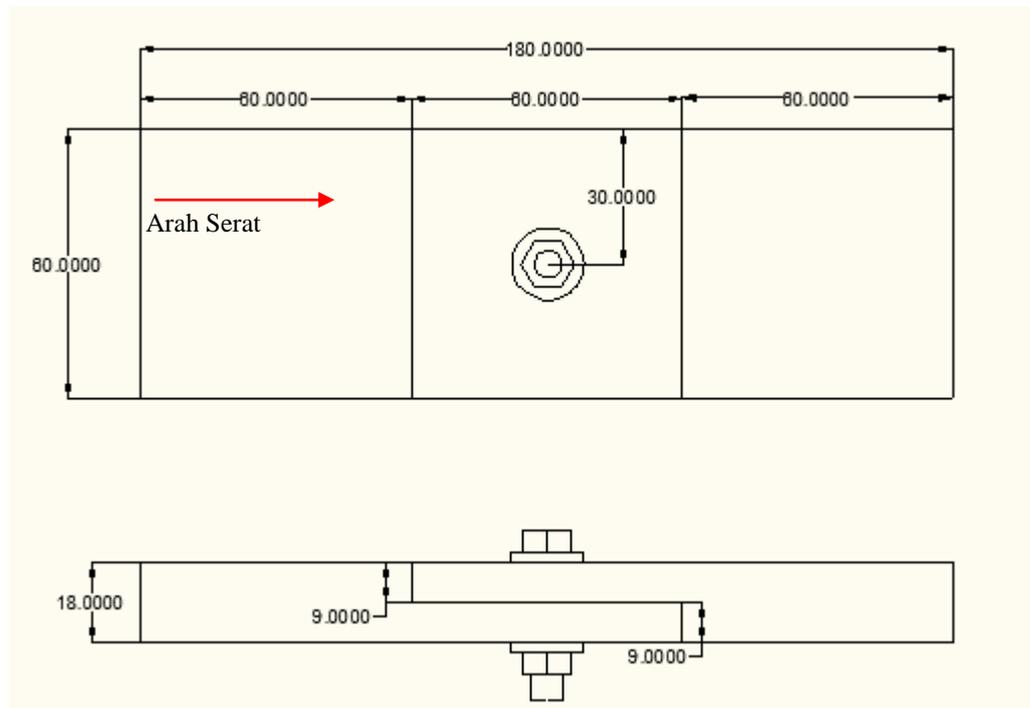
3.4 Uji Kekuatan Sambungan Sejajar

3.4.1 Pembuatan spesimen uji

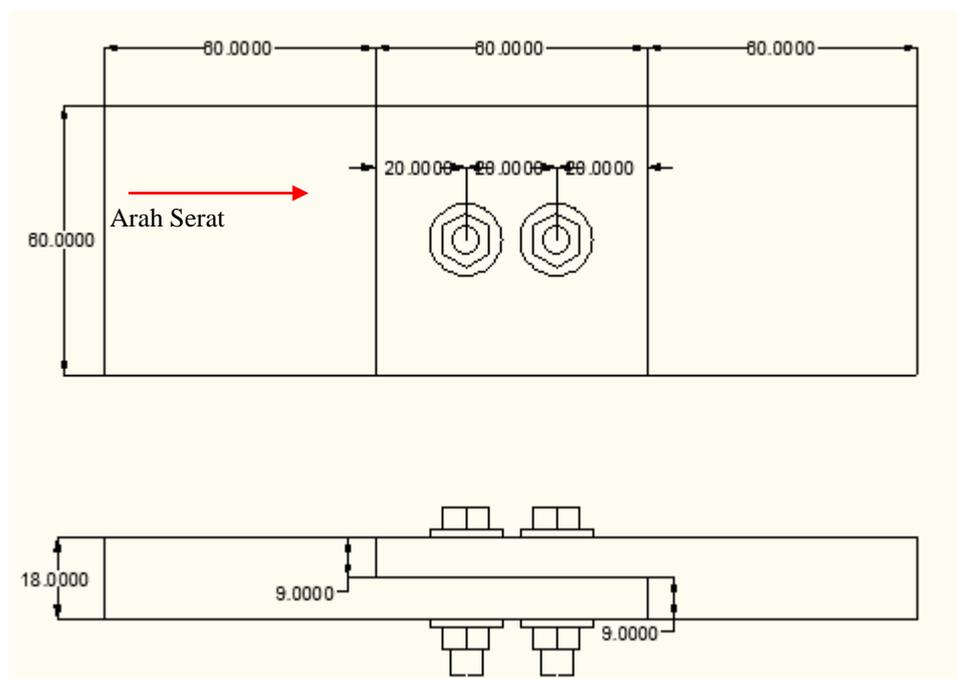
Sebelum dibuat menjadi spesimen, balok kayu terlebih dahulu dikeringkan untuk mendapatkan kadar air kering udara atau kadar air mencapai sekitar 10-15%. Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar dibuat dengan ukuran 180 x 60 x 18 mm menggunakan kayu karet dan bengkirai masing-masing 15 spesimen untuk setiap jenis kayu. Spesimen disambung dengan menggunakan lem *epoxy* yang terdiri dari *resin* dan *hardener*, dan alat sambung baut ukuran diameter 6 mm dengan torsi pengencangan seragam dengan variasi jarak dan jumlah baut. Penyambungan kayu dengan lem, dan baut pada pengujian sambungan sejajar kayu dibuat seperti pada gambar berikut.



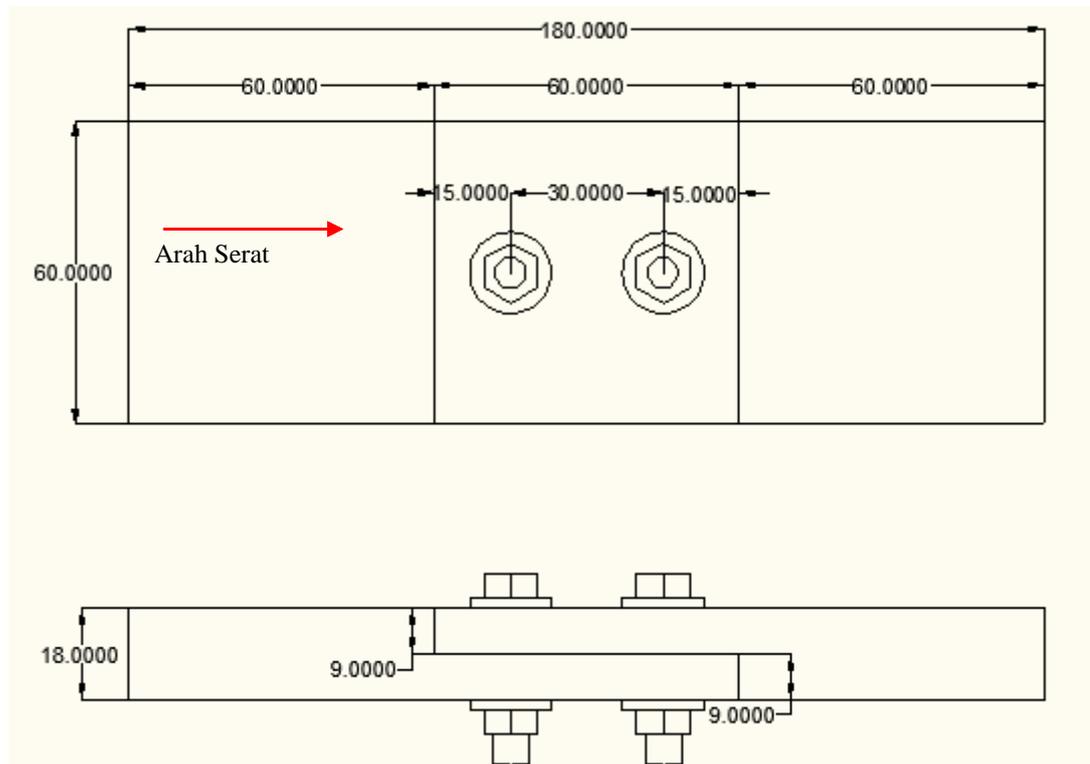
Gambar 3.6a Gambar kerja spesimen untuk penyambungan kayu dengan lem *epoxy*.



Gambar 3.6b Gambar kerja spesimen untuk penyambungan kayu dengan 1 baut.



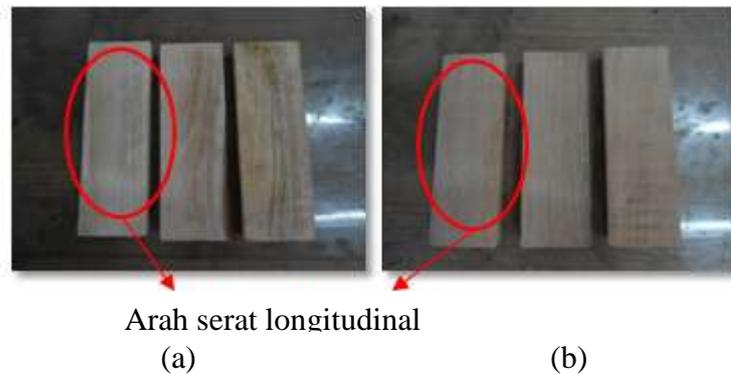
Gambar 3.6c Gambar kerja spesimen untuk penyambungan kayu dengan 2 baut dengan jarak antar baut sebesar 20 mm.



Gambar 3.6d Gambar kerja spesimen untuk penyambungan kayu dengan 2 baut dengan jarak antar baut sebesar 30 mm.

Pada Gambar 3.6a penyambungan kayu dilakukan dengan menggunakan lem (perekat). Lem (perekat) yang digunakan adalah lem *epoxy* yang terdiri dari campuran antara *resin* dan *hardener* dengan perbandingan 1 : 1. Sebelum dilakukan penyambungan, pada sisi kayu terlebih dahulu diampelas supaya bersih, setelah diampelas kemudian pada sisi kayu diberikan lem *epoxy* secara merata. Selanjutnya sisi kayu ditempelkan dan dicekam dengan tekanan kurang lebih 0,6 MPa selama kurang lebih 6 jam. Hal ini dimaksudkan agar penetrasi lem menjadi lebih baik sehingga sambungan akan menjadi kuat. Waktu pengujian dilakukan 1 minggu setelah proses kering sempurna. Pada gambar 3.6b sampai Gambar 3.6d penyambungan kayu dilakukan dengan menggunakan baut dengan diameter 6 mm. Sebelum dilakukan penyambungan, kayu dibor terlebih dahulu dengan menggunakan mesin *drill*. Pengeboran pada kayu menggunakan diameter bor yang lebih kecil dari diameter baut. Hal ini dimaksudkan untuk membatasi kelemahan tanpa mengurangi daya ikat baut terhadap kayu. Pemasangan baut dilakukan dengan menggunakan kunci pas yang sesuai dengan ukuran baut dan pengencangan dilakukan dengan

menggunakan kunci torsi dengan torsi pengencangan yang seragam. Berikut merupakan gambar spesimen uji untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu.



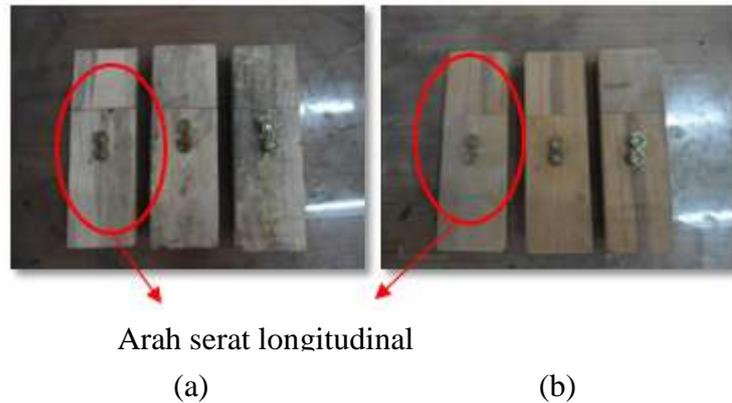
Gambar 3.7 Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu tanpa sambungan : a. Kayu karet, b. Kayu bengkirai.



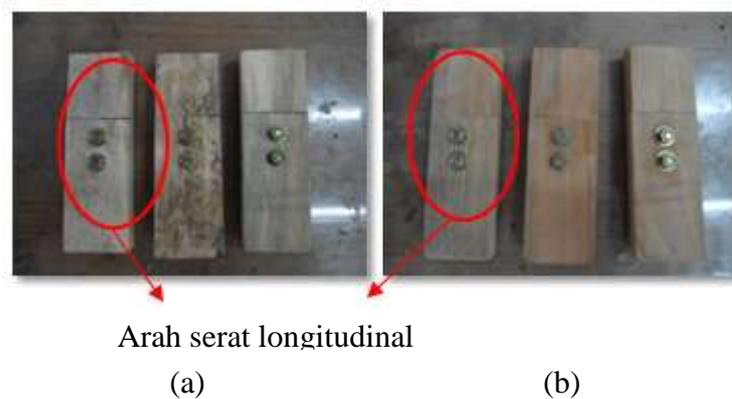
Gambar 3.8 Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu dengan sambungan lem *epoxy* : a. Kayu karet, b. Kayu bengkirai.



Gambar 3.9 Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu dengan sambungan 1 baut : a. Kayu karet, b. Kayu bengkirai.



Gambar 3.10 Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu dengan sambungan 2 baut dengan jarak antar baut 20 mm : a. Kayu karet, b. Kayu bengkirai.



Gambar 3.11 Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu dengan sambungan 2 baut dengan jarak antar baut 30 mm : a. Kayu karet, b. Kayu bengkirai.

3.4.2 Pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu

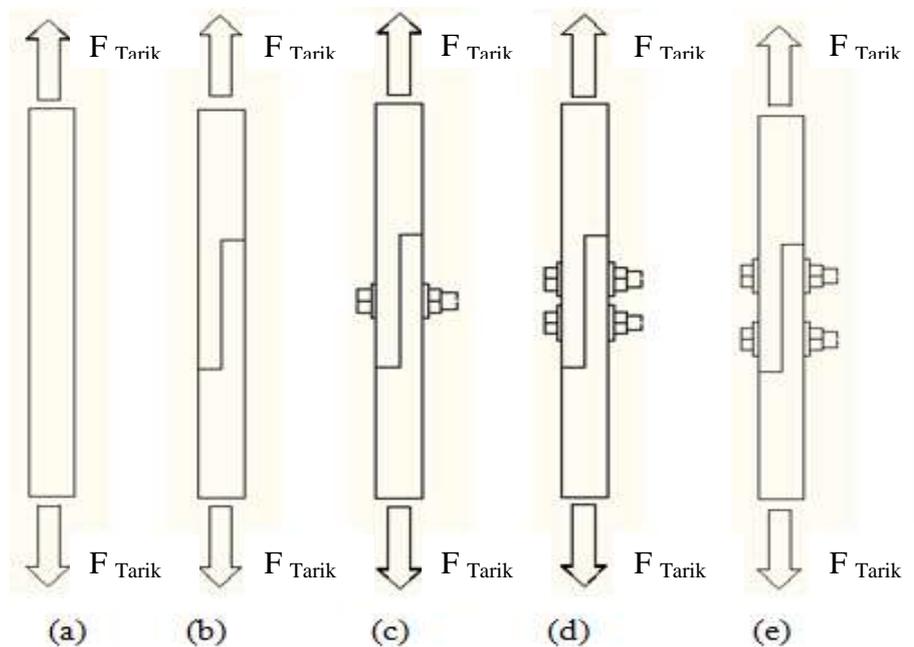
Pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* merk *Shimadzu* tipe SFL-20-350 kapasitas 20 ton. Pengujian dilakukan dengan pemberian beban tarik pada spesimen. Beban yang diberikan pada spesimen adalah gaya aksial yang arahnya searah dengan panjang batang kayu dan lateral yang arahnya tegak lurus dengan panjang alat sambung (seperti yang terlihat pada Gambar 3.12).



Gambar 3.12 Pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu.

3.4.3 Diagram benda bebas pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu

Berikut merupakan gambar diagram benda bebas untuk pengujian kekuatan sambungan sejajar:



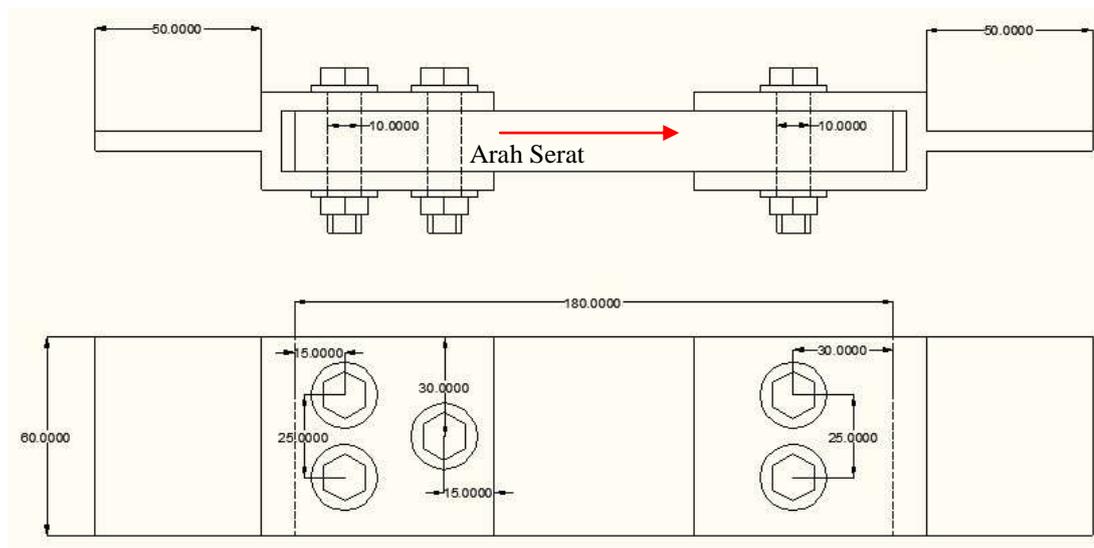
Gambar 3.13 Diagram benda bebas pengujian : a. Tanpa sambungan, b. Sambungan dengan lem *epoxy*, c. Sambungan dengan 1 baut, d. Sambungan dengan 2 baut Berjarak 20 mm, e. Sambungan dengan 2 Baut Berjarak 30 mm.

Pada gambar 3.13 di atas merupakan diagram benda bebas untuk pengujian sambungan sejajar dan sambungan tarik geser ganda. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban yang sama pada arah berlawanan pada spesimen uji dengan menggunakan mesin uji tarik sampai spesimen uji mengalami kerusakan

3.5 Uji Kekuatan Sambungan Tarik Geser Ganda

3.5.1 Pembuatan spesimen uji

Sebelum dibuat menjadi spesimen, balok kayu terlebih dahulu dikeringkan untuk mendapatkan kadar air kering udara atau kadar air mencapai sekitar 10-15%. Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda menggunakan kayu bengkirai dibuat dengan ukuran 180 x 60 x 18 mm sebanyak 3 spesimen dengan ukuran pelat 6 x 60 x 60 mm sebanyak 12 buah. Penyambungan kayu pada pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda kayu dibuat seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.14 Gambar kerja spesimen kayu bengkirai untuk penyambungan kayu dengan pelat sambung.

Pada Gambar 3.14 penyambungan dilakukan secara mekanik dengan meletakkan pelat baja pada kedua sisi lebar balok yang akan disambung. Sebelum dilakukan penyambungan, kayu dan pelat baja dilubangi dengan menggunakan mesin *drill*. Pembuatan lubang pada pelat baja dan kayu disesuaikan dengan ukuran diameter baut yaitu 10 mm. Pemasangan baut dilakukan dengan menggunakan kunci

pas yang sesuai dengan ukuran baut sedangkan pengencangan baut dilakukan dengan menggunakan kunci torsi dengan variasi torsi pengencangan baut untuk masing-masing spesimen berbeda yaitu 15 Nm, 20 Nm, dan 25 Nm. Gambar 3.15 merupakan gambar spesimen uji untuk pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda kayu.



Gambar 3.15 Spesimen untuk pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda.

3.5.2 Pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda kayu

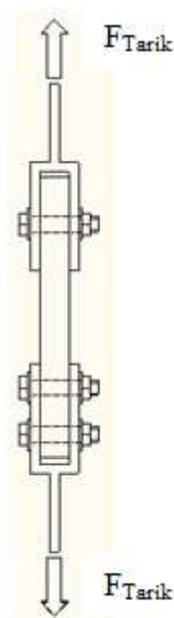
Sambungan geser ganda adalah sambungan yang dibuat antara batang kayu yang dijepit dengan pelat sambung (baja) pada kedua sisi lebar batang sebagai penopang alat sambung. Alat sambung (baut) dimasukkan melalui lubang yang ada pada pelat sambung dan batang kayu. Posisi alat sambung searah dengan tebal batang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* merk *Tarno Grocki* kapasitas 10 ton. Pengujian dilakukan dengan pemberian beban tarik pada sambungan geser ganda itu. Beban yang diberikan pada sambungan adalah gaya aksial yang arahnya searah dengan panjang batang kayu dan lateral yang arahnya tegak lurus dengan panjang alat sambung (seperti terlihat pada Gambar 3.16).



Gambar 3.16 Pengujian sambungan tarik geser ganda.

3.5.3 Diagram benda bebas pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda

Berikut merupakan gambar diagram benda bebas untuk pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda:



Gambar 3.17 Diagram benda bebas pengujian sambungan tarik geser ganda.

Pada gambar 3.17 di atas merupakan diagram benda bebas untuk pengujian kekuatan sambungan tarik geser ganda. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban yang sama pada arah berlawanan pada spesimen uji dengan menggunakan mesin uji tarik sampai spesimen uji mengalami kerusakan.

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Uji distorsi volume

- a. Pembuatan spesimen uji.
- b. Pemberian *coating* pada kayu.
- c. Pengeringan kayu sampai kadar air 10-15 %.
- d. Pengukuran volume kayu sebelum perendaman.
- e. Pengukuran volume kayu setelah perendaman.
- f. Analisa hasil pengujian.

3.6.2 Uji kekuatan sambungan sejajar kayu

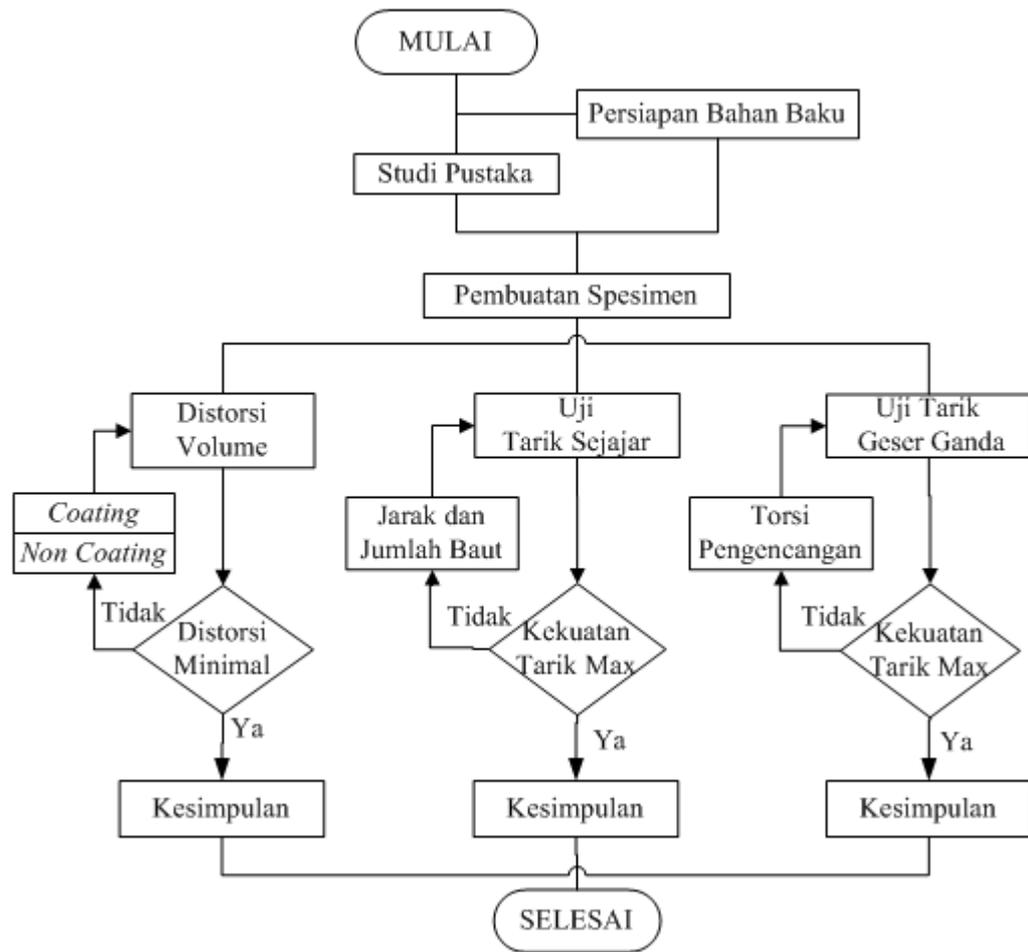
- a. Pengeringan kayu sampai kadar air 10-15%.
- b. Pembuatan spesimen uji.
- c. Pengujian tarik spesimen uji.
- d. Analisa hasil pengujian.

3.6.3 Uji kekuatan sambungan tarik geser ganda kayu

- a. Pengeringan kayu sampai kadar air 10-15%.
- b. Pembuatan spesimen uji.
- c. Pengujian tarik spesimen uji.
- d. Analisa hasil pengujian.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dalam penelitian ini adalah gambar dari rangkaian langkah-langkah dari sebuah proses pengujian. Terdapat tiga pengujian yaitu pengujian distorsi volume, pengujian kekuatan sambungan sejajar kayu, dan pengujian sambungan tarik geser ganda (seperti terlihat pada Gambar 3.18).



Gambar 3.18 Diagram alir penelitian