

BAB I

PENDAHULUAN

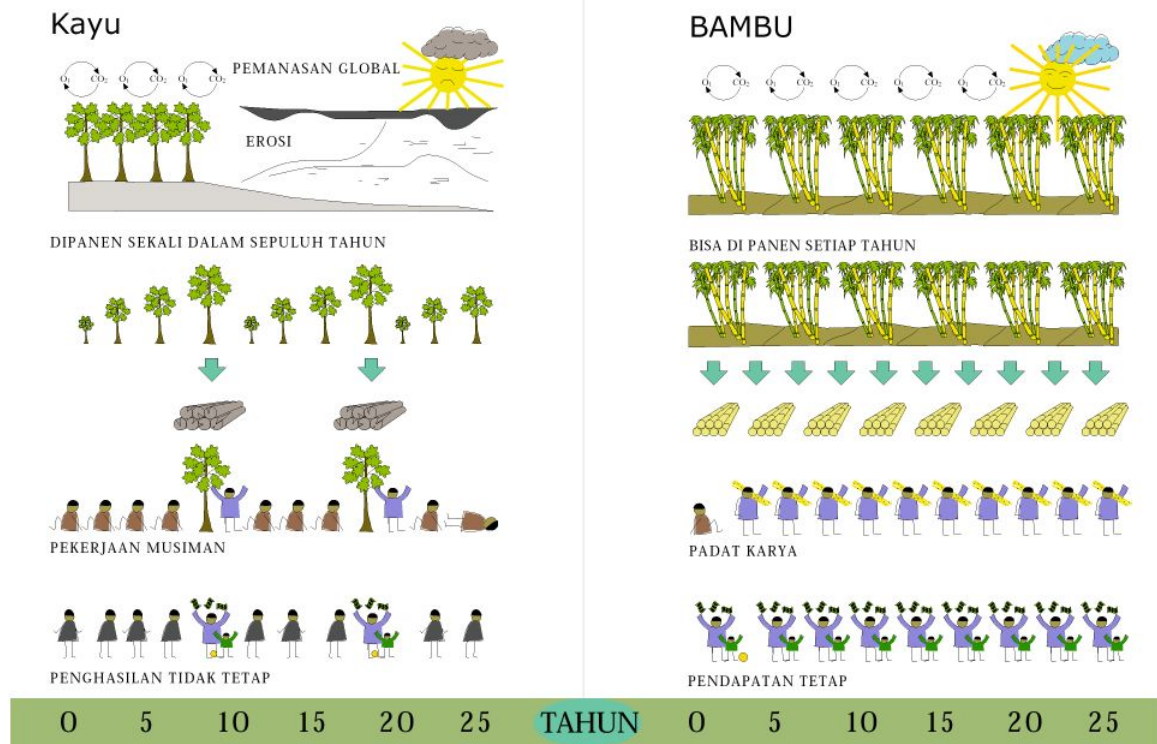
1.1. Latar Belakang Masalah

Kayu merupakan produk hasil alam yang berasal dari tumbuhan atau pepohonan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk berbagai kebutuhan seperti digunakan sebagai bahan pembentuk dan pelengkap struktur bangunan. Masyarakat telah lama mengenal penggunaan kayu dalam konstruksi bangunan seperti pada struktur kuda-kuda atau rangka rumah, struktur bangunan komersial, jembatan, dan struktur lainnya.

Namun kayu memiliki beberapa kelemahan yang menjadi kendala ketika kayu digunakan dalam struktur bangunan seperti kayu dapat mengalami kerusakan (*deteroration*) oleh serangan jamur, rayap, dan pengelolaan hutan sebagai sumber utama kayu tidak dilakukan secara berkesinambungan.

Seiring dengan meningkatnya perkembangan jumlah penduduk, kebutuhan akan perumahan meningkat pula, yang berarti juga mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan kayu. Kebutuhan kayu yang berlebihan akan dapat mengakibatkan penebangan kayu hutan dalam jumlah banyak dan membahayakan kelestarian hutan. Untuk menjaga kelestarian hutan, kiranya perlu dicari bahan bangunan lain sebagai pengganti kayu hutan, diantaranya adalah bambu (Morisco, 1999).

Selain itu bambu saat ini juga sebagai salah satu bahan meterial bangunan yang tepat digunakan karena pertumbuhan yang cepat dan pembudidayaan juga mudah (Laemlaksakul dan Talabgaew, 2007).



Gambar 1.1 Ilustrasi perbandingan penggunaan kayu dan bambu (Garland, 2003)

Gambar 1.1 diatas menceritakan perbandingan penggunaan kayu dan bambu dimana pada penggunaan kayu membutuhkan waktu yang lama untuk memanennya, karena kayu hanya dapat dipanen 10 tahun sekali. Sedangkan bambu dapat dipanen tiap tahun. Pekerjaan untuk kayu hanya ada pada waktu tertentu atau musiman sedangkan bambu bisa tiap tahun sehingga padat karya. Hal ini menyebabkan untuk pekerja kayu penghasilannya tidak tetap sedangkan pekerja bambu penghasilannya tetap.

Bambu merupakan salah satu material konstruksi yang tersebar di seluruh daerah tropis dan subtropis. Penggunaan bambu sudah banyak terlihat dalam konstruksi bangunan. Berdasarkan data, pemanfaatan bambu telah memberikan pendapatan, makanan dan perumahan pada lebih dari 2,2 milyar penduduk di seluruh dunia (Shupe T.F dkk, 2002)

Menurut Mishra 1988 (dalam Morisco 1996), beberapa keunggulan bambu yaitu:

- a. Bambu permukaannya halus, bersih, dan keras, memudahkan penggunaan tanpa banyak proses dan menghindari banyaknya bahan yang terbuang.
- b. Bambu mudah digunakan terutama dalam bentuk split (belah) dan diawetkan untuk meningkatkan umur pemakaiannya.
- c. Jika dibandingkan dengan beberapa jenis kayu untuk struktur, bambu memiliki kekuatan lebih bagus, sehingga cocok digunakan sebagai bahan konstruksi.

Pemakaian batang bambu bulat secara langsung dalam konstruksi bangunan dirasa masih kurang maksimal, karena hanya dapat digunakan untuk bagian bangunan tertentu. Untuk itu dikembangkan teknik pengolahan balok bambu dengan cara laminasi (*laminated bamboo*). Laminasi bambu adalah menggabungkan sejumlah lapisan bilah bambu menjadi satu kesatuan elemen balok struktur dengan panjang bentang dan dimensi penampang yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dalam penelitian ini akan mengkaji tentang *pengaruh model* susunan bilah bambu horisontal antara sisi bilah yang berlainan pada balok glulam bambu petung terhadap keruntuhan lentur.

1.3. Batasan Penelitian

Pada penelitian ini, tinjauan bahasan dibatasi pada:

- a. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung.
- b. Dimensi penampang bilah penyusun balok laminasi menyesuaikan ketebalan bambu petung yang digunakan.
- c. Bahan perekat yang digunakan adalah *Urea Formaldehida* (UF) yang

diproduksi oleh PT. Pamolite Adhesive Industry, Probolinggo, Jatim, selaku instansi pendukung dalam penelitian ini.

- d. Tekanan kempa yang digunakan 3 MPa.
- e. Jumlah perekat terlabur menggunakan 50/MDGL.
- f. Susunan bilah bambu yang digunakan adalah susunan bilah bambu horisontal antara sisi bilah yang berlainan (kulit-daging).

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan data awal sifat mekanik sampel material bambu petung berupa kuat tarik, kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, kuat geser sejajar serat, kuat lentur (MOR), modulus elastisitas bahan (MOE).
- b. Mendapatkan data-data beban maksimum dan proporsional yang dapat ditahan balok, besar lendutan balok dan besar kuat lentur yang terjadi.

1.5. Manfaat Penelitian

Mendapatkan data-data beban maksimum yang dapat ditahan balok, besar

- a. Memberikan bahan alternatif pengganti kayu.
- b. Ikut mengurangi penggunaan kayu yang berlebihan.
- c. Memberikan kontribusi dalam ilmu teknik sipil sehingga dapat bermanfaat dalam penelitian selanjutnya.
- d. Bambu dapat digunakan sebagai struktur balok laminasi yang mempunyai kuat tarik serta kuat lentur yang tinggi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Diskripsi Bambu

Bambu adalah tanaman yang dapat tumbuh dari daerah rendah sampai ke daerah pegunungan dengan ketinggian 3000 m dari permukaan laut. Di tempat terbuka dan bebas dari genangan air sangat cocok untuk pertumbuhan bambu. Bambu tumbuh sangat cepat, selama kurang lebih 2,5 tahun tinggi bambu mencapai 50 sampai 100 ft.

Bambu dapat disamakan dengan kayu karena sama-sama organisme natural yang memiliki kemampuan beradaptasi dengan lingkungan sekitar yang cukup baik. Tanaman ini dapat hidup di lingkungan tropis hingga subtropis dan dapat ditemukan hampir di semua benua (Zheng Kai MSc dan Chen Xuhe PhD, 2006).

Di alam terdapat ratusan macam bambu, tetapi hanya ada empat macam saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu dan yang umum dipasarkan di Indonesia, yaitu bambu petung, bambu tali, bambu duri dan bambu wulung (Frick, H, 2004).

2.2. Sifat Mekanika Bambu

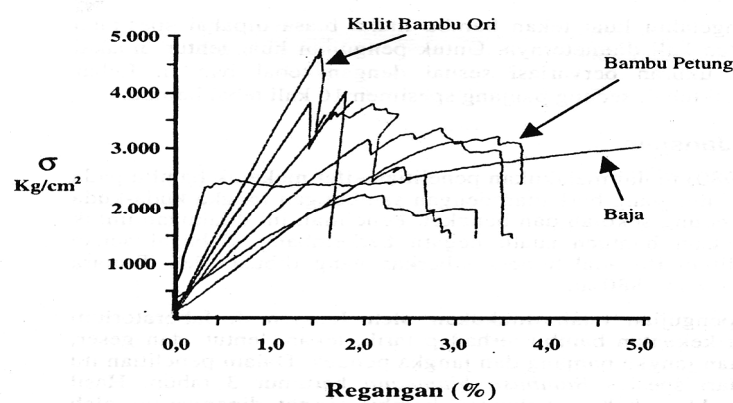
Sifat mekanika adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan dan merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya luar yang bekerja padanya. Sifat-sifat mekanika tersebut meliputi kekuatan lentur statis, kekuatan tarik, kekuatan geser, sifat kekerasan dan lain-lain.

Morisco (1994-1999) melakukan penelitian secara eksperimental, diawali dengan pengujian sifat mekanika bambu pada beberapa macam keadaan. Dari penelitian

didapat bahwa kuat tarik kulit bambu ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 5000 kg/cm^2 atau sekitar dua kali tegangan luluh baja.

Morisco (1999) memaparkan pengujian sifat mekanika yang ditunjukkan untuk membedakan kekuatan tarik sejajar sumbu batang pada bambu tanpa maupun dengan buku menunjukkan bahwa bambu tanpa buku lebih kuat dari pada dengan buku. Oleh karena itu buku bambu adalah bagian yang paling lemah terhadap gaya tarik sejajar sumbu batang. Selain itu kekuatan bambu juga dipengaruhi oleh posisinya, misalnya bagian pangkal, tengah atau ujung.

Dalam penelitian Morisco (1994-1999) memperlihatkan kekuatan tarik bambu dapat mencapai sekitar dua kali kekuatan tarik baja tulangan. Sebagai pembanding dipakai baja tulangan beton dengan tegangan luluh sekitar 240 MPa yang mewakili baja beton yang banyak terdapat di pasaran. Diperoleh hasil bahwa kuat tarik kulit bambu ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, sedang kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja, hanya satu spesimen yang mempunyai kuat tarik lebih rendah dari tegangan luluh baja. Hasil uji ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram tegangan-regangan bambu dan baja

(Sumber: Morisco, 1999)

2.3. Bambu Petung

Bambu petung di Indonesia dikenal dengan nama botani *Dendrocalamus sp.* Di berbagai daerah, bambu yang termasuk jenis ini dikenal dengan nama buluh petong, buluh swanggi, bambu batueng, pering betung, betong, bula lotung, awi bitung, jajang betung, pring petung, pereng petong, tiing petung, bulo paturig dan awo petung.

Bambu petung atau dengan nama latin *Dendrocalamus sp.*, atau juga dikenal dengan nama titing petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi dan lain-lain (morisco, 1999) merupakan bambu yang amat kuat dengan jarak ruas pendek, dinding tebal, memiliki rumpun yang agak rapat dan tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 200 m. Pada umumnya bambu petung memiliki panjang 10-14 m, dengan panjang ruas 40-60 cm, diameter 6-15 cm, tebal 10-15 cm, warna hijau kekuningan.

2.4 Balok Laminasi (*Glue Laminated*)

Struktur balok laminasi (*glued laminated timber*) mulai diperkenalkan di Eropa pada akhir abad ke 19, berupa lapisan-lapisan kayu gergajian (*lumber*) yang dilekatkan dengan resin tertentu sehingga semua lapisan kayu gergajian seratnya sejajar pada arah memanjang (Breyer, 1998).

Glued laminated timber association (Darmayadi, 2004) menjabarkan keuntungan dari penggunaan glulam pada bidang konstruksi yaitu:

- a. Mempunyai kemampuan untuk dapat dibuat dalam berbagai ukuran dan dapat dipergunakan untuk bentuk lengkung (*curved*).
- b. Tidak memerlukan lapisan pelindung, sehingga waktu pengerjaan dan biaya lebih murah.

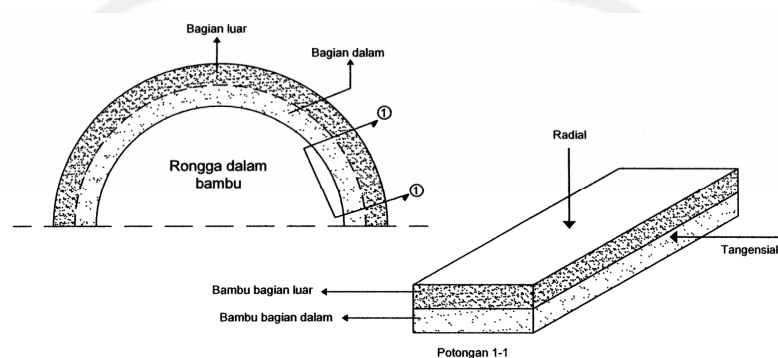
- c. Balok glulam dapat dipergunakan untuk bentang panjang yang lebih dari 50 meter, lebar dan bentuk dari glulam biasanya dibatasi oleh kapasitas dari tempat pembuatan.
- d. Mempunyai kekuatan yang sesuai dengan rasio beratnya dibandingkan dengan baja atau beton, dengan dapat mengurangi berat dari struktur maka pada akhirnya akan mengurangi ukuran pondasi.
- e. Memiliki keunggulan tahan terhadap api. Balok glulam memiliki kemampuan yang tinggi dan kemampuan yang diprediksi terhadap pengaruh api.
- f. Balok glulam mempunyai ketahanan terhadap korosi juga terhadap serangan bahan kimia.

Mengacu pada ASTM D1 3727-92 balok laminasi dibedakan menjadi dua yaitu : balok laminasi horisontal (*horizontally laminated*) dan balok laminasi vertikal (*vertically laminated*). Balok laminasi horisontal didefinisikan sebagai balok laminasi yang didesain untuk menahan beban lentur yang berarah tegak lurus lebar permukaan papan lapisan dan balok laminasi vertikal adalah balok laminasi yang didesain untuk menahan beban lentur yang berarah sejajar bidang lebar papan lapisan penyusun.

Percobaan yang dilakukan oleh oleh Widjaja (1995) terhadap Bambu Ori dan Bambu Petung menunjukkan bahwa jenis bambu yang dipergunakan dalam pembuatan lamina sangat mempengaruhi kekuatan lamina dan tidak berarti bahwa satu jenis bambu memiliki kekuatan yang lebih tinggi secara keseluruhan dari jenis bambu yang lain. Kekuatan tarik akan lebih dipengaruhi oleh jumlah nodia, kekuatan tekan dipengaruhi oleh jenis bambu yang dipakai. Kekuatan lentur dan geser lamina tergantung dari jenis bambu dan jumlah perekat terlabur.

Agus Setiya Budi (2006) meneliti pengaruh dimensi bilah, jenis perekat dan tekanan kempa terhadap keruntuhan lentur balok laminasi bambu peting, dan Anita Mardiana Agus Salim (2006) meneliti pengaruh variasi dimensi bilah bambu, jenis perekat dan tekanan kempa terhadap keruntuhan lentur balok laminasi bambu petung.

Menurut Nasriadi (2002), untuk menjelaskan penyebab terjadinya peningkatan kuat lentur pada balok laminasi, dapat dilihat pada gambar 2.2). Bagian yang terkuat pada bambu adalah bagian terluar terutama kulit. Kekuatan bambu bagian luar (kulit) ini sangat jauh lebih tinggi dari kekuatan bambu bagian dalam. Pembebanan pada balok laminasi vertikal adalah pada arah tangensial, sehingga yang menjadi kontrol terhadap kekuatan adalah bambu bagian luar. Hal ini menyebabkan kekuatan rata-ratanya menjadi tinggi. Gambar 2.2 berikut menjelaskan pembebanan arah radial dan arah tangensial.



Gambar 2.2 Pembebanan arah radial dan tangensial pada bambu

Kekuatan lentur adalah kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan batang bambu atau menahan muatan mati atau hidup. Bambu merupakan bahan yang elastis, maka lendutan yang terjadi sesuai kekuatan bahan menjadi agak tinggi (rata-rata $1/20$). Hal ini perlu diperhatikan pada pembangunan gedung, di mana lendutan konstruksi biasanya tidak boleh melebihi $1/300$ dari lebar bentang.

Kekuatan lentur bambu biasanya dinyatakan dalam modulus retak (Modulus of Rupture : MOR) yang merupakan tegangan tertinggi dibagian serat paling luar bambu ketika gelagar retak/patah karena beban yang dikenakan secara berangsur-angsur selama beberapa menit. MOR bervariasi antara 68,6-294 MPa. (Morisco, 1999).

2.5 Perekatan

Perekatan berfungsi sebagai penggabung antara dua substrat yang akan direkat (Prayitno, 1996). Kualitas penggabungan ini biasanya mampu melebihi daya kohesi kayu (substrat) bila cara-cara perekatan diikuti sesuai dengan prosedur yang telah dikeluarkan oleh pabrik-pabrik pembuat perekat yang sedang dipergunakan. Prayitno (1996) menyatakan beberapa faktor yang mempengaruhi dalam perekatan kayu antar lain adalah faktor perekat, faktor yang direkat, teknik perekatan, cara pengujian, aplikasi bahan. Faktor perekat dipengaruhi oleh bahan pengisi (*filler*), bahan pengembang (*extender*), bahan pengeras (*hardener*), bahan pengawet, bahan tahan api dan lain sebagainya. Adapun faktor bahan yang direkat dipengaruhi oleh struktur anatomi bahan, masa jenis, kadar air, sifat permukaan dan lain-lain.

Di Indonesia dijumpai beberapa jenis perekat yang populer yang dipergunakan saat ini, yaitu bahan kimia yang diperoleh dari bahan-bahan minyak bumi seperti *phenol formaldehida*, *resorsinol formaldehida*, *urea formaldehida*, *melamin formaldehida* (Prayitno, 1994). Salah satu perekat yang sering digunakan dalam penelitian adalah *Urea formaldehida (UF)*.

Urea Formaldehida (UF) merupakan bahan berwarna putih dan encer. Perekat jenis ini bila dipergunakan secara betul dengan mengikuti petunjuk pemakaian akan mempunyai kemampuan untuk membentuk garis perekat yang bersifat antara lain hanya tahan terhadap pengaruh cuaca di dalam rumah dan segera akan menampakan kegagalan perekatan bila dipergunakan di luar rumah, tidak tahan terhadap suhu dan kelembababan yang ekstrim, tidak bersifat beracun dan tidak mudah terbakar. Bentuk dari perekat ini berupa larutan atau cairan yang mempunyai sifat tidak stabil dalam penyimpanannya karena sangat terpengaruh dengan keadaan luar sehingga dalam penyimpanannya harus pada tempat yang mempunyai pengatur suhu dan kelembaban rumah (Prayitno, 1994).

Pengempaan perekatan atau rakitan perekatan bertujuan untuk menempelkan lebih rapat (*bringing into a close contact*) sehingga garis perekat dapat terbentuk serata dan sepejal mungkin dengan ketebalan yang setipis mungkin (Prayitno, 1996). Oleh karenanya penekanan rakitan yang cukup kuat dan seragam serta homogen pada semua permukaan bahan direkat sangat penting dan diharuskan. Pengempaan ini mengakibatkan pula penekanan perekat agar mengalir sisi (*flow*) atau meresap kedalam bahan direkat (*penetration*) dengan meninggalkan sebagian perekat yang tetap berada dipermukaan bahan direkat dalam bentuk film perekat yang kontinyu (bersambungan) dan dilanjutkan pengerasan perekat untuk menahan ikatan permukaan agar tetap kuat oleh Brown dkk (1952) dalam Prayitno (1996). Besar pengempaan yang sering direkomendasikan untuk perekatan kayu adalah sebesar 100-200 psi dan tebal garis perekat untuk perekat UF setebal 0,002 in oleh Selbo (1975) dalam Prayitno (1996).

Dalam perekatan dengan bahan porus memerlukan alat pengempaan. Proses pengempaan dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe pengempaan dingin dan tipe pengempaan panas. Pengempaan dingin lebih unggul dibandingkan tipe pengempaan panas karena lebih murah pada ongkos dan dapat dilaksanakan pada produk laminasi struktural (Prayitno, 1996).

2.6. Pengempaan

Pengempaan perekatan atau rakitan perekatan bertujuan untuk menempelkan lebih rapat (*bringing into a close contact*) sehingga garis perekat dapat terbentuk serata dan sepejal mungkin dengan ketebalan yang setipis mungkin, oleh Selbo (1975) dalam Prayitno, (1996). Penekanan rakitan yang cukup kuat dan seragam serta homogen pada semua permukaan bahan direkat sangat penting dan diharuskan. Pengempaan ini mengakibatkan pula penekanan perekat agar mengalir sisi (*flow*) atau meresap kedalam bahan direkat (*penetration*) dengan meninggalkan sebagian perekat yang tetap berada dipermukaan bahan direkat dalam bentuk film perekat yang kontinyu (bersambungan) dan dilanjutkan pengerasan perekat untuk

menahan ikatan permukaan agar tetap kuat oleh Brown dkk (1952) dalam Prayitno (1996). Besar pengempaan yang sering direkomendasikan untuk perekatan kayu adalah sebesar 100-200 psi dan tebal garis perekat untuk perekat UF setebal 0,002 in oleh Selbo (1975) dalam Prayitno (1996).

2.7. Kerusakan Pada Balok

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Widjaya (1995) terhadap dua jenis bambu yaitu ori dan petung, menunjukkan bahwa jenis bambu mempengaruhi tingkat kekuatan dari balok laminsi sehingga tidak berarti satu jenis bambu memiliki kekuatan yang lebih tinggi secara keseluruhan dari jenis bambu yang lainnya. Kekuatan tarik akan lebih dipengaruhi oleh jumlah ruas, kekuatan tekan dan lentur akan lebih dipengaruhi oleh jenis bambu yang digunakan sedangkan kekuatan geser dipengaruhi oleh jumlah perekat terlabur.

Menurut Yasin (2003) dalam Yuniza (2005) terdapat dua kemungkinan kerusakan pada balok laminasi yaitu kerusakan karena lentur dan kerusakan karena geser. Pada umumnya kerusakan geser terjadi karena ketidaksempurnaan lekatan, untuk itu perlu diperhatikan daya lekat tiap lapisan sehingga tidak terjadi kerusakan geser karena kuat geser bambu tidak dapat diandalkan. Balok diusahakan mempunyai tampang simetris untuk mendapatkan kerusakan lentur dan apabila memiliki sambungan maka sambungan tersebut diharapkan mampu menahan lentur.

2.8. Klasifikasi Kekuatan Kayu

Dalam hal ini untuk mengetahui layak atau tidaknya balok laminasi bambu sebagai alternatif pengganti kayu, dari hasil uji pendahuluan dan kekuatan balok laminasi akan diklasifikasikan ke dalam jenis kelas kuat kayu. Sebagai acuan dapat dilihat dalam tabel hubungan berat jenis kayu dengan kekuatan kayu pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hubungan berat jenis kayu dengan kekuatan kayu

Kelas kuat	Berat jenis kering udara	Kekuatan lentur mutlak (kg/cm ²)	Kekuatan tekan mutlak (kg/cm ²)
I	> 0,9	> 1100	> 650
II	0,9 - 0,6	1100 - 725	650 - 45
III	0,6 - 0,4	725 - 500	425 - 300
IV	0,4 - 0,3	500 - 350	300 - 215
V	< 0,3	< 350	< 215

Sumber : PKKI 1961

Selain menjelaskan tentang hubungan berat jenis kayu dengan kekuatan kayu dalam PKKI 1961 juga menjelaskan macam-macam kayu di Indonesia berdasarkan kelas awet dan kelas kuat. Tabel 2.2. berikut menunjukkan macam-macam kayu berdasarkan kelas kuat dan kelas awet.

Tabel 2.2. Macam-macam kayu berdasarkan kelas kuat dan kelas awet.

No.	Nama dalam perdagangan	Kelas Kuat	BD Kering Udara (gr/cm ³)			Kelas Awet
			minimum	maksimum	rata-rata	
1.	Duren	II-III	0,42	0,91	0,64	IV-V
2.	Cemara	I-II	0,79	1,16	1,02	II-III
3.	Kranji	I-II	0,84	1,04	0,93	I
4.	Bangkirai	I-II	0,6	1,16	0,91	I-II
5.	Keruing	(I)-II	0,51	1,01	0,79	III
6.	Meranti Putih	II-IV	0,29	0,96	0,54	II-III
7.	Meranti Merah	II-III	0,29	1,09	0,55	II-III
8.	Ulin, borneo atau pelembang kayu besi	I	0,88	1,19	1,04	I
9.	Mahoni	II-III	0,56	0,72	0,64	III
10.	Jati	II	0,59	0,82	0,7	I-(II)

Sumber : PKKI 1961

Selain acuan klasifikasi kuat kayu diatas, sebagai pedoman pengklasifikasian balok laminasi bambu petung dapat juga dipakai SNI-05 2002 yaitu kuat acuan berdasarkan atas pemilahan secara mekanis. Dimana tabel nilai kuat acuan dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3. Nilai kuat acuan (MPa) berdasarkan atas pemilahan secara mekanik pada kadar air 15 %.

Kode Mutu	Modulus Elastisitas Lentur Ew	Kuat Lentur Fb	Kuat Tarik Sejajar Serat Ft//	Kuat Tekan Sejajar Serat Fc//	Kuat Geser Fv	Kuat Tekan Tegak lurus Serat Fc [⊥]
E26	25000	66	60	46	6,6	24
E25	24000	62	58	45	6,5	23
E24	23000	59	56	45	6,4	22
E23	22000	56	53	43	6,2	21
E22	21000	54	50	41	6,1	20
E21	20000	50	47	40	5,9	19
E20	19000	47	44	39	5,8	18
E19	18000	44	42	37	5,6	17
E18	17000	42	39	35	5,4	16
E17	16000	38	36	34	5,4	15
E16	15000	35	33	33	5,2	14
E15	14000	32	31	31	5,1	13
E14	13000	30	28	30	4,9	12
E13	12000	27	25	28	4,8	11
E12	11000	23	22	27	4,6	11
E11	10000	20	19	25	4,5	10
E10	9000	18	17	24	4,3	9

Sumber : SNI-05 2002

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1. Sifat Mekanika Bambu

a. Perhitungan Kadar Air Bambu

Pengujian kadar air bambu berdasarkan prosedur ISO 3130-1975 dengan ukuran benda uji $t \times 20 \times 20$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$Ka = \frac{W_b - W_a}{W_a} 100\% \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan: Ka = Kadar air bambu (%)
 W_b = Berat benda uji sebelum di oven (gram)
 W_a = Berat benda uji kering oven (gram)

b. Perhitungan Berat Jenis Bambu

Perhitungan besarnya berat jenis kering tanur bambu dipergunakan Persamaan 3.2.

$$BJ = \frac{W_a}{G_b} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan: BJ = Berat jenis bambu
 W_a = Berat benda uji kering oven (gram)
 G_b = Berat air yang volumenya sama dengan volume benda uji kering oven (gram)

c. Kerapatan

Pengujian kerapatan bambu berdasarkan prosedur ISO 3131-1975 dengan ukuran benda uji $t \times 20 \times 20$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.3.

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan: ρ_w = Kerapatan bambu pada kadar air w (gram/cm³)
 m_w = Massa bambu pada kadar air w (gram)
 V_w = Volume bambu pada kadar air w (cm³)

d. Kuat Tekan Sejajar Serat

Pengujian kuat tekan sejajar serat bambu berdasarkan prosedur ISO 3132-1975 dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 60$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$\sigma_{tk //} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan: $\sigma_{tk //}$ = Kuat tekan sejajar serat (MPa)
 P_{maks} = Gaya tekan maksimal bambu (N)
 A = *tebal x lebar* = luas bidang yang tertekan (mm^2)
dari benda uji

e. Kuat Tekan Tegak Lurus Serat

Pengujian kuat tekan tegak lurus serat bambu berdasarkan ISO 3132-1975 (E) dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 60$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.5.

$$\sigma_{tk \perp} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan: $\sigma_{tk \perp}$ = Kuat tekan tegak lurus serat (MPa)
 P_{maks} = Gaya tekan maksimal bambu (N)
 A = *tebal x panjang* = luas bidang yang tertekan(mm^2)
dari benda uji

f. Kuat Geser Sejajar Serat

Pengujian kuat geser sejajar serat bambu berdasarkan ISO/DIS 3347 dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 20$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.6.

$$\tau // = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan: $\tau //$ = Kuat geser sejajar serat (MPa)
 P_{maks} = Gaya geser maksimal bambu (N)
 A = *tebal x panjang* = luas bidang yang tergeser(mm^2) dari benda uji.

g. Kuat Tarik Sejajar Serat

Pengujian kuat tarik sejajar serat bambu berdasarkan prosedur ISO 3346-1975 (E) dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 20$ mm. Ditengah benda uji dibuat irisan lengkung setipis mungkin supaya terjadi kerusakan pengujian di daerah tersebut. Pengujian kuat tarik sejajar serat dan dihitung menggunakan Persamaan 3.7.

$$\sigma_{tr//} = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

$\sigma_{tr//}$ = Kuat tarik sejajar serat (MPa)

P_{maks} = Gaya tarik maksimal bambu (N)

A = *tebal x lebar* = luas bidang yang tertarik (mm^2)
dari benda uji.

h. Modulus of Rapture (MOR)

Pengujian MOR bambu berdasarkan prosedur ISO 3133-1975 (E) dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 280$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.8.

$$MOR = \frac{3P_{maks}L}{2bt^2} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan:

MOR = Modulus lentur bambu (MPa)

P_{maks} = Beban maksimum (N)

L = Panjang (mm)

b = Lebar bambu (mm)

t = Tebal bambu (mm) dari benda uji.

i. Modulus of Elasticity (MOE)

Pengujian MOE bambu berdasarkan prosedur ISO 3349-1975 dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 280$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.9.

$$MOE = \frac{PL^3}{4bt^3\delta} \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:	MOE	= modulus elastisitas bambu (MPa)
	P_{maks}	= beban maksimum (N)
	L	= panjang (mm)
	b	= lebar bambu (mm)
	t	= tebal bambu (mm)
	δ	= lendutan proporsional dari benda uji

3.2. Perekatan Laminasi Bambu

Prayitno (1996), menyatakan beberapa faktor yang mempengaruhi dalam perekatan kayu antara lain adalah faktor perekat, faktor bahan yang direkat, teknik perekatan, cara pengujian dan aplikasi bahan. Faktor perekat dipengaruhi oleh bahan pengisi (*filler*), bahan pengembang (*extender*), bahan pengeras (*hardener*), bahan pengawet, bahan tahan api dan lain sebagainya. Adapun faktor bahan yang direkat dipengaruhi oleh struktur anatomi bahan, massa jenis, kadar air, sifat permukaan dan lain-lain.

Beberapa jenis bahan perekat yang dipergunakan pada struktur kayu laminasi antara lain: casein, urea formaldehyde, phenol formaldehyde, phenol-resorcinol formaldehyde, dan melamine-urea formaldehyde. Pemilihan jenis bahan perekat sangat ditentukan oleh banyak hal seperti: kekuatan rekatan (bond strength), penggunaan struktur (*indoor-use* atau *outdoor-use*), dan kemudahan proses perekatannya (Awaludin, A dan Irawati, I.S., 2005).

Banyaknya perekat dalam laminasi harus diperhitungkan dengan cermat. *Glue spread* adalah jumlah perekat yang dilaburkan persatuan luas permukaan bidang rata. Menurut Prayitno (1996) terdapat dua cara pelaburan, cara pertama yaitu MSGL atau pelaburan satu sisi. Pada cara ini perekat hanya dilaburkan pada satu permukaan saja dari bahan yang direkatkan. Cara yang kedua yaitu MDGL atau pelaburan dua sisi. Pada cara ini perekat dilaburkan pada kedua permukaan bahan yang direkatkan sehingga kedua bahan yang akan direkatkan dilapisi dengan perekat sebelum direkatkan, cara ini memerlukan perekat tambahan sebanyak

20%. Model MDGL ini memiliki kecenderungan peningkatan kekuatan rekatan. Jumlah perekat terlabur dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.10.

$$GPU = \frac{SA}{2048,2} \dots\dots\dots(3.10)$$

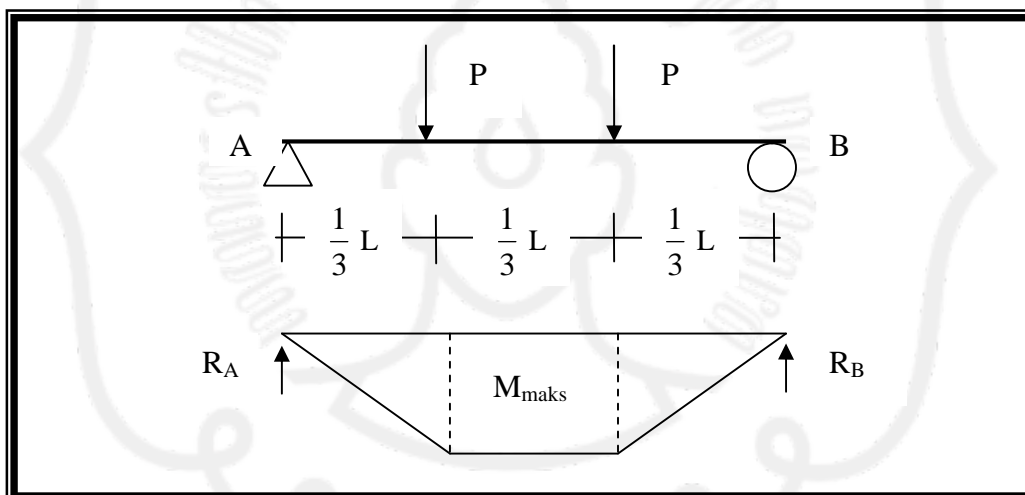
dengan : GPU = Gram Pick UP (gram),

: S = perekat yang dilaburkan (gram/MSGGL atau gram/MDGL), dan

: A = Bidang yang direkatkan (cm²).

3.3. Perancangan Balok Laminasi

Dalam teori mekanika untuk tegangan geser balok tampang segi empat yang dibebani gaya transversal statik akan timbul tegangan dan regangan internal, sebagai bentuk perilaku perlawanan balok (Timosenko dan Gere, 1996).

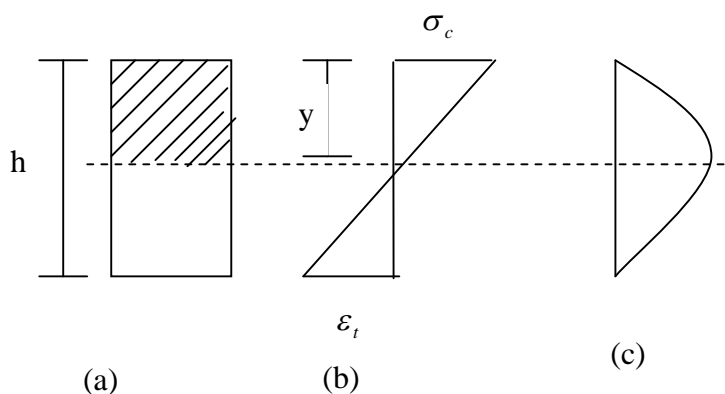


Gambar 3.1. Pembebanan Balok

Berdasarkan kondisi pembebanan pada Gambar 3.1 diatas diperoleh nilai M_{maks} dengan Persamaan 3.11-3.12 berikut :

$$R_A = V_A = P \text{ dan } R_B = V_B = P \dots\dots\dots(3.11)$$

$$M_{maks} = \frac{1}{3} P.L \dots\dots\dots(3.12)$$



Gambar 3.2. (a) Penampang balok
 (b) Diagram tegangan-regangan
 (c) Distribusi tegangan geser

Hubungan tegangan-regangan seperti pada Gambar 3.2. terhadap perilaku balok yang dibebani dengan arah transversal sumbu longitudinal diperoleh:

$$\sigma = \frac{M y}{I} \dots\dots\dots(3.13)$$

- Keterangan: σ = Tegangan normal akibat lentur (MPa)
 M = Momen lentur (N.mm)
 I = Mersia penampang (mm⁴)
 y = Jarak antara titik yang ditinjau dengan garis netral penampang (mm)

Persamaan 3.13 dapat dikembangkan untuk menentukan nilai beban maksimum dan dapat uraikan dari Persamaan 3.14-3.17 berikut :

$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \dots\dots\dots(3.14)$$

$$P \cdot \frac{1}{3} L = \frac{\sigma \cdot I}{y} \dots\dots\dots(3.15)$$

$$\frac{L}{3} = \frac{\sigma \cdot I}{P \cdot y} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$P = \frac{3\sigma \cdot l}{L \cdot y} \dots\dots\dots(3.17)$$

Tegangan geser yang terjadi pada balok laminasi dihitung dengan Persamaan 3.18.

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \dots\dots\dots(3.18)$$

Keterangan: τ = tegangan normal akibat lentur (MPa)

V = gaya geser (N)

b = lebar balok (mm)

I = momen inersia (mm⁴)

= $\frac{1}{12}bh^3$ untuk penampang segi empat

Q = momen pertama (statis momen) penampang

= $b \cdot \left(\frac{1}{2}h\right) \cdot \left(\frac{1}{2}y\right) = b \cdot \left(\frac{1}{2}h\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}h\right) = \frac{1}{8}bh^2$

Penentuan besarnya tegangan geser dan momen lentur dapat dihitung dengan prinsip keseimbangan statik. Perhitungan kesetimbangan statik balok tertumpu sederhana untuk kondisi pembebanan seperti pada Gambar 3.1. dapat diperoleh Persamaan 3.19 dan 3.20 berikut :

$$\tau = \frac{v \cdot Q}{Ib} = \frac{P \cdot Q}{Ib} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$P = \frac{\tau \cdot I \cdot b}{Q} \dots\dots\dots(3.20)$$

Sehingga diperoleh panjang kritis balok glulam saat terjadi geser dan lentur dan penjelasan perhitungannya dapat dilihat pada persamaan 3.21-3.25 berikut :

$$\frac{3 \cdot \sigma \cdot I}{L \cdot y} = \frac{\tau \cdot I \cdot b}{Q} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$\frac{3 \cdot \sigma \cdot I}{L \cdot y} = \frac{\tau \cdot I \cdot b}{\frac{1}{8} \cdot b \cdot h} \dots\dots\dots(3.22)$$

$$\frac{3\sigma}{L \cdot \frac{1}{2} \cdot h} = \frac{8\tau}{h} \dots\dots\dots (3.23)$$

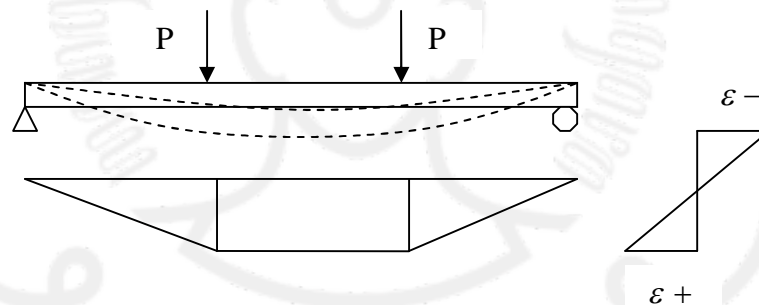
$$\frac{6\sigma}{L} = \frac{8\tau}{h} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$L_{cr} = \frac{6 \cdot \sigma \cdot h}{8 \cdot \tau} \dots\dots\dots (3.25)$$

3.4. Sifat Mekanika Balok Laminasi

3.4.1 Kuat Lentur Balok Laminasi

Balok merupakan suatu batang yang dominan dikenai beban lateral. Akibat beban tersebut maka balok akan mengalami tegangan yang terdistribusi secara linier pada penampang balok tersebut. Balok yang mengalami lentur akibat momen pada Gambar 3.3, maka penampangnya akan berputar satu terhadap yang lainnya sehingga serat bagian atas memendek sedangkan bagian bawah memanjang.



Gambar 3.3. Perilaku Lentur Balok

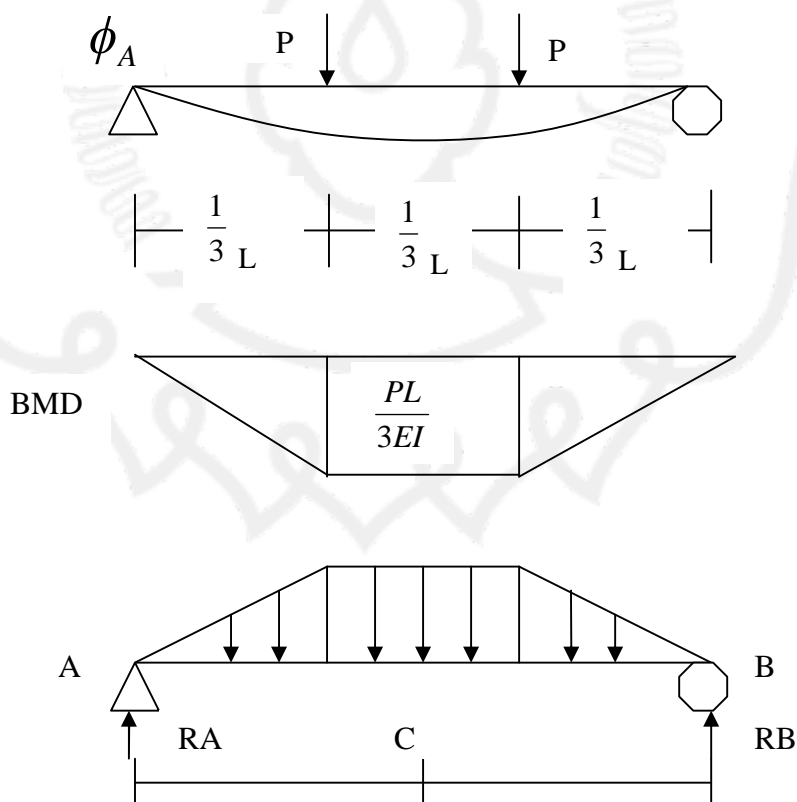
3.4.2 Modulus of rupture (MOR) dan Modulus elastisitas (MOE)

Kekuatan balok sangat dipengaruhi oleh hubungan antara tegangan tekan dan tegangan tarik pada arah sejajar serat. Tegangan lentur maksimum yang terjadi pada balok bambu disebut MOR. Nilai MOR tersebut dipengaruhi oleh kapasitas tarik dan tekan penampang balok, yang diperoleh dengan perhitungan kekuatan lentur balok yang diberi beban terpusat pada sepertiga bentang ditunjukkan pada Persamaan 3.26.

$$MOR = \frac{M \cdot h_1}{I} \dots\dots\dots (3.26)$$

- dengan
- MOR = modulus lentur balok (MPa),
 - M = momen maksimum balok (N.mm),
 - h_1 = jarak sumbu netral keserat terluar bagian atas balok (mm),
 - I = momen inersia tertransformasi (mm⁴)

Penentuan kekakuan balok laminasi dengan menggunakan nilai MOE yang terjadi pada balok. Nilai modulus elastisitas adalah ukuran ketahanan balok terhadap perpanjangan bila mengalami tarik atau tekan selama proses pembebanan berlangsung dengan kecepatan pembebanan yang konstan. Perhitungan untuk modulus elastisitas bambu untuk pengujian di LAB PAU dengan menggunakan sistem beban *four point* dimana beban terletak pada 1/3 bentang seperti terlihat pada Gambar 3.4, maka untuk mencari besarnya MOE digunakan Persamaan 3.27-3.31.



Gambar 3.4. Diagram Momen dan Lendutan

$$R_A = \varphi_A = \frac{PL}{3EI} \cdot \frac{L}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{L}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{PL}{3EI} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$= \frac{PL^2}{18EI} + \frac{PL^2}{18EI} = \frac{PL^2}{9EI} \dots\dots\dots(3.28)$$

$$\delta_{maks} = RA \cdot \frac{L}{2} - \frac{PL^2}{18EI} x \left(\frac{1}{2} x \frac{L}{3} + \frac{1}{3} x \frac{L}{3} \right) - \frac{PL^2}{18EI} x \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} x \frac{L}{3} \right) \dots\dots\dots(3.29)$$

$$\delta = \frac{PL^3}{18EI} - \frac{5PL^3}{324EI} - \frac{PL^3}{216} = \frac{23PL^3}{648EI} \dots\dots\dots (3.30)$$

$$MOE = \frac{23.P L^3}{648I \delta} \dots\dots\dots (3.31)$$

3.4.3. Tipe Keruntuhan Balok Laminasi

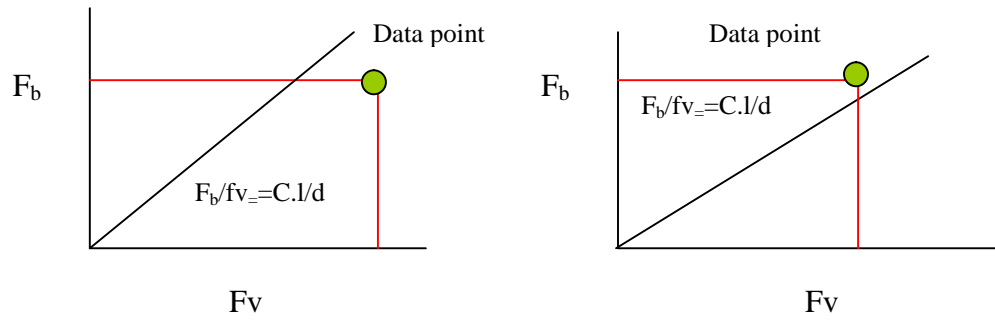
Ditentukan menggunakan konsep rasio L/d (Soltis, dkk.,1997). Berdasarkan pada Gambar 3.5 dan Persamaan 3.32-3.34, maka dapat diketahui tipe keruntuhan yang terjadi pada balok laminasi.

$$\frac{f_b}{f_v} = C \cdot \frac{L}{d} \dots\dots\dots (3.32)$$

$$\text{dengan } f_b = \frac{M \cdot y_a}{I} \text{ (kuat lentur balok)} \dots\dots\dots (3.33)$$

$$f_v = \frac{V \cdot Q_c}{Ib} \text{ (kuat geser balok)} \dots\dots\dots (3.34)$$

Selanjutnya nilai kuat lentur dan kuat geser hasil pengujian atau hasil perhitungan dengan cara analitis diposisikan terhadap garis C. L/d sehingga dapat ditentukan jenis keruntuhan balok yang terjadi. Apabila titik pertemuan antara kuat lentur dan kuat geser berada pada zona lentur maka terjadi keruntuhan lentur dan sebaliknya bila titik pertemuan antara kuat lentur dan kuat geser berada pada zona geser maka terjadi keruntuhan geser, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5 berikut.



(a) Keruntuhan lentur

(b) Keruntuhan geser

Gambar 3.5 Pola Keruntuhan Balok



