

BAB I

SIFAT DAN JENIS KAYU

A. PENGERTIAN TENTANG STRUKTUR KAYU.

Struktur kayu merupakan suatu struktur yang elemen susunannya adalah kayu. Dalam perkembangannya, struktur kayu banyak digunakan sebagai alternatif dalam perencanaan pekerjaan-pekerjaan sipil, diantaranya adalah : rangka kuda-kuda, rangka dan gelagar jembatan, struktur perancah, kolom, dan balok lantai bangunan.

Pada dasarnya kayu merupakan bahan alam yang banyak memiliki kelemahan struktural, sehingga penggunaan kayu sebagai bahan struktur perlu memperhatikan sifat-sifat tersebut. Oleh sebab itu, maka struktur kayu kurang populer dibandingkan dengan beton dan baja. Akibatnya saat ini terdapat kecenderungan beralihnya peran kayu dari bahan struktur menjadi bahan pemerindah (dekoratif).

Namun demikian pada kondisi tertentu (misalnya : pada daerah tertentu, dimana secara ekonomis kayu lebih menguntungkan dari pada penggunaan bahan yang lain) peranan kayu sebagai bahan struktur masih digunakan.

B. BENTUK DAN KEGUNAAN KAYU.

Sebagai bahan struktur kayu mempunyai berbagai kekuatan, khususnya dalam :

1. Menahan Tarikan.

Kekuatan terbesar yang dapat ditahan oleh kayu adalah sejajar arah serat, sedangkan kekuatan tarikan tegak lurus arah serat lebih kecil dari pada sejajar serat.

2. Menahan Tekanan (Desak).

Kayu juga dapat menahan beban desak, baik tekanan sejajar serat maupun tegak lurus serat, misalnya sebagai bantalan kereta api. Daya tahan desak tegak lurus serat lebih kecil bila dibandingkan dengan sejajar serat.

3. Menahan Lenturan.

Besarnya daya tahan kayu terhadap lenturan tergantung pada jenis kayu, besarnya peampang kayu, berat badan, lebar bentangan, sehingga dengan dapatnya kayu menaan lenturan maka dapat menahan beban tetap meupun beban kejut/pukulan.

Sebagai bahan struktur kayu biasanya diperdagangkan dengan ukuran tertentu dan dipakai dalam bentuk balok, papan, atau bentangan bulat, (berdasarkan SK-SNI-03-2445-1991).

1. Balok

- Untuk kuda-kuda / batang struktur (cm) : 8 x (8, 10, 12, 15, 18),
10 x (10, 12, 15, 18).
- Balok antar tiang (cm) : 4 x (6, 8); 6 x (8, 12, 15);
8 x (12, 15, 18), 10 x (12, 15).
- Untuk kusen pintu dan jendela (cm) : 6 x (10, 12, 13, 15) ; 8 x (10, 12, 15).
- Balok langit (cm) : 8 x (12, 15, 18, 20); 10 x (15, 18, 20).
- Tiang balok (cm) : 8 x (8, 10, 12); 10 x (10, 12);
12 x (12, 15).

2. Reng dan Kaso : 2 x 3; 2,5 x (3,4,6,8, 10, 12);
3,5 x (3,4,6,8,10,12,15);
5 x (7,8,10,12,13,15,18,20,22,25)

3. Lis dan Jalusi : 1 x (1,3,4,5, 6, 8)
1,5 x (3,4,5,6,8,10,12,15,18,20,22)
2 x (4, 5,6,8, 10, 12)

4. Papan kayu. : 2 x (15, 18,20,22,25)
3 x (18,20,22,25,30)
4 x (18,20,22,25)

C. KEKURANGAN DAN KELEBIHAN KAYU.

Kelebihan Kayu :

1. Berkekuatan tinggi dengan berat jenis rendah.
2. Tahan terhadap pengaruh kimia dan listrik.
3. Relatif mudah dikerjakan dan diganti.
4. Mudah didapatkan, relatif murah.
5. Pengaruh temperatur terhadap perubahan bentuk dapat diabaikan.
6. Pada kayu kering memiliki daya hantar panas dan listrik yang rendah, sehingga baik untuk partisi.
7. Memiliki sisi keindahan yang khas.

Kekurangan Kayu :

1. Adanya sifat-sifat kayu yang kurang homogen (ketidak seragaman), cacat kayu (mata kayu, retak, dll.).
2. Beberapa jenis kayu kurang awet.

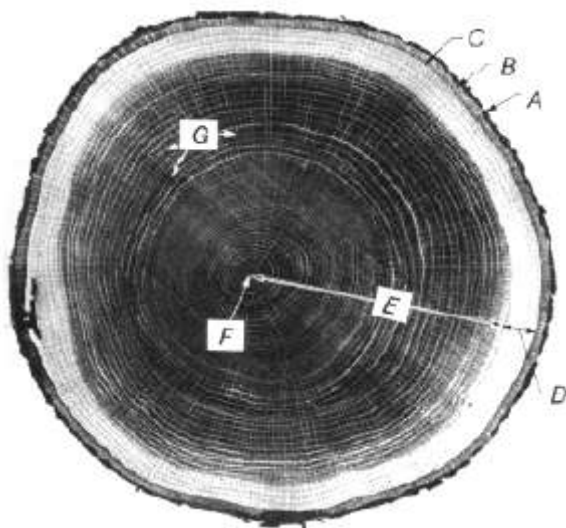
3. Kekuatannya sangat dipengaruhi oleh jenis kayu, mutu, kelembaban dan pengaruh waktu pembebanan.
4. Keterbatasan ukuran khususnya untuk memenuhi kebutuhan struktur bangunan yang makin beskala besar dan tinggi.
5. Untuk beberapa jenis kayu tertentu harganya relatif mahal dan ketersediaan terbatas (langka).

D. JENIS KAYU DI INDONESIA.

Menurut Peraturan Konstruksi Kayu - PKKI (Lampiran 3), dari 3000-4000 jenis pohon yang ada di Indonesia baru sekitar 150 jenis yang telah diselidiki dan dianggap penting dalam perdagangan. Dari jumlah tersebut sebagian merupakan jenis kayu yang penting sebagai bahan struktur.

Lembaga Pusat Penyelidikan Kehutanan telah menyusun daftar kayu Indonesia yang terdiri dari 90 jenis kayu penting di Indonesia. Daftar tersebut tercantum selengkapnya pada Lampiran I.

Susunan kayu sebagaimana disajikan pada Gambar 2.1. terdiri dari susunan sel-sel, dan sel-sel tersebut terdiri dari susunan “*cellose*” yang diikat dan disatukan oleh “*lignine*”. Perbedaan susunan sel-sel inilah yang menyebabkan perbedaan sifat-sifat dari berbagai jenis.



Keterangan :

- A. Kulit luar.
- B. Kulit dalam.
- C. Kambium.
- D. Kayu gubal.
- E. Kayu teras (galih).
- F. Hati (puh)
- G. Jari-jari teras.

Gambar 2.1. Potongan kayu melintang

- a. Kulit luar (outer bark), yang merupakan kulit mati, kering dan berfungsi sebagai pelindung bagian dalam kayu.
- b. Kulit dalam (bast), kulit hidup, lunak basah, yang berfungsi mengangkut bahan makanan dari daun ke bagian lain.
- c. Kambium (cambium), berada disebelah dalam kulit dalam, berupa lapisan sangat tipis (tebalnya hanya berukuran mikroskopik). Bagian inilah yang memproduksi sel-sel kulit dan sel-sel kayu.
- d. Kayu gubal (sap wood), tebalnya bervariasi antara 1 - 20 cm tergantung jenis kayunya, berwarna keputih-putihan, berfungsi sebagai pengangkut air (berikut zat-zat) dari tanah ke daun. Untuk keperluan struktur umumnya kayu perlu diawetkan dengan memasukan bahan-bahan kimia kedalam lapisan kayu gubal ini.
- e. Kayu teras atau galih (heart wood), lebih tebal dari kayu gubal yang tidak bekerja lagi. Kayu teras terjadi dari perubahan kayu gubal secara perlahan-lahan. Kayu teras merupakan bagian utama pada struktur kayu yang biasanya lebih awet (terhadap serangan serangga, bubuk, jamur) dari pada kayu gubal.
- f. Hati (puh).
- g. Jari-jari teras (Rays) yang menghubungkan berbagai bagian dari pohon untuk penyimpanan dan peralihan bahan makanan.

Tabel 1.1. Kelas Kuat Kayu Berdasarkan Berat Jenisnya.

KELAS KUAT	BERAT JENIS KERING UDARA	KUAT LENTUR (Kg/Cm ²)	KUAT DESAK (Kg/Cm ²)
I	$\geq 0,90$	≥ 1100	≥ 650
II	0,90 - 0,60	1100 - 725	650 - 425
III	0,60 - 0,40	725 - 500	425 - 300
IV	0,40 - 0,30	500 - 360	300 - 215
V	$\leq 0,30$	≤ 360	≤ 215

E. HUBUNGAN BERAT JENIS DAN KEKUATAN.

Berat jenis menyatakan berat kayu dibagi dengan volumenya, umumnya kayu yang baru ditebang mempunyai kadar air 40 % untuk kayu berat hingga dan 200 % untuk kayu ringan. Kadar air tersebut akan keluar bersamaan dengan mengeringnya kayu hingga mencapai titik jenuh serat (*fiber saturation point*), yang berkadar lengas kira-kira 25–35 %. Apabila kayu mengering dibawah titik jenuh seratnya, dinding sel menjadi padat,

akibatnya serat-seratnya menjadi kuat dan kokoh. Jadi turunnya kadar lengas kayu mengakibatkan bertambahnya kekuatan kayu.

Berdasarkan berat jenisnya, kayu di Indonesia dibedakan menjadi lima kelas kuat, sebagaimana tersaji pada Tabel 1.1 (Klasifikasi ini disusun oleh Lembaga Pusat Penyelidikan Kehutanan).

F. CARA MENINGKATKAN KEAWETAN KAYU.

Upaya meningkatkan keawetan kayu telah lama dilakukan, tujuannya adalah untuk meningkatkan ketahanan kayu terhadap serangan-serangan serangga (rayap, bubuk, dll.) agar memperpanjang umur kayu.

Lembaga Penelitian Hasil Hutan (LPPH), membagi keawetan kayu menjadi lima kelas awet. Pembagian kelas awet tersebut didasarkan pada kriteria yang terdapat dalam Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Kelas Awet Kayu Berdasarkan Umurnya.

KELAS AWET	I	II	III	IV	V
Selalu berhungan dengan tanah lembab.	8 tahun	5 tahun	3 tahun	Sangat pendek	Sangat pendek
Kayu tidak terlindung terhadap angin dan iklim, tetapi dilindungi terhadap air.	20 tahun	15 tahun	10 tahun	beberapa tahun	sangat pendek
Kayu ditempatkan di tempat terlindung.	tidak terbatas	tidak terbatas	sangat lama	beberapa tahun	pendek
Kayu ditempatkan di tempat terlindung tapi dirawat, di cat, dsb.	tidak terbatas	tidak terbatas	tidak terbatas	20 tahun	tahun
Kayu termakan / terserang rayap	tidak	jarang	agak cepat	sangat cepat	sangat cepat
Kayu termakan oleh bubuk kayu, rayap dan serangga lain	tidak	tidak	hampir tidak	tidak seberapa	sangat cepat

Ada beberapa cara untuk meningkatkan keawetan kayu, diantaranya adalah :

1. Membakar Kayu.

Salah satu cara untuk menambah ketahanan kayu adalah dengan membakar lapisan luar kayu tersebut. Bagian luar yang berlapis arang tidak akan mudah termakan rayap. Cara ini biasanya dipakai untuk tiang-tiang yang sebagian tertanam dalam tanah. Cara

ini tidak baik sebab kayu akan retak, sehingga bubuk/rayap akan mudah masuk dalam retak-retak itu dan akan menyebabkan rusaknya kayu.

2. Mengetir.

Biasanya dipakai pada tiang pagar dan rangka atap dari kayu muda. Ada dua macam tir yang sering dipakai yaitu : “kolter” dan “sweedsteer” warnanya coklat muda dan cair.

3. Penggunaan Karbolium.

Karbolium lebih baik dari pada tir, sebab pori-pori kayu tidak tertutup dan getahnya masih bisa keluar. Biasanya digunakan pada bangunan air dan umum, misalnya untuk tiang jembatan dalam laut, perahu, dll.

4. Penggunaan Minyak Kreosoot.

Kayu yang akan di-kreosoot dimasukan kedalam ketel. Kemudian disalurkan uap air, agar getah kayu keluar. Air panas yang tercampur getah dan angin dipompa keluar. Lewat saluran pipa lain minyak kreosoot yang telah dipanasi sampai 60°C dimasukan, lalu diproses sampai 10 atmosfir. Penggunaan minyak ini juga bisa disapukan atau dicatkan dibagian luar seperti mengetir.

5. Proses Burnett.

Proses ini sama dengan proses minyak kreosoot, hanya bahannya yang berbeda yaitu Zn Cl_2 berbusa dan tak berwarna. Cara ini tidak dapat digunakan untuk struktur yang terendam air.

6. Penggunaan Kopervitriool (Prusi).

Pada proses ini digunakan dua bejana (tangki) khusus. Tangki bagian atas diisi campuran kopervitriool dan air, kayu dimasukan kedalam tangki bagian bawah, sehingga kopervitriool bercampur air akan mengalir dan mengisi pori-pori kayu.

7. Proses Kijan.

Kayu direndam dalam air yang sudah dicampur bahan pengawet Hg Cl_2 (zat cair putih yang beracun sangat berbisa dan tak berwarna) selama 5 - 14 hari, kemudian ditumpuk pada tempat yang berangin. Kayu yang sudah diobati tidak berbau dan berwarna, setelah kering bisa di cat. Cara ini tidak baik jika digunakan pada struktur yang berlengas, juga tidak baik dipadukan (komposit) dengan besi.

8. Proses Wolman.

Proses ini menggunakan garam wolman, yaitu bahan pengawet yang terdiri dari Na Fe di tambah dini trophenol dan bichromat kers. dijual dalam bentuk bubuk. Kayu yang akan diawetkan harus dikeringkan terlebih dahulu, kemudian direndam dalam air yang sudah dicampur garam wolman selama 7 hari dan kemudian dikeringkan.

Berdasarkan SK-SNI 03-3233-1998, tentang *Tata Cara Pengawetan Kayu Untuk Bangunan Rumah dan Gedung* sebagai berikut :

Pengawetan adalah suatu proses memasukkan bahan pengawet ke dalam kayu dengan tujuan untuk memperpanjang masa pakai kayu. Kayu yang harus diawetkan untuk bangunan rumah dan gedung adalah kayu yang mempunyai keawetan alami rendah (kelas awet III, IV, V dan kayu gubal kelas I dan II), dan semua kayu yang tidak jelas jenisnya. Bahan kayu yang akan diawetkan harus melalui proses vakum tekan, proses rendaman, permukaan kayu harus bersih dan siap pakai.

Peralatan yang digunakan dalam pengawetan dengan proses vakum tekan adalah tangki pengawet, tangki pengukus, tangki persediaan, tangki pencampur, pompa vacum, pompa tekan hidrolik, bejana vakum, pompa pemindah larutan, kompresor, manometer, termometer, hidrometer, gelas ukur 100 mL dan timbangan. Untuk proses, rendaman diperlukan peralatan yaitu bak pencampur, tangki persediaan, bak pengawet, pompa pemindah larutan, gelas ukur, hidrometer termometer, timbangan, dan manometer. Sedangkan untuk rendaman panas dingin digunakan peralatan yang sama seperti rendaman dingin tanpa timbangan dan ditambah tungku panas.

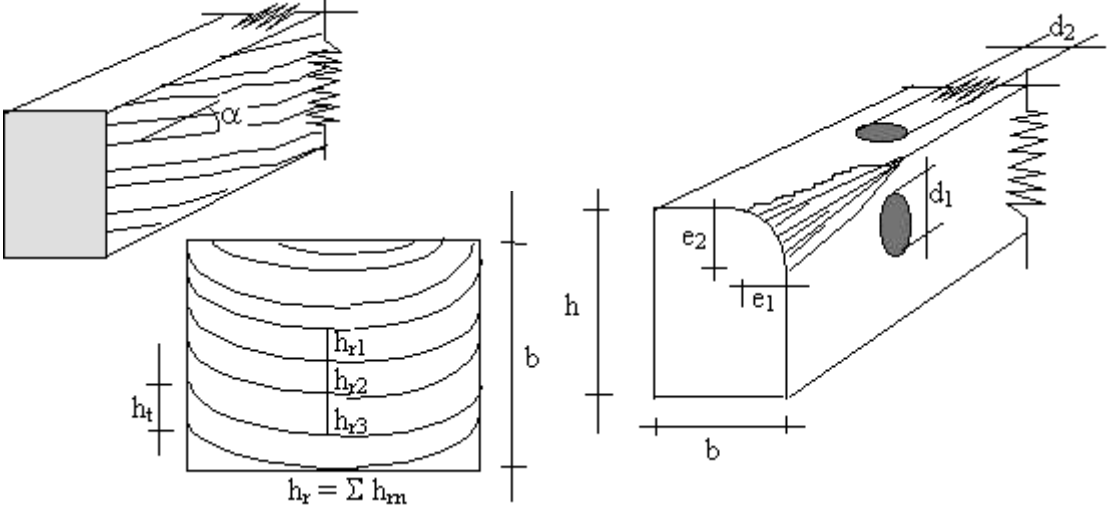
Cara pengawetan sebagai berikut : Pembuatan bahan larutan, dan persiapan kayu yang akan diawetkan. Pelaksanaan pengawetan dengan cara vacum tekan, rendaman dingin atau rendaman panas-dingin.

Setelah kayu diawetkan maka kayu disusun secara teratur dengan menggunakan ganjal yang seragam (1,5 - 2,0) x (2,5 - 3,0) cm, dan lindungi kayu dari pengaruh hujan dan matahari secara langsung sampai kering udara.

G. PERBEDAAN KAYU MUTU A DAN MUTU B.

PKKI Pasal 3 membagi mutu kayu kedalam dua kelas, yaitu mutu A dan mutu B (Tabel 1.3). Perbedaan mutu kayu ditentukan oleh kondisinya (banyaknya dan keadaan cacat - cacat kayu), yaitu mata kayu, wanvlak (cacat kayu akibat terkelupasnya kulit kayu), miring arah serat, retak - retak dan keadaan kadar lengas kayu kering udara.

Tabel 1.3. Klasifikasi Mutu Kayu.

KONDISI KAYU	MUTU A	MUTU B
1. Kadar lengas kering udara	12 - 18 %	≤ 300 %
2. Mata Kayu	$d_1 \leq 1/6 h$, $d_2 \leq 1/6 b$ $d_1 \leq 3,5$ cm, $d_2 \leq 3,5$ cm $d_{1,2}$ = diameter mata kayu h = tinggi kayu b = lebar kayu	$d_1 \leq 1/4 h$, $d_2 \leq 1/4 b$ $d_1 \leq 5$ cm, $d_2 \leq 5$ cm $d_{1,2}$ = diameter mata kayu h = tinggi kayu b = lebar kayu
3. Wanvlak	$e_1 \leq 1/10 b$, $e_2 \leq 1/10 h$ $e_{1,2}$ = lebar/tinggi wanvlak h = tinggi kayu b = lebar kayu	$e_1 \leq 1/10 h$, $e_2 \leq 1/10 h$ $e_{1,2}$ = lebar/tinggi wanvlak h = tinggi kayu b = lebar kayu
4. Miring arah serat	$\text{tg } \alpha \leq 1/10$	$\text{tg } \alpha \leq 1/10$
5. Retak-retak	$h_r \leq 1/4 b$, $h_t \leq 1/5 b$	$h_r \leq 1/3 b$, $h_t \leq 1/4 b$
		

H. PENGARUH KADAR LENGAS KAYU.

Terdapat tiga macam kadar lengas pada kayu, yaitu : kadar kayu basah (baru ditebang), kadar lengas kayu kering udara, dan kadar lengas kayu kering mutlak. Kayu basah mempunyai kadar lengas antara 40 - 200 %, makin lama makin kering hingga mencapai kadar lengas antara 24 - 30 %.

Proses pengeringan pada kayu mengakibatkan adanya pengerutan, sehingga sel-sel kayu makin padat, dan menjadikan peningkatan kekuatan kayu. Dengan demikian turunnya kadar lengas kayu meningkatkan kekuatan kayu.

Kayu sangat peka terhadap lembab udara, perubahan kadar lengas menyebabkan kayu mengembang dan menyusut dan berpengaruh pada sifat-sifat fisik dan mekaniknya. Hal tersebut menyebabkan kekuatan kayu yang berbeda.

I. Soal Latihan Bab I.

1. Akhir-akhir ini bila dibandingkan dengan bahan baja dan beton penggunaan bahan kayu sebagai bahan konstruksi pendukung beban bangunan tampak tertinggal. Sebutkan 4 (empat) hal utama yang menyebabkan keadaan tersebut dan berikan penjelasannya secara singkat.
2. Faktor apa yang paling dominan terhadap kekuatan kayu ?
3. Jelaskan apa dan bagaimana kriteria suatu jenis kayu, sehingga kayu tersebut dinyatakan berada pada kelas awet II.
4. Suatu jenis kayu yang sama dapat saja mempunyai kekuatan yang berbeda diantaranya diakibatkan oleh berbedanya mutu kayu. Jelaskan mengapa perbedaan mutu kayu (mutu A dan mutu B) menjadikan berbedanya kekuatan kayu.
5. Mengapa kayu lebih kuat menahan gaya tarik sejajar arah serat dari pada gaya yang bekerja tegak lurus arah serat.
6. Uraikan secara singkat berbagai usaha untuk meningkatkan keawetan kayu.
7. Bagaimana usaha yang dapat dilakukan guna menghindari kerugian akibat serangan rayap pada konstruksi bangunan kayu.

BAB II

PERATURAN PERENCANAAN STRUKTUR KAYU

Penggunaan kayu sebagai bahan struktur tidak boleh dirancang hanya berdasarkan pengalaman, perasaan maupun perkiraan. Perhitungan struktur kayu harus didasarkan atas pengetahuan ilmu gaya. Meskipun demikian dalam perancangan, penggunaan pengalaman hasil struktur kayu yang telah ada, dapat memberikan arahan dan pandangan awal yang bermanfaat.

Dengan demikian, mulai penetapan beban yang bekerja, perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada struktur, penetapan ukuran, sambungan dan lain-lain, harus dilakukan secara rasional dan mengacu pada peraturan serta norma keilmuan yang berlaku.

A. Aturan Penetapan Pembebanan

Penetapan besarnya muatan-muatan (beban) yang bekerja pada struktur, harus mengacu pada ketentuan / peraturan yang berlaku, misalnya : Dana Normalisasi Indonesia NI-02006, NI-02007, Peraturan-peraturan pembebanan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, Tenaga Perum Kereta Api, dan sebagainya.

Menurut kombinasinya, pembebanan dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu : beban tetap, beban sementara (beban tidak tetap), dan beban khusus. Beban tetap adalah beban yang berlangsung selama lebih dari 3 bulan dan beban bergerak yang bersifat tetap atau terus menerus seperti berat sendiri, tekanan tanah, tekanan air, barang-barang gudang, kendaraan diatas jembatan, dan sebagainya.

Beban sementara adalah beban yang berlangsung kurang dari 3 bulan dan muatan bergerak yang bersifat tidak tetap atau terus menerus, seperti berat orang yang berkumpul (misalnya : untuk ruangan pertemuan, kantor, dan sebagainya).

Sedang beban khusus adalah beban tetap atau beban sementara yang di tambah dengan beban yang sifatnya khusus, yaitu beban yang bekerja pada struktur atau bagian struktur yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan atau penurunan, penurunan fondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal, dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin serta pengaruh khusus lainnya.

B. Ukuran Penampang Balok Minimum

Ukuran penampang balok minimum yang digunakan mengacu pada Pasal 9 dan Pasal 10 PKKI (Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia), yang isi pokoknya terdapat pada pernyataan dibawah ini.

PKKI Pasal 9 :

- Ukuran salah satu sisi (lebar/tinggi) balok kayu yang digunakan sebagai bagian struktur rangka batang paling kecil adalah 4 cm, dengan luas penampangnya lebih besar 32 cm^2 .
- Apabila batang itu terdiri lebih dari satu bagian maka syarat-syarat tersebut untuk keseluruhan tampang.
- Untuk struktur dengan paku atau perekat, syarat-syarat tersebut tidak berlaku.

PKKI Pasal 10 :

- Perhitungan ukuran dan luas penampang akibat adanya perlemahan, pada batang-batang tarik dan bagian-bagian struktur yang dibebani dengan tegangan lentur harus diperhitungkan.
- Untuk batang yang menahan tegangan desak, perlemahan akibat alat sambung tidak perlu diperhitungkan (dengan catatan bahwa lubang tersebut tertutup oleh alat sambung).
- Tetapi apabila dalam kenyataannya lubang tersebut tidak tertutup, maka lubang tersebut harus diperhitungkan sebagai perlemahan.

C. LENDUTAN MAKSIMUM YANG DIJINKAN.

Penetapan besarnya lendutan yang diijinkan pada struktur kayu, diatur melalui Pasal 12 ayat 5 PKKI, dengan isi pokok sebagai berikut :

- Lendutan maksimum yang diperbolehkan, untuk balok pada struktur terlindung $\leq L/300$ panjang bentang, dengan L adalah panjang bentang.
- Untuk balok pada struktur tidak terlindung $\leq L/400$ panjang bentang.
- Untuk balok yang digunakan pada struktur kuda-kuda, misalnya gording, $\leq L/200$ panjang bentang.
- Untuk rangka batang yang tidak terlindung $\leq L/700$ panjang bentang.

D. MODULUS ELASTIS KAYU.

Pada perencanaan perhitungan batang desak dan batang terlentur beberapa rumus membutuhkan Modulus Elastis Kayu (dilambangkan dengan huruf E). Modulus Elastis

diperlukan untuk menghitung perubahan bentuk elastis, besarnya berbeda-beda menurut kelas kuat kayunya, sebagaimana tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Besaran Modulus Elastis (E) Kayu Sejajar Serat

Kelas Kuat Kayu	Modulus Elastis E (kg/cm ²)
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

E. TEGANGAN IJIN KAYU.

Tegangan kayu yang diijinkan (atau sering disebut tegangan ijin) merupakan besaran (dalam satuan kg/cm²) yang menyatakan tegangan kayu yang diperkenankan dipakai dalam perhitungan-perhitungan. Tegangan ijin dibedakan menurut gaya yang bekerja dan arah bekerjanya gaya, yaitu :

$\bar{\sigma}_{lt}$ = Tegangan ijin lentur.

$\bar{\sigma}_{ds//}$ = Tegangan ijin desak sejajar serat.

$\bar{\sigma}_{tr//}$ = Tegangan ijin tarik sejajar serat.

$\bar{\sigma}_{ds\perp}$ = Tegangan ijin desak tegak lurus serat.

$\bar{\tau}_{//}$ = Tegangan ijin geser sejajar serat.

Besarnya tegangan ijin tergantung dengan kelas kuat kayu.

F. LANGKAH PERHITUNGAN TEGANGAN IJIN.

Ada beberapa langkah umum dalam menghitung tegangan ijin kayu, adalah sebagai berikut :

1. Tentukan jenis kayu yang akan digunakan.

Jenis kayu yang akan dipakai dalam perencanaan dapat diambil dari tabel yang terdapat pada Lampiran I. Dari tabel tersebut akan diketahui kelas kuatnya dan berat jenisnya ($=g$). Apabila terdiri dari beberapa kelas kekuatan, pilih yang terendah (agar lebih aman).

2. Tentukan Tegangan ijinnya.

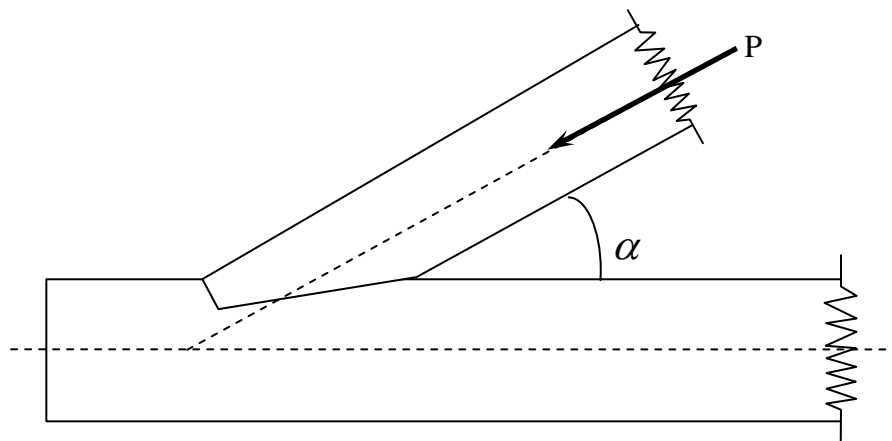
Besarnya tegangan ijin bisa ditentukan berdasarkan **kelas kuatnya**, dapat diambil dari tabel yang terdapat pada Lampiran II. Bila ragu-ragu menggunakan tabel tersebut, dapat menggunakan rumus yang terdapat dibawah ini, berdasarkan **berat jenisnya**.

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{lt} &= 170 \text{ g} \\ \bar{\sigma}_{tr//} &= \bar{\sigma}_{ds//} = 150 \text{ g} \\ \bar{\sigma}_{ds\perp} &= 40 \text{ g} \\ \bar{\tau}_{//} &= 20 \text{ g}\end{aligned}$$

dengan g = berat jenis kayu.

Lampiran dan rumus tersebut diatas hanya berlaku untuk kayu mutu A. Sedang untuk kayu mutu B, tegangan ijinnya harus dikalikan dengan faktor $\alpha = 3/4$.

3. Tegangan ijin yang diperoleh diatas adalah untuk kayu terlindung, sehingga untuk kayu yang tidak terlindung, misalnya : selalu terendam air, kadar lengas tinggi, terkena air hujan dan matahari, maka tegangan ijinnya harus dikalikan dengan faktor $2/3$ ($\beta = 2/3$). Bila struktur tidak terlindung namun dapat mengering dengan cepat, misalnya : untuk jembatan, perancah, maka tegangan ijin harus dikalikan dengan faktor $5/6$ ($\beta = 5/6$).



Gambar 2.1. Arah Gaya terhadap Batang Horizontal

4. Bila sifat muatan struktur kayu berupa beban sementara, maka tegangan ijinnya harus dikalikan dengan angka $5/4$ ($\gamma = 5/4$).

Dengan demikian rumus tegangan ijinnya menjadi :

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{lt} &= 170 \text{ g } \beta \gamma \alpha \\ \bar{\sigma}_{tr//} &= \bar{\sigma}_{ds//} = 150 \text{ g } \beta \gamma \alpha\end{aligned}$$

$$\bar{\sigma}_{ds\perp} = 40 g \beta \gamma \alpha$$

$$\bar{\tau}_{//} = 20 g \beta \gamma \alpha$$

5. Bila arah gaya batang membentuk sudut α dengan arah serat kayu (Gambar 2.1), maka tegangan yang diijinkan harus dihitung menurut rumus :

$$\bar{\sigma}_{ds\alpha} = \bar{\sigma}_{ds//} - (\bar{\sigma}_{ds//} - \bar{\sigma}_{ds\perp}) \sin \alpha$$

dengan, $\bar{\sigma}_{ds\alpha}$ = Tegangan ijin desak kayu dengan sudut α terhadap arah serat.

Disamping dengan rumus diatas, juga dapat berdasarkan diagram (Lampiran II).

G. TEGANGAN IJIN BAJA PADA STRUKTUR KAYU.

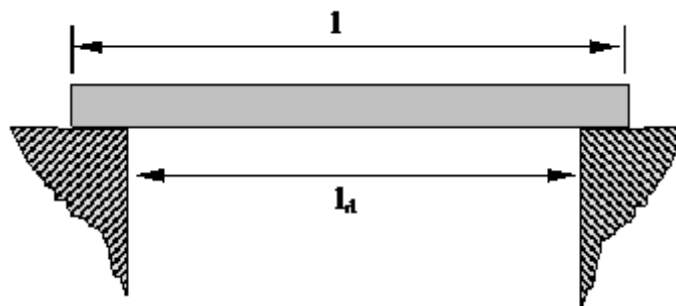
Beberapa bagian dari pekerjaan struktur kayu menggunakan bahan baja. Misalnya sebagai alat penyambung, baut, plat penghubung dan lain-lainnya. Untuk perhitungan kekuatan PKKI menetapkan tegangan ijin baja sebagai berikut :

- Tegangan-tegangan ijin terhadap beban tarikan, desak, lenturan, untuk baja *St-37* yang umum dipakai pada struktur kayu adalah 1200 kg/cm^2 .
- Untuk batang-batang baut dan anker, hanya boleh diambil 1000 kg/cm^2 Tegangan geser untuk baut pas 800 kg/cm^2 dan untuk baut biasa 600 kg/cm^2 .

H. UKURAN LEBAR BENTANG PADA BATANG TERLENTUR.

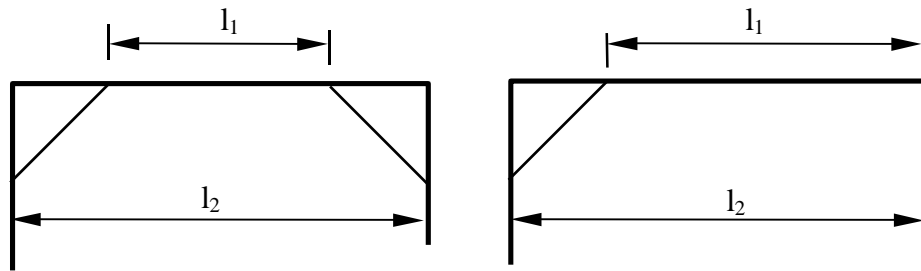
Di dalam PKKI Pasal 12 tertulis bahwa penetapan ukuran jarak bentang pada struktur terlentur mengikuti syarat - syarat sebagai berikut :

- a. Panjang perletakan dari sebuah balok di atas dua perletakan harus diambil setinggi-tingginya $L/20$ jarak antara kedua ujung perletakan. Sebagai jarak bentang harus diambil jarak antara kedua titik tengah perletakan tersebut dan setinggi - tingginya 1,05 kali jarak antara ujung perletakan.



- b. Apabila perletakan-perletakan berupa sendi, maka sebagai jarak bentang lurus diambil jarak antara kedua titik sendi tersebut.

- c. Jika sebuah balok atau pelat itu merupakan balok tersusun, maka sebagai jarak bentang masing-masing lapangan harus diambil jarak antara titik tengah-tengah masing-masing perletakan. Pada balok tersusun masing-masing lapangan dapat dianggap seperti terletak diatas dua perletakan. Sedangkan tegangan lentur yang diperkenankan untuk balok tersebut boleh dinaikan 10 %.
- d. Pada balok dengan tunjang, sebagai jarak bentang harus diambil : $l = (l_1 + l_2) / 2$.



BAB III

PERENCANAAN ELEMEN BATANG

A. TINJAUAN UMUM.

Dalam merancang struktur kayu, hal penting pertama yang harus dilakukan adalah menetapkan besarnya gaya yang bekerja pada batang, kemudian menetapkan besarnya tegangan ijin kayu dengan memperhatikan kondisi struktur serta pembenannya. Dari hasil tersebut, dengan memperhitungkan perlemahan-perlemahan akibat alat-alat sambung (jika ada), luas batang yang dibutuhkan diperoleh, serta ukuran (dimensi) batang dapat ditentukan.

Setelah langkah-langkah tersebut dilaksanakan, maka sambungan-sambungan kayu yang diperlukan dapat direncanakan. Hal terakhir yang harus dilaksanakan adalah kontrol terhadap defleksi maksimumnya, maka perancangan harus diulangi dari awal, dengan cara merubah ukuran batangnya berdasarkan berdasarkan defleksi maksimumnya (dapat juga berdasarkan tegangan ijinnya, dengan merubah jenis kayu yang dipakai).

B. PERENCANAAN BATANG TARIK.

Seperti yang telah diuraikan diatas, dalam merancang struktur kayu, hal penting pertama yang harus dilakukan adalah menetapkan besarnya gaya yang bekerja pada batang, kemudian menetapkan besarnya tegangan ijin kayu. Berbeda dengan bahan beton dan baja yang mempunyai tegangan ijin relatif tetap, tegangan ijin kayu berubah-ubah. Tegangan ijin kayu akan berbeda bila arah serat dan arah gayanya berbeda. Demikian juga untuk kayu yang sama, tegangan ijin kayu akan berbeda bila mutu kayu, sifat pembebanan dan keadaan kelengasan berbeda.

Setelah gaya batang yang bekerja diketahui, tinggalah menentukan besarnya ukuran batang tersebut. Untuk keperluan itu diperlukan ketentuan bahwa besarnya tegangan tarik yang terjadi harus lebih kecil dari pada tegangan ijin kayu.

$$\sigma_{tr //} = \frac{P}{F_{nt}} \leq \bar{\sigma}_{tr //}$$

dengan, P = Gaya batang tarik yang bekerja (kg).

F_{nt} = Luas penampang bersih (netto), yakni luas penampang yang telah dikurangi dengan luas perlemahan sambungan (cm²).

$\sigma_{tr //}$ = Tegangan tarik yang terjadi sejajar serat (kg/cm²).

$\bar{\sigma}_{tr //}$ = Tegangan ijin tarik sejajar serat (kg/cm²).

Dengan demikian kebutuhan luas penampang bersih (netto) akibat gaya tarik , sebesar :

$$F_{nt} = \frac{P}{\sigma_{tr//}}$$

Akibat adanya perlemahan, luas batang tarik (F_{nt}) tersebut mesti diperbesar sehingga menjadi luas batang tarik yang sebenarnya dipakai, yaitu sebesar luas brutto (= F_{br}). Tambahan luas disesuaikan dengan macam perlemahan yang terjadi, tergantung pada jenis sambungan yang dipakai, sebagaimana terlihat pada Tabel 3.1. Pada sambungan menggunakan perekat mempunyai besaran *Faktor Perlemahan* $F_p = F_{br}/F_{nt} = 1,00$, artinya tidak terdapat pengurangan atau perlemahan luasan akibat pemakaian perekat.

Tabel 3.1. Faktor Perlemahan Akibat Pemakaian Alat Sambung

Macam Alat Sambung	$F_p = F_{br} / F_{nt}$
Perekat	1,00
Paku	1,00 - 1,15
Baut & Gigi	1,20 - 1,25
Kokot & Cincin belah	1,20
Pasak Kayu	1,30

$$\sigma_{tr//} = \frac{P.F_p}{F_{br}} \leq \bar{\sigma}_{tr//}$$

Contoh :

Sebuah batang tarik mempunyai lebar $b = 8$ cm dan mendukung gaya sebesar 6 ton. Sambungan dilaksanakan dengan pasak kayu. Kayu yang dipakai adalah kayu keruing. Keadaan struktur terlindung dan beban permanen. Hitunglah tinggi batangnya.

Penyelesaian :

Kayu keruing (menurut lampiran I) termasuk Kelas Kuat II dengan berat jenis 0,79.

Kondisi Struktur terlindung, $\beta = 1$, Beban permanen, $\gamma = 1$.

Sambungan dengan pasak kayu, berdasarkan tabel 3.1 didapat $F_p = F_{br} / F_{nt} = 1,30$.

Tegangan ijin berdasarkan berat jenisnya ($g = 0,79$)

$$\bar{\sigma}_{tr//} = 150 g \cdot \beta \cdot \gamma = 150 \cdot 0,79 \cdot 1 \cdot 1 = 118,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nt} = \frac{P}{\sigma_{tr//}} = \frac{6000}{118,5} = 50,68 \text{ cm}^2$$

$$F_{br} = F_{nt} \cdot F_p = 50,68 \cdot 1,30 = 65,82 \text{ cm}^2.$$

Sehingga tinggi balok yang dibutuhkan $h = \frac{65,82}{8} = 8,22 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}.$

Dipakai ukuran batang 8 cm x 10 cm.

C. PERENCANAAN BATANG DESAK (TUNGGAL).

Pada struktur rangka banyak terdapat batang yang menerima beban desak. Dengan adanya gaya desak maka kemungkinan akan dapat menimbulkan tertekuknya batang. Besarnya faktor tekuk ini tergantung dari kondisi struktur pendukungnya dan kelangsingannya. Akibat dua faktor tersebut mengakibatkan perhitungan lebih panjang (banyak) bila dibandingkan dengan batang tarik, namun pada perencanaan batang desak pengurangan luas akibat sambungan tidak perlu diperhitungkan.

Besarnya kelangsingan (λ) adalah merupakan hasil bagi antara faktor tekuk (l_k) dengan jari-jari lembam minimum.

$$\lambda = \frac{l_k}{i_{\min}}$$

dengan : $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F_{br}}}$

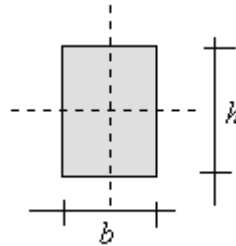
I_{\min} = Momen Inersia minimum (cm^4), nilai terkecil dari I_x maupun I_y .

F_{br} = Luas penampang brutto (cm^2).

Untuk batang berpenampang

persegi panjang $I_{\min} = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h$

Sedang luasnya $F_{br} = b \cdot h$.



Gambar 3.2.

Maka besarnya $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F_{br}}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} b^3 h}{bh}} = 0,289 b$.

Dengan demikian jari-jari lembam minimum (i_{\min}) untuk batang tunggal, dengan penampang persegi panjang bekerja ke arah sumbu y sebesar : $i_x = 0,289 b$, dengan b adalah lebar batang.

Besarnya faktor tekuk (l_k) tergantung dari kondisi struktur batang. Untuk batang tekan tertumpu bebas, faktor tekuk sama dengan panjang batang. Terdapat empat kondisi struktur dengan penetapan panjang tekuk yang berbeda sebagaimana terlihat pada gambar 3.3.

Akibat adanya tekukan batang tidak kuat menahan beban desak, sehingga untuk mencari tegangannya beban harus dikalikan dengan faktor tekuk (ω). Besarnya faktor tekuk dapat diperoleh dari Lampiran III. Besarnya tegangan desak yang terjadi :

$$\sigma_{ds//} = \frac{P\omega}{F_{br}} \leq \bar{\sigma}_{ds//}$$

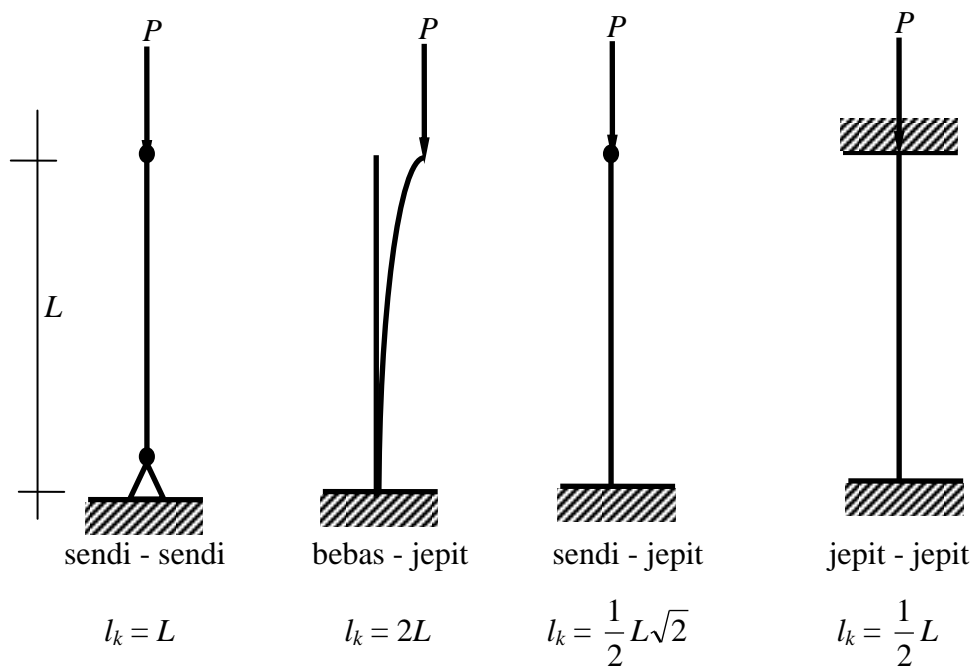
dengan, P = Gaya desak (kg).

F_{br} = Luas penampang brutto, yakni luas penampang tanpa dikurangi dengan luas perlemahan sambungan, dengan asumsi bahwa lubang sambungan terisi oleh alat sambung (cm^2).

$\sigma_{ds//}$ = Tegangan desak yang terjadi (kg/cm^2).

$\bar{\sigma}_{ds//}$ = Tegangan desak yang diijinkan (kg/cm^2).

ω = Faktor tekuk, besarnya diambil berdasarkan kelangsingannya (λ).



Gambar 3.3. Faktor Tekuk.

Untuk mengetahui angka kelangsingan kayu harus diketahui terlebih dahulu ukuran kayu, padahal dalam perencanaan batang tekan, justru ukuran kayu itulah yang akan dicari. Untuk itu perhitungan mengarah pada pencarian $I_{minimum}$ dengan menggunakan rumus EULER (dengan asumsi angka kelangsingan > 100).

$$P = \frac{\pi^2 EI_{min}}{n l_k^2}$$

$$I_{min} = \frac{n l_k^2 \cdot P}{\pi^2 \cdot E}$$

dengan, P = Gaya desak yang bekerja (ton).

n = Angka keamanan (umumnya memakai 5).

E = Modulus elastis (kg/cm²).

l_k = Panjang tekuk.

π = 22/7.

Bila, π^2 = 10.

E = 100 000 kg/cm² (untuk kayu kelas kuat II).

n = diambil 5.

1 P ton = 1000 P kg

1 l_k^2 m = 10 000 l_k^2 cm².

$$I_{min} = \frac{5 l_k^2 P}{10.100000} = \frac{5.10000 l_k^2 . 1000 P}{10.100000} = 50 . P . l_k^2$$

dengan satuan untuk : I_{min} (cm⁴), P (ton), l_k (meter).

Sehingga untuk kelas kuat :

$$I \longrightarrow E = 125.000 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow I_{min} = 40 . P . l_k^2.$$

$$II \longrightarrow E = 100.000 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow I_{min} = 50 . P . l_k^2.$$

$$III \longrightarrow E = 80.000 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow I_{min} = 60 . P . l_k^2.$$

$$IV \longrightarrow E = 60.000 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow I_{min} = 80 . P . l_k^2$$

$$V \longrightarrow E = 40.000 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow I_{min} = 125 . P . l_k^2$$

I_{min} merupakan fungsi dari ukuran penampang,

➤ Untuk batang berpenampang persegi panjang $I_{min} = 1/12 . h . b^3$

➤ Untuk batang berpenampang bulat $I_{min} = 1/64 . \pi . d^4$

dengan, d = diameter batang.

Sehingga dengan berdasarkan rumus-rumus di atas ukuran batang (b , h , atau d) dapat dicari, jika besarnya P , l_k , kelas kuat, serta n sudah diketahui.

Contoh :

1. Mampukah kayu rasamala dengan ukuran 8/12 cm menerima gaya tekan sebesar 1700 kg, jika kondisi struktur **terlindung** dan beban **permanen**. Batang tersebut bertumpu bebas dengan panjang tekuk sebesar $l_k = 3,00$ m.

Penyelesaian :

Kayu rasamala \longrightarrow Kelas kuat II.

\longrightarrow Berat jenis = 0,81.

Kondisi struktur terlindung $\longrightarrow \beta = 1.$

Beban permanen $\longrightarrow \gamma = 1.$

Besarnya tegangan ijin berdasarkan kelas kuatnya , untuk kelas kuat II = 85 kg/cm².

$$\bar{\sigma}_{ds//} = 85 \cdot \beta \cdot \gamma = 85 \cdot 1 \cdot 1 = 85 \text{ kg/cm}^2$$

Besar tegangan ijin berdasarkan berat jenisnya

Sehingga setelah memperhitungkan kondisi struktur dan pembebanan, di dapat :

$$\bar{\sigma}_{ds//} = 150 \cdot g \cdot \beta \cdot \gamma = 150 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 = 121,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kelangsingan batang } \lambda &= \frac{l_k}{i_{\min}} \longrightarrow i_{\min} = 0,289 \cdot b \\ i_{\min} &= 0,289 \cdot 8 = 2,31 \text{ cm} \\ &= \frac{300}{2,31} = 129,8 \end{aligned}$$

Dari daftar berdasarkan $\lambda = 129,8$ didapat $\omega = 5,48$

$$\text{Sehingga : } \sigma_{ds//} = \frac{P\omega}{F_{br}} = \frac{1700 \cdot 5,48}{8 \cdot 12} = 97,04 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{ds//} = 121,5 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan demikian kayu rasamala dengan ukuran 8/12 mampu menahan beban tersebut.

Beban yang dapat ditahan oleh kayu tersebut sebesar : $P = 8 \times 12 \times 16 = 1586 \text{ kg}$
 $<$ Beban yang harus ditahan 1700 kg.

2. Rencanakan ukuran batangnya (jika mempergunakan penampang batang persegi panjang atau lingkaran). Kayu yang dipakai kelas kuat II, menahan beban desak sebesar 1700 kg, panjang tekuknya sebesar 3,00 m, dan angka keamanan sebesar 5.

Penyelesaian :

Kelas kuat II (dari daftar didapat $E = 100.000 \text{ kg/cm}^2$), angka keamanan 5, maka untuk mencari I minimum dapat menggunakan rumus $I_{\min} = 50 \cdot P \cdot l_k^2$, dengan satuan untuk $I_{\min} = \text{cm}^4$, $P = \text{ton}$, dan $l_k = \text{meter}$.

$$I_{\min} = 50 \cdot P \cdot l_k^2 = 50 \cdot 1,7 \cdot 3^2 = 765 \text{ cm}^4.$$

- Untuk balok persegi panjang $I_{\min} = 1/12 \cdot h \cdot b^3$.

Dicoba batang kayu dengan ukuran 8 cm x 12 cm.

$$I_{\min} = 1/12 \cdot h \cdot b^3 = 1/12 \cdot 12 \cdot 8^3 = 512 \text{ cm}^4 < 765 \text{ cm}^4.$$

$\longrightarrow I_{\min}$ masih terlalu kecil sehingga ukuran perlu diperbesar.

Dicoba batang kayu dengan ukuran 10 cm x 12 cm.

$$I_{\min} = 1/12 \cdot h \cdot b^3 = 1/12 \cdot 12 \cdot 10^3 = 1000 \text{ cm}^4 > 765 \text{ cm}^4.$$

————→ Ukuran I_{min} sudah memenuhi syarat.

————→ Sehingga ukuran kayu 10 cm x 12 cm dapat dipakai.

- Untuk balok bulat (lingkaran) $I_{min} = 1/64 \cdot \pi \cdot d^4$.

Dicoba batang kayu berdiameter 11 cm.

$$I_{min} = 1/64 \cdot \pi \cdot d^4 = 1/64 \cdot 22/7 \cdot 11^4 = 718,3 \text{ cm}^4 < 765 \text{ cm}^4.$$

————→ I_{min} masih terlalu kecil sehingga ukuran perlu diperbesar.

Dicoba batang kayu berdiameter 12 cm.

$$I_{min} = 1/64 \cdot \pi \cdot d^4 = 1/64 \cdot 22/7 \cdot 12^4 = 1017,36 \text{ cm}^4 > 765 \text{ cm}^4.$$

————→ Ukuran I_{min} sudah memenuhi syarat.

————→ Sehingga ukuran kayu dengan diameter 12 cm dapat dipakai.

3. Gaya desak sebesar 2 ton bekerja pada batang berpenampang bujur - sangkar ($b = h$), dari kayu kelas kuat II, kondisi terlindung dengan beban tetap. Tinggi tiang sama dengan panjang tekuknya setinggi 3,00 m. Rencanakan dimensi batangnya jika dikehendaki angka keamanan $n = 3,5$.

Penyelesaian :

Kayu Kelas Kuat II —————→ $\bar{\sigma}_{ds//} = 85 \text{ kg/cm}^2$.

————→ Modulus elastis $E = 100.000 \text{ kg/cm}^2$.

Kondisi struktur terlindung —————→ $\beta = 1$

Beban permanen —————→ $\gamma = 1$

Sehingga dengan memperhitungkan kondisi struktur & pembebanan, didapat :

$$\bar{\sigma}_{ds//} = 85 \cdot \beta \cdot \gamma = 85 \cdot 1 \cdot 1 = 85 \text{ kg/cm}^2.$$

$$l_k = L = 3,00 \text{ m} = 300 \text{ cm}.$$

$$P = 2 \text{ ton} = 2000 \text{ kg}.$$

$$I_{min} = \frac{n \cdot l_k^2 \cdot P}{\pi^2 \cdot E} = \frac{5 \cdot 300^2 \cdot 2000}{3,14^2 \cdot 100000} = 638,97 \text{ cm}^4$$

Untuk batang berpenampang bujur-sangkar, $I_{min} = 1/12 \cdot b^4$

$$\text{sehingga : } b^4 = 638,97 \cdot 12 = 7667,64 \text{ cm}^4$$

$$b = 9,86 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$$

Dengan demikian kayu ukuran 10 cm x 10 cm.

Kontrol :

$$F_{br} = 10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2.$$

$$I_{min} = 1/12 \cdot 10^4 = 833,33 \text{ cm}^4$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F_{br}}} = \sqrt{\frac{833,33}{100}} = 2,89 \text{ cm.}$$

$$\text{Kelangsingan batang } \lambda = \frac{l_k}{i_{\min}} = \frac{300}{2,89} = 103,8$$

Dari Lampiran III berdasarkan $\lambda = 103,8$ didapat : $\omega = 3,27$
tegangan ijin tekuk = 26 kg/cm^2

$$\text{Sehingga : } \sigma_{ds//} = \frac{P\omega}{F_{br}} = \frac{2000 \cdot 3,27}{100} = 65,4 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{ds//} = 85 \text{ kg/cm}^2$$

Gaya tekan yang dapat ditahan = $100 \cdot 26 = 2600 \text{ kg} > 2000 \text{ kg}$ (aman).

Dari hasil kontrol tegangannya dan gaya tekan yang dapat ditahan, maka dapat disimpulkan bahwa ukuran batang $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ dapat dipakai.

D. PERENCANAAN BATANG DESAK BERPENAMPANG GANDA.

Pada batang berganda, untuk menghitung momen lembam terhadap sumbu-sumbu bahan (sumbu X, Gambar 3.4), dapat menganggap batang ganda tersebut sebagai batang tunggal dengan lebar sama dengan lebar jumlah masing-masing bagian, sehingga terdapat $i_x = 0,289 h$.

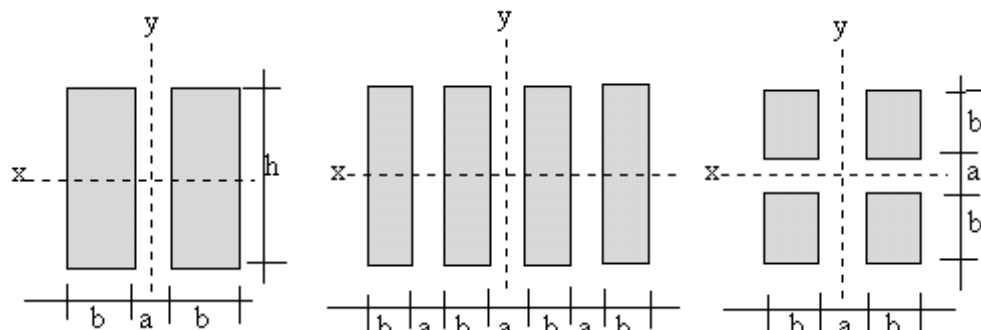
Untuk menghitung momen lembam terhadap sumbu bebas bahan dapat dipakai rumus sebagai berikut :

$$I_r = 1/4 (I_t + 3 \cdot I_g)$$

dengan, I_r = Momen lembam rencana.

I_t = Momen lembam menurut perhitungan teori.

I_g = Momen lembam geser, dengan anggapan masing-masing bagian digeser hingga berimpit satu sama lain.



Gambar 3.4. Potongan batang berpenampang ganda.

Apabila masing-masing bagian $a > 2b$, maka dalam menghitung I_t diambil $a = 2b$.
Masing - masing bagian yang membentuk batang berganda, harus mempunyai momen lembam :

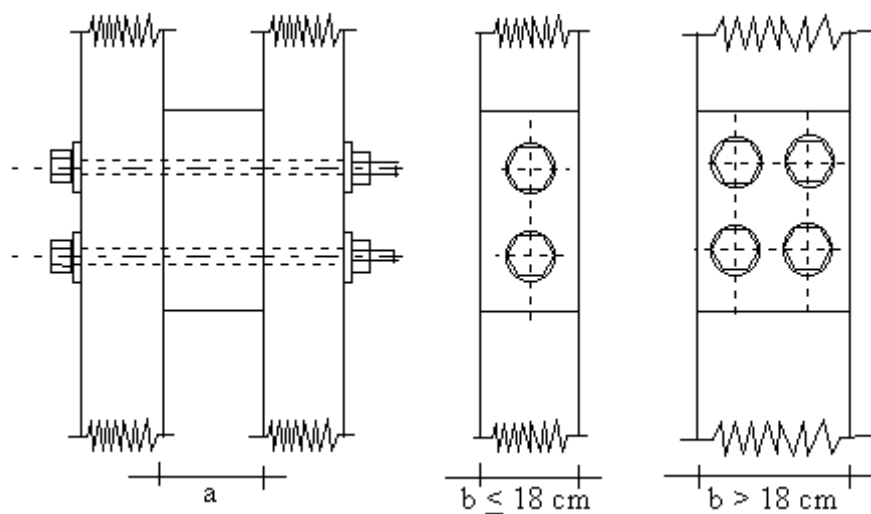
$$I > \frac{10.P.l_y^2}{n}$$

dengan, I = Momen lembam (cm^4).

P = Gaya desak batang ganda (ton).

l_y = Panjang tekuk sumbu bebas-bahan (meter).

n = Jumlah batang bagian.



Gambar 3.5. Detail Perangkai Batang untuk Lebar ≤ 18 cm dan > 18 cm.

Pada ujung-ujung batang desak, juga pada dua titik yang jaraknya masing-masing dari ujung-ujung batang sepertiga panjang batang, harus diberi perangkai seperti terlihat pada Gambar 3.5.

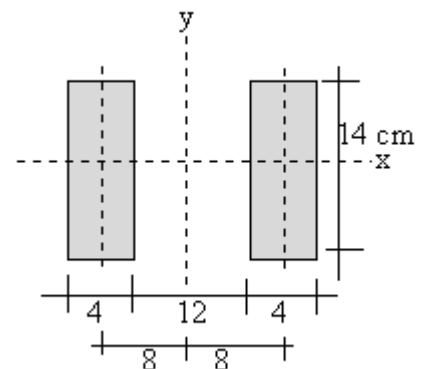
Jika lebar bagian $b \leq 18$ cm harus dipasang 2 batang baut, dan jika $b > 18$ cm maka harus dipakai 4 baut. Untuk struktur yang memakai paku, maka baut tersebut dapat diganti dengan paku, jumlahnya sesuai dengan keperluan.

Contoh :

1. Batang ganda terdiri dari dua bagian masing-masing berukuran $4/14$ cm dan dipasang pada jarak 12 cm. Hitunglah i_x dan i_y .

Penyelesaian :

$$i_x = 0,289 \cdot h = 0,289 \cdot 14 = 4,05 \text{ cm.}$$



$$i_y = \sqrt{\frac{I_r}{F_{br}}}$$

$$F_{br} = 2 \cdot 4 \cdot 14 = 112 \text{ cm}^2.$$

$$I_r = 1/4 (I_t + 3 \cdot I_g)$$

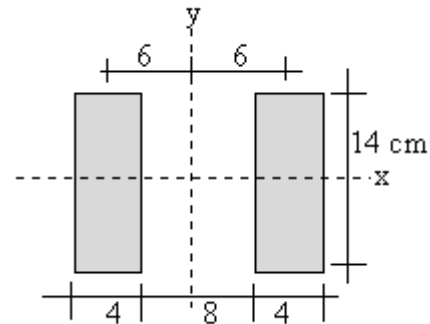
Lebar $a = 12 \text{ cm} > 2b = 2 \cdot 4 = 8 \text{ cm}$, sehingga dipakai $a = 2b = 8 \text{ cm}$.

$$I_t = 2 \cdot 1/12 \cdot 4^3 \cdot 14 + 2 \cdot 4 \cdot 14 \cdot 6^2 = 4181,33 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot (b_{gab})^3 \cdot h \\ &= 1/12 \cdot 8^3 \cdot 14 = 597,33 \text{ cm}^4 \\ &= 597,33 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_r &= 1/4 (4181,33 + 3 \cdot 597,33) \\ &= 1483,33 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{1483,33}{112}} = 3,651 \text{ cm} < i_x = 4,05 \text{ cm}$$



Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan i_y sebagai i_{min} ($= 3,651 \text{ cm}$).

2. Sebuah batang ganda terdiri dari tiga bagian masing-masing berukuran $4/12 \text{ cm}$ dan di pasang berjarak 4 cm . Hitunglah i_x dan i_y .

Penyelesaian :

$$i_x = 0,289 b = 0,289 \cdot 12 = 3,468 \text{ cm}.$$

$$a = 4 \text{ cm} < 2b = 8 \text{ cm},$$

sehingga a tetap $= 4 \text{ cm}$.

$$F_{br} = 3 \cdot 4 \cdot 12 = 144 \text{ cm}^2$$

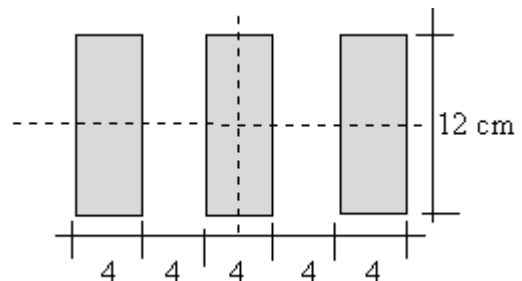
$$I_r = 1/4 (I_t + 3 \cdot I_g)$$

$$I_t = 3 \cdot 1/12 \cdot 4^3 \cdot 12 + 2 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 8^2 = 6336 \text{ cm}^4.$$

$$I_g = 1/12 \cdot (b_{gab})^3 \cdot h = 1/12 \cdot 12^3 \cdot 12 = 1728 \text{ cm}^4.$$

$$I_r = 1/4 (6336 + 3 \cdot 1728) = 2880 \text{ cm}^4.$$

$$i_y = \sqrt{\frac{2880}{144}} = 4,47 \text{ cm} > i_x = 3,468 \text{ cm}$$



Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan i_x sebagai i_{min} ($= 3,468 \text{ cm}$)

3. Diketahui kayu kelas kuat II dengan mutu A, kondisi struktur terlindung, dan sifat pembebanan sementara. Kayu tersebut digunakan sebagai tiang dan terdiri dari tiga balok dengan ukuran penampang seperti terlihat pada gambar. Panjang tekuk $l_k = 2,00 \text{ meter}$. Mampukah kayu tersebut menahan gaya desak yang bekerja sebesar $P = 2,0 \text{ ton}$?

Penyelesaian :

a. Menentukan i_{min} .

$$i_x = 0,289 b = 0,289 \cdot 14 = 4,05 \text{ cm.}$$

$$F_{br} = 14 \cdot 20 = 280 \text{ cm}^2$$

$$I_r = 1/4 (I_t + 3.I_g)$$

$$a = 6 \text{ cm} < 2b = 8 \text{ cm, sehingga } a \text{ tetap} = 6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_t &= 2 \cdot 1/12 \cdot 8^3 \cdot 14 + 1/12 \cdot 4^3 \cdot 14 + 2 \cdot 8 \cdot 14^2 \\ &= 33\,625,3333 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 1/12 \cdot (b_{gab})^3 \cdot h \\ &= 1/12 \cdot 20^3 \cdot 14 \\ &= 9383,3333 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_r &= 1/4 (33\,625,3333 + 3 \cdot 9383,3333) \\ &= 15\,806,3333 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{15806,3333}{280}} = 7,408 \text{ cm} > i_x = 4,05 \text{ cm}$$

Sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan i_x sebagai i_{min} ($= 4,05 \text{ cm}$).

b. Kontrol batang.

$$\text{Kayu Kelas Kuat II} \longrightarrow \bar{\sigma}_{ds//} = 85 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Modulus elastis } E = 100.000 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Kondisi struktur terlindung} \longrightarrow \beta = 1.$$

$$\text{sifat beban sementara} \longrightarrow \gamma = 5/4.$$

Sehingga dengan memperhitungkan kondisi struktur dan pembebanan, di dapat :

$$\bar{\sigma}_{ds//} = 85 \cdot \beta \cdot \gamma = 85 \cdot 1 \cdot 5/4 = 106,25 \text{ kg/cm}^2.$$

$$l_k = L = 2,00 \text{ m} = 200 \text{ cm.}$$

$$P = 2 \text{ ton} = 2000 \text{ kg.}$$

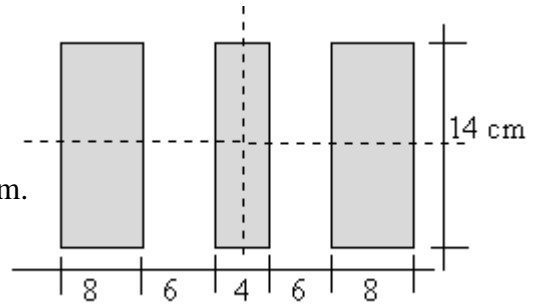
$$\lambda = \frac{l_k}{i_{min}} = \frac{200}{4,05} = 49,38$$

Dari daftar pada Lampiran 2 untuk $\lambda = 49,38$, di dapat :

$$\longrightarrow \omega = 1,494$$

$$\longrightarrow \bar{\sigma}_w = 57 \cdot 5/4 = 71,25 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{P} = \bar{\sigma}_w \cdot b_{gab} \cdot h = 71,25 \cdot 20 \cdot 14 = 19\,950 \text{ kg} > P = 2\,000 \text{ kg (aman).}$$

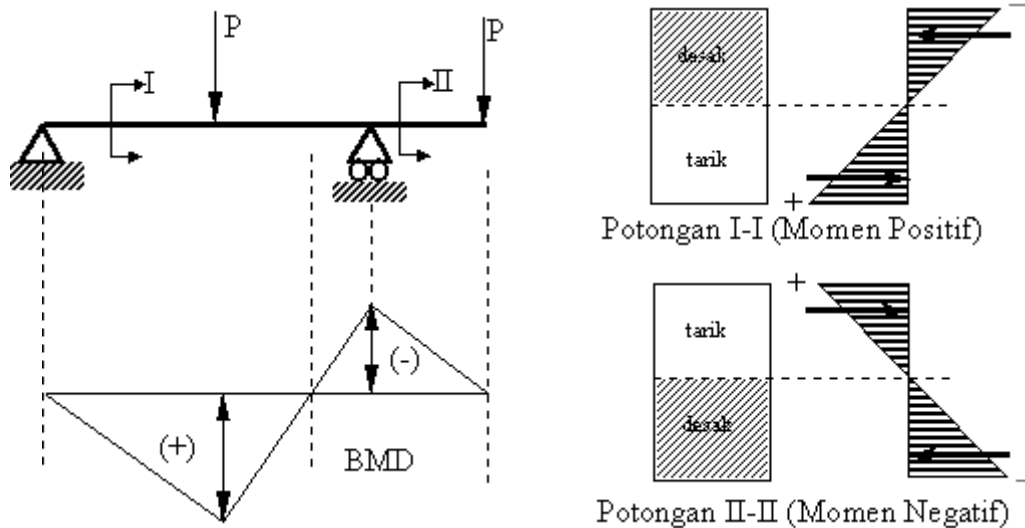


$$\sigma_{ds//} = \frac{P\omega}{F_{br}} = \frac{2000 \cdot 1,494}{280} = 10,66 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{ds//} = 106,25 \text{ kg/cm}^2 \text{ (aman).}$$

Dengan demikian berdasarkan gaya dan tegangan, maka kayu dengan ukuran tersebut diatas aman untuk menahan beban sebesar 2 ton.

E. PERENCANAAN BATANG TERLENTUR.

Adanya beban merata atau bebat titik diatas gelagar batang akan berakibat timbulnya lenturan. Dengan kata lain akibat adanya momen pada batang akan bekerja gaya lentur sehingga mengakibatkan terdesaknya bagian atas dan tertariknya bagian bawah (untuk momen positif), begitu sebaliknya pada momen negatif.



Dalam perencanaan batang gaya lentur yang terjadi harus lebih kecil dari pada gaya lentur yang diijinkan :

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma}_{lt}$$

dengan, σ_{lt} = Tegangan lentur yang terjadi.

$\bar{\sigma}_{lt}$ = Tegangan lentur yang di iijinkan.

M = Momen yang bekerja pada batang.

W = Momen tahanan batang.

Untuk batang berpenampang empat persegi panjang, maka :

$$W_x = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{\frac{1}{2}h} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

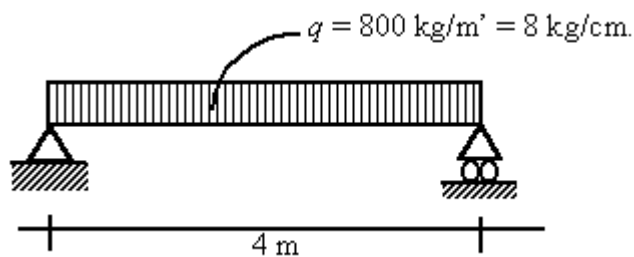
Langkah - langkah dalam merencanakan balok terlentur, sebagai berikut :

1. Mencari besarnya momen.
2. Mencari tegangan lentur yang di iijinkan.
3. Mencari momen tahanan ($W = M / \sigma_{lt}$)
4. Mencari ukuran batang dengan memasukan rumus $W = 1/6 \cdot b \cdot h^2$.
jika $b = 2 h$, maka $W = 2/3 \cdot b^3$.
5. Kontrol terhadap lendutannya (defleksinya).
6. Kontrol momen inersianya berdasarkan lendutan yang di iijinkan.

Contoh :

1. Gelagar jembatan dengan panjang bentang 4 m (sendi - rol), mendukung beban terbagi rata $q = 800 \text{ kg/m'}$. kayu yang dipakai kayu bangkirai, dengan kondisi struktur tak terlindung & beban permanen. Rencanakan ukuran balok jika lebar balok 12 cm.

Penyelesaian :



- Momen maksimum yang bekerja pada gelagar :

$$M = 1/8 \cdot q \cdot l^2 = 1/8 \cdot 8 \cdot 400^2 = 160\,000 \text{ kg cm.}$$

- Kondisi struktur tak terlindung $\beta = 5/6$.
- Sifat pembebanan permanen $\alpha = 1$.
- Tegangan ijin kayu :

Kayu bangkirai menurut daftar termasuk kelas kuat II, dengan berat jenis $g = 0,88$.

Menurut **kelas kuatnya** besarnya tegangan lentur sebesar :

$$\bar{\sigma}_{lt} = 100 \cdot 1 \cdot 5/6 = 83,33 \text{ kg/cm}^2.$$

Menurut **berat jenisnya** besarnya tegangan lentur sebesar :

$$\bar{\sigma}_{lt} = 170 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 5/6 = 124,67 \text{ kg/cm}^2.$$

Sehingga demi keamanan dipakai $\bar{\sigma}_{lt} = 83,33 \text{ kg/cm}^2$.

- Momen Tahanan :

$$W = \frac{M}{\bar{\sigma}_{lt}} = \frac{160000}{83,33} = 1920,08 \text{ cm}^3$$

- Mencari ukuran batang $W = W_x$

$$\begin{aligned} W_x &= 1/6 \cdot b \cdot h^2 = 1/6 \cdot 12 \cdot h^2 = 2 \cdot h^2 \\ 1920,08 &= 2 \cdot h^2 \\ h &= 30,98 \text{ cm} \sim 32 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dipakai ukuran kayu dengan lebar 12 cm dan tinggi 32 cm.

- Kontrol Lendutan.

Untuk balok tak terlindung lendutan maksimum $f_{max} = \frac{l}{400} = \frac{400}{400} = 1 \text{ cm}$.

$$\begin{aligned} f &= \frac{5ql^4}{384EI} \longrightarrow I = 1/12 \cdot 12 \cdot 32^3 = 32\,768 \text{ cm}^4. \\ E &= 100\,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (kelas kuat II).} \\ q &= 800 \text{ kg/m} = 8 \text{ kg/cm.} \\ f &= \frac{5 \cdot 8 \cdot 400^4}{384 \cdot 100000 \cdot 32768} \\ f &= 0,814 \text{ cm} < f_{max} = 1 \text{ cm} \quad (\text{struktur aman!}) \end{aligned}$$

- Kontrol Momen Inersia berdasarkan rumus lendutan.

$$\begin{aligned} \frac{l}{400} &\geq \frac{5ql^4}{384EI} \longrightarrow I_{min} = \frac{5 \cdot 400 \cdot ql^3}{384E} \\ &2000 \cdot 8 \cdot 400^3 \\ I_{min} &= \frac{5 \cdot 400 \cdot 8 \cdot 400^3}{384 \cdot 100000} \\ I_{min} &= 26\,666,67 \text{ cm}^4 < I = 32\,768 \text{ cm}^4. \text{ (struktur cukup aman!).} \end{aligned}$$

Dengan demikian kayu ukuran 12 x 32 (cm) dapat dipakai.

I. PERENCANAAN BATANG YANG MENERIMA MOMEN & GAYA NORMAL

Tidak jarang suatu gelagar disamping menerima momen juga menerima gaya normal. Misalnya pada batang kuda-kuda, disamping menerima momen akibat adanya beban merata, juga menahan beban berupa gaya batang. Dengan adanya dua beban yang bekerja pada batang tersebut, maka akan menerima tegangan gabungan secara bersamaan, yaitu tegangan lentur dan tegangan tarik atau tegangan desak.

1. Bila yang terjadi adalah momen dan gaya tarik, maka tegangan gabungan yang terjadi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \alpha \frac{M}{W} + \frac{P}{F_{nt}} \leq \bar{\sigma}_{tr}$$

dengan, σ = Tegangan yang terjadi (kg/cm²).

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{tr} &= \text{Tegangan tarik yang di iijinkan (kg/cm}^2\text{).} \\ M &= \text{Momen yang bekerja pada batang (kg cm).} \\ W &= \text{Momen tahanan batang (cm}^3\text{).} \\ P &= \text{Gaya tarik (kg).} \\ F_{nt} &= \text{Luas bersih batang tarik (cm}^2\text{).} \\ \alpha &= \frac{\bar{\sigma}_{tr}}{\bar{\sigma}_{lt}}\end{aligned}$$

2. Bila yang terjadi adalah momen dan gaya desak, maka tegangan gabungan yang terjadi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \alpha \frac{M}{W} + \omega \frac{P}{F_{br}} \leq \bar{\sigma}_{ds}$$

dengan, σ = Tegangan yang terjadi (kg/cm²).

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{ds} &= \text{Tegangan desak yang di iijinkan (kg/cm}^2\text{).} \\ M &= \text{Momen yang bekerja pada batang (kg cm).} \\ W &= \text{Momen tahanan batang (cm}^3\text{).} \\ P &= \text{Gaya tarik (kg).} \\ F_{br} &= \text{Luas penampang brutto (cm}^2\text{).} \\ \alpha &= \frac{\bar{\sigma}_{ds}}{\bar{\sigma}_{lt}} \\ \omega &= \text{Faktor tekuk.}\end{aligned}$$

Bila batang berpenampang empat persegi panjang dan momen bekerja arah sumbu x , maka $W_x = 1/6 bh^2$. Untuk merencanakan ukuran balok terlentur, yang diketahui adalah besarnya momen, tegangan ijin lentur, dan yang akan dicari adalah ukuran - ukuran batang. Untuk itu hitunglah terlebih dahulu besaran momen tahanan (W) dengan rumus di atas. Misalnya : $b = 1/2 h$, maka $W = 1/12 h^3$.

Contoh :

1. Suatu gelagar berbentuk 400 cm menahan momen 4200 kg cm dan gaya tarik sebesar 2500 kg. Ukuran gelagar 8/12 (cm). Apakah gelagar tersebut kuat jika terbuat dari kayu dengan kelas kuat II. Kondisi struktur terlindung, sifat pembebanan tetap dan menggunakan sambungan baut.

Penyelesaian :

- Mencari tegangan ijin.

Kayu kelas kuat II, beban tetap, struktur terlindung maka berdasarkan tabel di

dapat : $\bar{\sigma}_{lt} = 100 \text{ kg/cm}^2$.

$$\bar{\sigma}_{tr} = 85 \text{ kg/cm}^2.$$

- Mencari luas bersih batang tarik (F_{nt}).

Sambungan yang dipakai sambungan baut dan gigi $F_{br} / F_{nt} = 1,25$

sehingga didapat : $F_{nt} = F_{br} / 1,25 = 8 \cdot 12 / 1,25 = 76,8$.

- Mencari momen tahanan (W).

$$W = 1/6 \cdot b \cdot h^2 = 1/6 \cdot 8 \cdot 12^2 = 192 \text{ cm}^3.$$

- Kontrol tegangan.

$$\begin{aligned} \sigma &= \alpha \frac{M}{W} + \frac{P}{F_{nt}} \\ &= \frac{85}{100} \cdot \frac{4200}{192} + \frac{2500}{76,8} \\ &= 18,594 + 32,552 \\ &= 51,15 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\sigma}_{tr} = 85 \text{ kg/cm}^2 \text{ (struktur aman)} \end{aligned}$$

- Dengan demikian gelagar dengan ukuran 8/12 (cm) dapat menahan beban diatas.
2. Bila gelagar dengan kualitas serupa diatas berukuran 12/18 (cm) menahan gaya tekan sebesar 4 000 kg dan momen sebesar 35 000 kg cm.
- a. Mampukah kayu menahan beban tersebut.
 - b. Jika tidak mampu, rencanakan ukuran kayu yang mampu menahan beban tersebut diatas.

Penyelesaian :

- a. Kontrol struktur.

- Tegangan ijin : $\bar{\sigma}_{lt} = 100 \text{ kg/cm}^2$ dan $\bar{\sigma}_{ds} = 85 \text{ kg/cm}^2$.

- Mencari Faktor Tekuk (ω).

Panjang tekuk dianggap $l_k = l = 400 \text{ cm}$.

$$\text{Angka kelangsingan, } \lambda = \frac{l_k}{i_{\min}} = \frac{400}{0,289 \cdot 12} = 114,3$$

Dari daftar untuk $\lambda = 114,3$ di dapat $\omega = 4,08$.

- Kontrol tegangan.

$$\sigma = \alpha \frac{M}{W} + \omega \frac{P}{F_{br}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{85}{100} \cdot \frac{35000}{1/6.12.18^2} + 4,08 \cdot \frac{4000}{12.18} \\
&= 121,46 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_{ds} = 85 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

Ukuran kayu di atas tidak memenuhi syarat, sehingga perlu diperbesar

b. Perencanaan Ukuran.

- Dicoba ukuran kayu dengan $b = 12 \text{ cm}$ dan $h = 2.b = 2 \cdot 12 = 24 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
\sigma &= \alpha \frac{M}{W} + \omega \frac{P}{F_{br}} \\
&= \frac{85}{100} \cdot \frac{35000}{1/6.12.24^2} + 4,08 \cdot \frac{4000}{12.24} \\
&= 82,49 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{ds} = 85 \text{ kg/cm}^2 \text{ (aman !).}
\end{aligned}$$

Ukuran 12/24 (cm) sudah memenuhi syarat untuk menahan beban tersebut.

- Jika dicoba dengan kayu ukuran $b = 14 \text{ cm}$ dan $h = 2.b = 2 \cdot 14 = 28 \text{ cm}$.

$$\text{Angka kelangsingan, } \lambda = \frac{l_k}{i_{\min}} = \frac{400}{0,289.14} = 98,36$$

Dari daftar untuk $\lambda = 98,36$ di dapat $\omega = 2,88$.

$$\begin{aligned}
\sigma &= \alpha \frac{M}{W} + \omega \frac{P}{F_{br}} \\
&= \frac{85}{100} \cdot \frac{35000}{1/6.14.28^2} + 2,88 \cdot \frac{4000}{14.28} \\
&= 45,65 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{ds} = 85 \text{ kg/cm}^2 \text{ (aman !).}
\end{aligned}$$

Ukuran 14/28 (cm) sudah memenuhi syarat untuk menahan beban tersebut, namun kurang efisien. Yang paling efisien adalah kayu ukuran berapa?.

J. Soal Latihan Bab II dan Ban III.

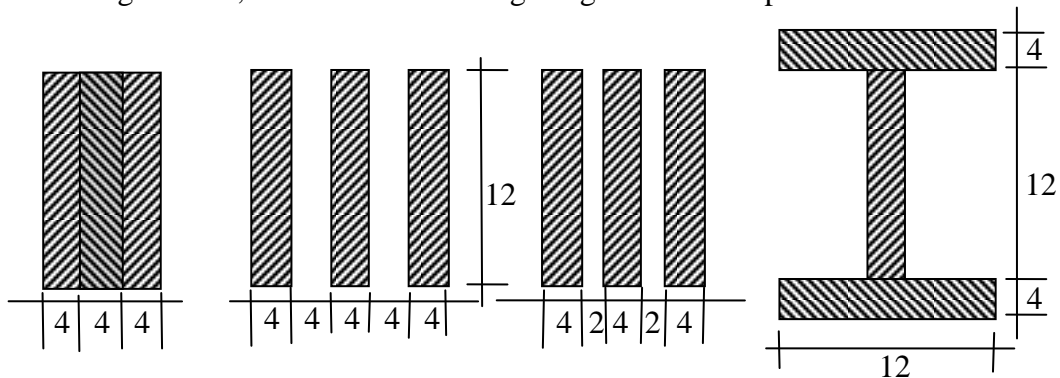
1. Dalam kaitannya dengan tegangan ijin kayu, jelaskan perbedaan dan persamaan dari :
 - a. Muatan tetap dan muatan sementara.
 - b. Kayu mutu A dan Kayu mutu B.
 - c. Konstruksi terlindung dan konstruksi tidak terlindung.
2. Mengapa pada batang-batang tarik yang luasan penampangnya berkurang akibat adanya alat sambung dan sambungan harus diperhitungkan dalam perencanaan ?
3. Gambarkan dalam suatu bentuk bagan alair, urutan langkah dalam menetapkan tegangan ijin kayu.

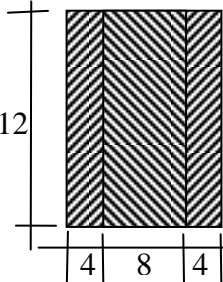
4. Konstruksi Jembatan Kayu akan menggunakan kayu ulin (sering juga disebut kayu besi) dengan mutu A dan pembebanannya merupakan beban sementara. Hitunglah tegangan-tegangan ijin guna perencanaan jembatan kayu tersebut.
5. Suatu jenis kayu akan dipakai sebagai rangka kuda-kuda yang menahan sebagai beban angin. Dari pengujian diperoleh data bahwa rerata berat jenis kayu kering adalah $0,53 \text{ ton/m}^3$. Bila kayu tersebut bermutu B, berapakah tegangan tekan ijin untuk gaya yang bersudut 45° .
6. Setelah diteliti lebih mendalam ternyata kayu pada soal nomer 5, dalam perdagangan disebut kayu Mahoni. Hitunglah kembali tegangan tekan ijin untuk gaya yang bersudut 45° . Kemudian tetapkan besaran ijin yang mana yang sebaiknya dipakai dalam perencanaan dan berikan alasannya mengapa ?
7. Suatu jenis kayu akan dipakai dalam rangka kuda-kuda yang menahan beban angin. Dari pengujian diperoleh data rata-rata berat jenis kayu kering udara adalah $0,54 \text{ ton/m}^3$. Bila kayu tersebut bermutu B, berapakah tegangan desak ijin gaya yang bekerja dengan sudut 45° arah serat kayu ?
8. Isilah tabel dibawah ini dengan rumus-rumus perhitungan perencanaan dan kontrol dimensi elemen batang.

	Macam Pembebanan				
	Tarik	Tekan	Momen	Momen + Tarik	Momen + Desak
Rumus Perencanaan					
Rumus Kontrol					

9. Batang tarik kuda-kuda kayu ukuran 8/14 cm menggunakan kayu Jati mutu B, konstruksi terlindung, beban sementara, dan menggunakan sambungan baut dan gigi.
 - a. Berapa gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh batang tarik tersebut ?
 - b. Bila paku digunakan sebagai alat penyambung, berapa besar gaya tarik maksimum yang dapat ditahan ?
 - c. Mengapa berbedanya alat penyambung menyebabkan terjadinya perbedaan besaran gaya tarik ?
10. Gaya tekan sebesar 3500 kg bekerja pada sebatang tiang kayu Mahoni mutu B, konstruksi terlindung dengan beban tetap. Tinggi tiang (sama panjang dengan tekuk batang) adalah 3,75 m.

- a. Rencanakan ukuran tiang bila menggunakan penampang berbentuk lingkaran, bujur sangkar dan persegi panjang dengan $h = 2b$.
 - b. Dari ketiga macam penampang tiang tersebut, manakah yang paling ekonomis bila ditinjau dari luas penampang tiang.
11. Empat kombinasi batang berganda yang terdiri dari gabungan tiga kayu ukuran 4/14 cm tersusun sebagaimana gambar dibawah ini. Tinggi tekuk batang 3,6 meter, kayu keruing mutu B, konstruksi terlindung dengan baban tetap.



12.  Suatu gelagar menerima momen sebesar 600 kgm dan gaya tarik sebesar 4800 kg. Gelagar tersebut terdiri dari 3 batang kayu tersusun yang berukuran 1 x 8/12 dan 2 x 4/12 (cm) yang disatukan dengan paku sebagaimana pada gambar disamping.

Kayu yang dipakai kelas kuat II, mutu A, muatan tetap dan kondisi struktur terlindung.

- a. Kuatkah batang tersebut menahan beban yang bekerja ?
 - b. Bila gaya tarik dibedakan, berapa momen maksimum yang dapat ditahan gelagar tersusun tersebut.
13. Rencanakan kayu yang mampu menahan gaya tarik 3,8 ton dan momen sebesar 2,1 ton meter. Kayu yang dipakai adalah kayu keruing mutu B, dengan sifat pembebanan sementara dan kondisi terlindung.
14. Suatu tiang kayu bulat berdiameter 14 cm menerima gaya tekan sebesar 2,8 ton. Bila panjang tekuk tiang tersebut adalah 3,6 meter hitung tegangan tekan yang terjadi pada tiang tersebut. Kayu yang dipakai adalah kayu Keruing bermutu B, sifat pembebanan sementara, digunakan diluar ruangan tidak terlindung.

BAB IV SAMBUNGAN DAN ALAT SAMBUNG

Sebagaimana pada struktur yang lain, pada struktur kayu juga di perlukan sambungan. Sambungan dibutuhkan untuk merangkai elemen batang menjadi suatu struktur. Ada dua macam sambungan yaitu : *sambungan titik buhul* (yaitu sambungan untuk merangkai buhul / simpul struktur) dan *sambungan perpanjangan* (yaitu sambungan yang dibutuhkan untuk mendapatkan panjang kayu yang sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan).

Karakteristik sambungan kayu (baik sambungan titik buhul maupun sambungan perpanjangan) tidak kaku artinya bahwa pada sambungan masih terjadi adanya deformasi atau pergeseran pada sambungan, dengan demikian sifat sambungan tersebut tidak dapat menahan momen (atau momennya selalu sama dengan nol).

Tiga hal pokok yang harus diketahui tentang sambungan pada struktur kayu, yaitu :

1. Macam dan jenis alat penyambung.
2. Besaran dan arah gaya dari elemen batang yang disambung.
3. Ukuran-ukuran dan jenis bahan dari elemen batang yang akan disambung.

Alat penyambung yang sering digunakan pada struktur kayu adalah perekat, paku, pasak dan baut. Disamping itu terdapat pula berbagai alat sambung “modern” , sehingga berdasarkan jenisnya dapat digunakan sebagai berikut :

1. Sambungan Paku.
2. Sambungan baut.
3. Sambungan gigi.
4. Sambungan perekat (lem).
5. Sambungan Pasak (baik pasak kayu maupun pasak besi).

Pasak besi misalnya : Split-ring connector, toothet ring connector, Bulldog connector, claw plate connector, spike grid connector, dan laian-lain.

Fungsi alat sambung adalah mengalihkan dan menahan gaya-gaya yang terjadi dari elemen batang yang satu kepada elemen batang lain yang akan disambung. Macam gaya yang terjadi dan macam alat sambung, yang biasanya dipakai untuk menahan :

gaya geser	→	perekat, baut, paku, pasak kayu.
lentur	→	baut, paku, pasak.
jangkit	→	pasak.
desak	→	kokot bulldog, cincin belah (split-rig connector), dan lain-lain.

A. SAMBUNGAN PAKU.

Beberapa keuntungan menggunakan sambungan paku, diantaranya :

1. Efisiensi kekakuan sambungan cukup besar (efisiensi kekakuan sambungan perekat sekitar 100 %, pasak 60 %, paku 50 %, dan baut 30 %).
2. Perlemahan relatif kecil (sekitar 10 %) dan dapat diabaikan.
3. Kekuatan sambungan tidak tergantung arah serat, dan pengaruh cacat kayu kurang.
4. Beban pada penampang lebih merata.
5. Struktur lebih kaku.
6. Dapat dikerjakan relatif lebih cepat.
7. Tidak membutuhkan tenaga ahli.
8. Harga paku relatif murah.

Dipasaran terdapat berbagai jenis, bentuk dan ukuran paku, diantaranya bulat, segitiga, persegi, maupun menggunakan alur spiral. Paling umum digunakan adalah paku berpenampang bulat.

Kekuatan ijin (beban) yang dapat ditahan oleh satu paku = S tergantung pada :

1. Diameter paku = d (cm).
2. Tebal kayu = b (cm).
3. Kelangsingan paku = b/d .
4. Kekuatan tegangan ijin desak kayu = $\bar{\sigma}_{ds}$ (kg/cm²).

Menurut PKKI Pasal 15 ayat 3, untuk sambungan yang menyimpang dari daftar yang terdapat pada Tabel 4.1 dapat dipakai rumus dibawah ini :

- a. Untuk sambungan bertampang satu.

$$S = 1/2 \cdot b \cdot d \cdot \bar{\sigma}_{ds} \longrightarrow b \leq 7d$$

$$S = 3,5 \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_{ds} \longrightarrow b \geq 7d$$

- b. Untuk sambungan bertampang dua.

$$S = b \cdot d \cdot \bar{\sigma}_{ds} \longrightarrow b \leq 7d$$

$$S = 7 \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_{ds} \longrightarrow b \geq 7d$$

dengan, S = Gaya yang diijinkan per paku (kg/cm²).

b = Tebal kayu (mm).

d = Diameter paku (mm).

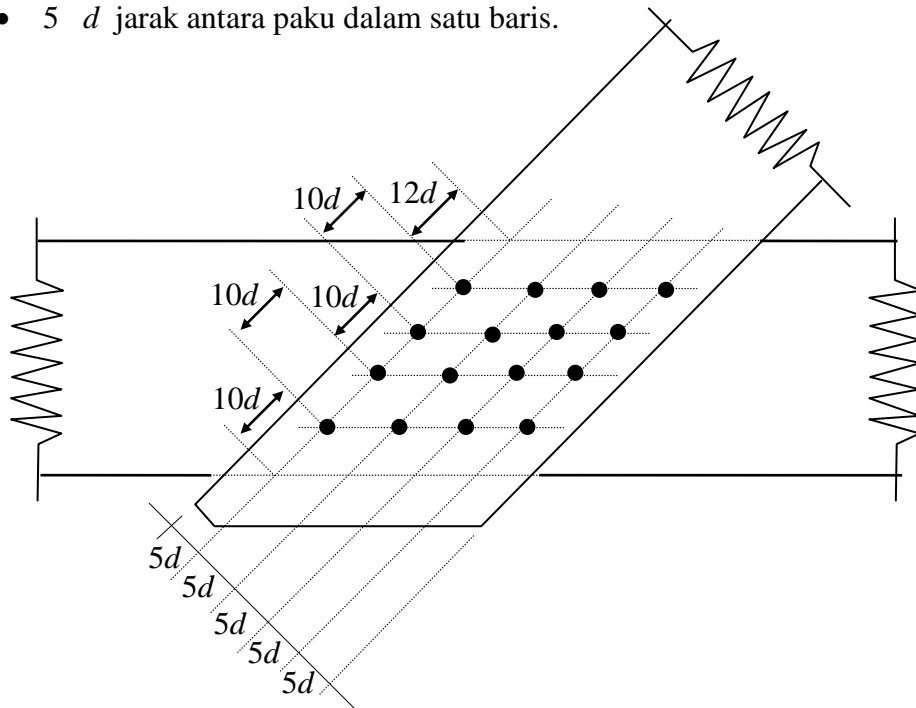
$\bar{\sigma}_{ds}$ = Tegangan ijin desak kayu (kg/cm²).

Tabel 4.1. Beban Yang Dapat Ditahan Oleh Setiap Paku								
No.	Tebal Kayu (mm) = b	Diameter Paku (1/10 mm) Panjang Paku (mm)	Kelangsingan $\lambda = b/d$	l/b	S = Kekuatan 1 Paku Tampang Satu (kg)			
					Bj = 0,3 $\bar{\sigma}_{ds} = 75$	Bj = 0,4 $\bar{\sigma}_{ds} = 100$	Bj = 0,5 $\bar{\sigma}_{ds} = 125$	Bj = 0,6 $\bar{\sigma}_{ds} = 150$
1	20	28/51 (2"BWG12)	7.2	2.5	20	27	34	41
		31/63 (2,5"BWG13)	6.5	3.2	23	31	38	46
		34/76 (3"BWG14)	5.9	3.8	25	34	42	51
2	25	31/63 (2,5"BWG13)	8.1	2.5	24	33	42	50
		34/76 (3"BWG14)	7.4	3.0	32	40	50	60
		38/89 (3,5"BWG16)	6.6	3.6	35	47	59	70
3	30	34/76 (3"BWG14)	8.8	2.5	30	40	50	60
		38/89 (3,5"BWG16)	7.9	3.0	38	50	63	75
		42/102 (4"BWG17)	6.5	3.4	47	63	78	94
4	35	38/89 (3,5" BWG 16)	9.2	2.5	38	50	63	75
		42/102 (3,5" BWG 17)	8.3	2.9	46	61	77	92
5	40	42/102 (3,5"BWG17)	9.5	2.5	46	61	77	92
		52/114 (4,5"BWG21)	7.6	2.9	70	94	118	142
Catatan :								
Untuk paku yang ukurannya memenuhi syarat sambungan bertampang dua, maka kekuatan paku menjadi 2xS dari daftar di atas								

Syarat-syarat pokok yang harus diperhatikan dalam menggunakan sambungan paku sebagai berikut :

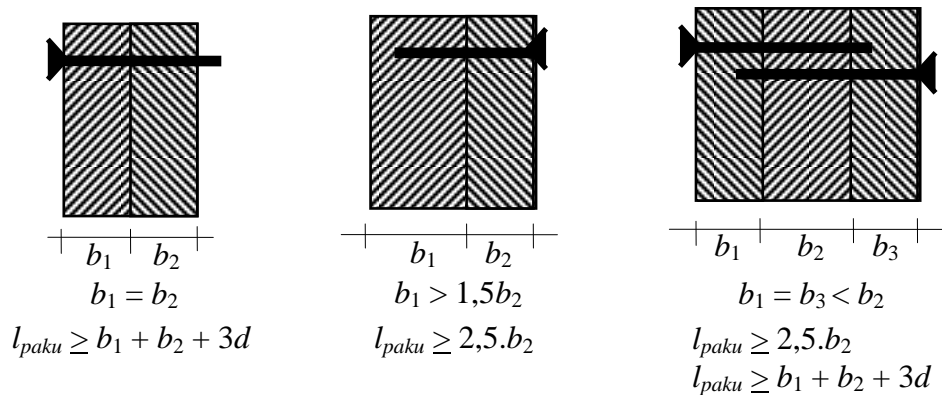
1. Kekuatan paku tidak dipengaruhi oleh sudut penyimpangan arah gaya dan arah serat.
2. Jika paku digunakan pada struktur yang selalu basah (kadar lengas tinggi), maka kekuatan paku harus dikalikan 2/3.
3. Jika digunakan pada struktur tak terlindung, maka harus dikalikan 5/6.
4. Jika beban yang ditahan berupa beban sementara, maka kekuatan paku dapat dinaikan 25 % (dikalikan dengan 1,25).
5. Apabila dalam satu baris terdapat lebih dari 10 batang, maka kekuatan paku dikurangi 10 % (dikalikan 0,90), dan bila lebih dari 20 batang paku, maka kekuatannya dikurangi 20 % (dikalikan 0,80).
6. Pada struktur dengan sambungan paku, maka paling sedikit di pakai 4 buah paku.
7. Jarak paku minimum harus memenuhi syarat seperti pada Gambar 4.1.
 - a. Jarak searah gaya :
 - 12 d untuk tepi kayu yang dibebani.
 - 5 d untuk tepi kayu yang tidak di bebani
 - 10 d jarak antara paku dalam satu baris.
 - b. Jarak tegak lurus arah gaya.

- $5d$ untuk jarak sampai tepi kayu.
- $5d$ jarak antara paku dalam satu baris.

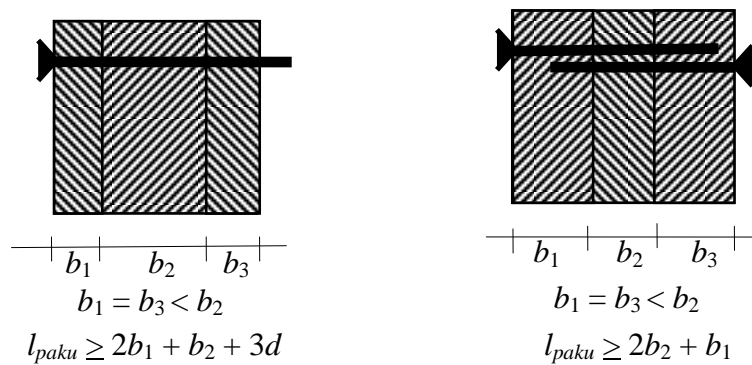


Gambar 4.1. Jarak Sambungan Arah Gaya dan Tegak Lurus

8. Panjang paku minimum seperti terlihat pada Gambar 4.2a dan 4.2b.



Gambar 4.2a. Panjang Paku Minimum Untuk Struktur Tampang Satu.



Gambar 4.2b. Panjang Paku Minimum Untuk Struktur Tampang Dua.

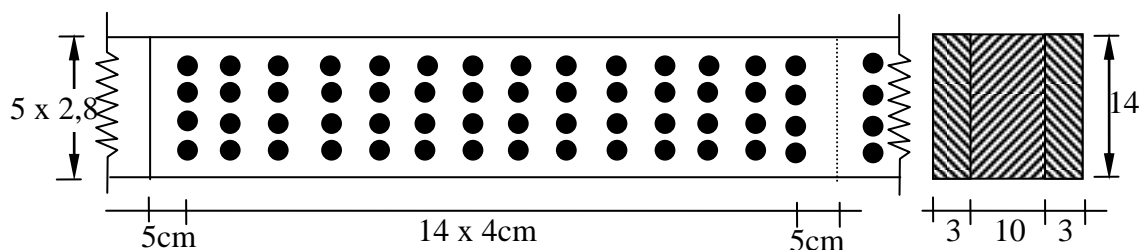
9. Ujung paku yang keluar dari sambungan dibengkokkan tegak lurus arah serat, dengan catatan tidak merusak kayu.

Contoh :

1. Sebuah batang kayu *melur* berukuran 10/14 menahan beban tarik sebesar $P = 6000$ kg. Struktur terlindung dan beban permanen. Rencanakan sambungannya dengan paku dan Gambarkan.

➤ Penyelesaian :

- Sebagai plat sambung dipakai ukuran 2 x 5/14
- Berdasarkan daftar ukuran paku dipakai paku ukuran 3,5" BWG 16, dengan berat jenis kayu melur = 0,50 didapat kekuatan satu paku $S = 63$ kg untuk tampang satu.
- Jumlah paku yang dibutuhkan = $6000/63 = 95,2$ buah ~ 96 buah.
- Dipakai 4 baris paku dengan jarak = $14/5 = 2,8$ cm $> 5d$
- Jumlah paku setiap baris = $96/4 = 24$ buah.
- Karena jumlah paku per baris lebih dari 10 paku, maka kekuatan satu paku harus dikurangi 10 % (atau dikalikan dengan 0,9).
- Sehingga kekuatan satu paku menjadi $S = 63$ kg $\cdot 0,9 = 56,7$ kg.
- Dengan 4 baris jumlah paku menjadi $n = 6000/56,7 = 106$ buah.
- Masing-masing setiap baris = $106 / 4 = 26,5$ buah ~ dipakai 28 buah paku.



Gambar 4.3.

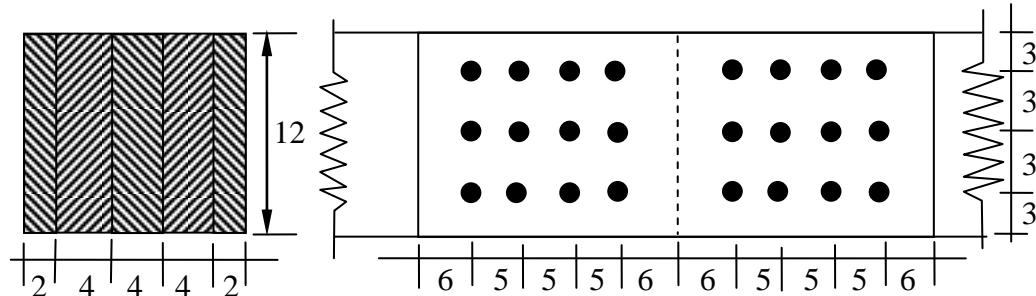
2. Batang tarik berukuran 2 x 4/12 (cm) terbuat dari kayu Damar (*agathis*). Gaya yang ditahan $P = 4$ ton, yang disebabkan oleh beban sementara pada struktur terlindung. Rencanakan dengan sambungan paku.

Penyelesaian :

- Akibat beban sementara koreksi kekuatan = 1,25.
- Akibat struktur tak terlindung koreksi kekuatan = 5/6.
- Plat penyambung yang digunakan 1 x 4/12 dan 2 x 4/12.

- Dipakai paku ukuran 4" BWG 7, diambil dari daftar paku bulat, maka didapat diameter paku $d = 0,457$ cm.

Berat jenis kayu melur berdasarkan daftar pada Lampiran 1, didapat $g = 0,47$ sehingga didapat tegangan ijin desak $\bar{\sigma}_{ds} = 118 \text{ kg/cm}^2$.



Gambar 4.4.

- Sambungannya merupakan sambungan tampang dua, sehingga kekuatan untuk satu paku didapat :

$$S = d \cdot b \cdot \bar{\sigma}_{ds} = 0,457 \cdot 4 \cdot 118 = 215,7 \text{ kg atau}$$

$$S = 7 \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_{ds} = 7 \cdot 0,457^2 \cdot 118 = 172,5 \text{ kg.}$$

Kekuatan satu paku yang di pakai adalah S terkecil, yaitu $S = 172,5$ kg.

- Akibat kondisi pembebanan dan kelembaban, kekuatan paku harus dikalikan dengan angka koreksi, sehingga kekuatan ijin per paku :

$$S = 1,25 \cdot 5/6 \cdot 172,5 = 180 \text{ kg.}$$

- Jumlah paku yang dibutuhkan (untuk $P = 4\,000$ kg) :

$$n = 4000 / 180 = 22,2 \text{ buah} \sim 24 \text{ buah.}$$

Sehingga di pakai jumlah paku sebanyak 24 buah (masing-masing 12 buah).

3. Dari sebuah titik buhul kuda-kuda, diketahui batang diagonalnya berukuran $1 \times 6/12$ dan batang horisontalnya berukuran $2 \times 3/12$. Sifat pembebanan permanen $P = 1100$ kg, kondisi struktur terlindung, dengan berat jenis kayu $g = 0,5$. Rencanakan sambungannya dengan paku.

Penyelesaian :

- Dari daftar (Tabel 4.1) kita pilih paku ukuran 3" BWG 10, dengan berat jenis kayu $g = 0,5$ kita dapatkan kekuatan per paku $S = 50$ kg untuk sambungan tampang satu.
- Karena struktur terlindung dengan beban permanen, maka $\beta = \gamma = 1$.
- Sehingga jumlah paku yang dibutuhkan $= 1100 / 50 = 22$ buah.
- Untuk satu tampang digunakan paku sebanyak 12 buah ($2 \times 12 = 24$ buah).

- Gambar 4.5.

Alat sambung baut merupakan alat sambung yang mudah diadakan bongkar pasang, tetap masih banyak dipakai walaupun masih banyak kelemahan dan kekurangannya, diantaranya : efisiensinya rendah (30 %) dan deformasinya besar (bergesernya sambungan akibat beban), serta perlemahannya cukup besar yaitu sekitar 20 % s.d. 30 %.

1. Kekuatan baut dalam menahan beban.
2. Deformasi atau bergesernya sambungan.
3. Kekuatan ijin kayu.

Ayat 1. Alat sambung baut harus dibuat dari baja *St-37 (U-23)*.

Ayat 2. Lubang harus dibuat secukupnya dan kelonggarannya harus lebih kecil dari 1,5 mm.

Ayat 3. Diameter baut paling kecil 10 mm (3/8"), bila tebal kayu lebih besar 8 cm maka diameter baut minimum 12,7 mm (1/2").

Ayat 4. Baut harus disertai pelat yang tebalnya minimum $0,3d$ dan maksimum 5 mm dengan garis tengah $3d$, atau jika mempunyai bentuk segi empat lebarnya $3d$. Jika bautnya hanya sebagai pelengkap maka tebal pelat dapat diambil minimum $0,2d$ dan maksimum 4 mm.

Ayat 5. Sambungan dengan baut dibagi dalam 3 golongan sesuai dengan klasifikasi kekuatan kayu (Kelas Kuat I, II, dan III). Agar sambungan dapat memberikan hasil yang sebaik-baiknya, maka besarnya S untuk $\lambda_b = b/d$ harus diambil sebagai berikut :

Golongan I.

Sambungan bertampang satu ($\lambda_b = 4,8$).

$$S = 50 \cdot d \cdot b_1 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 240 \cdot d^2 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

Sambungan bertampang dua ($\lambda_b = 3,8$).

$$S = 125 \cdot d \cdot b_3 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 250 \cdot d \cdot b_1 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 480 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha).$$

Golongan II.

Sambungan bertampang satu ($\lambda_b = 5,4$).

$$S = 40 \cdot d \cdot b_1 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 215 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha).$$

Sambungan bertampang dua ($\lambda_b = 4,3$).

$$S = 100 \cdot d \cdot b_3 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 200 \cdot d \cdot b_1 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 430 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha).$$

Golongan III.

Sambungan bertampang satu ($\lambda_b = 6,8$).

$$S = 25 \cdot d \cdot b_1 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 170 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha).$$

Sambungan bertampang dua ($\lambda_b = 4,3$).

$$S = 60 \cdot d \cdot b_3 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 120 \cdot d \cdot b_1 (1 - 0,6 \sin \alpha).$$

$$S = 340 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha).$$

dengan, S = Kekuatan sambungan (kg).

α = Sudut antara arah gaya dan arah serat.

b_1 = Tebal kayu tepi (cm).

b_3 = Tebal kayu tengah (cm).

d = Garis tengah baut, diameter baut (cm).

Ayat 6. Bila dalam sambungan bertampang satu, salah satu batangnya besi (baja) serta sambungan bertampang dua pelat penyambung besi (baja), kekuatan per baut (S) dapat dinaikan 25 %.

Ayat 7. Bila baut dipakai pada konstruksi yang tak terlindung, maka kekuatan S dikalikan dengan faktor sebesar $5/6$. Bila dipakai pada konstruksi yang terendam air, maka S dikalikan dengan faktor $2/3$.

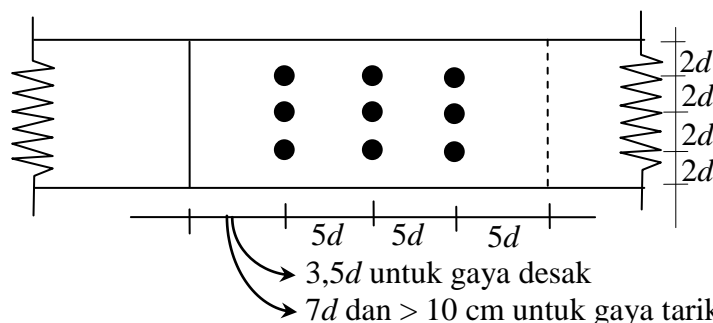
Ayat 8. Untuk konstruksi yang disebabkan oleh kekuatan tetap dan tidak tetap maka kekuatan dikalikan dengan faktor $5/4$.

Ayat 9. Penempatan baut harus memenuhi syarat sebagai berikut :

a. Arah gaya searah serat kayu (Gambar 4.6).

Jarak minimum :

- Antara sumbu baut dan ujung kayu :
 - Kayu muka yang dibebani = $7d$ dan > 10 cm.
 - Kayu muka yang tidak dibebani = $3,5d$.
- Antara sumbu baut dalam arah gaya = $5d$.
- Antara sumbu baut tegak lurus arah gaya = $3d$.
- Antara sumbu baut dengan tepi kayu = $2d$.



Gambar 4.6. Sambungan baut yang menerima beban searah serat.

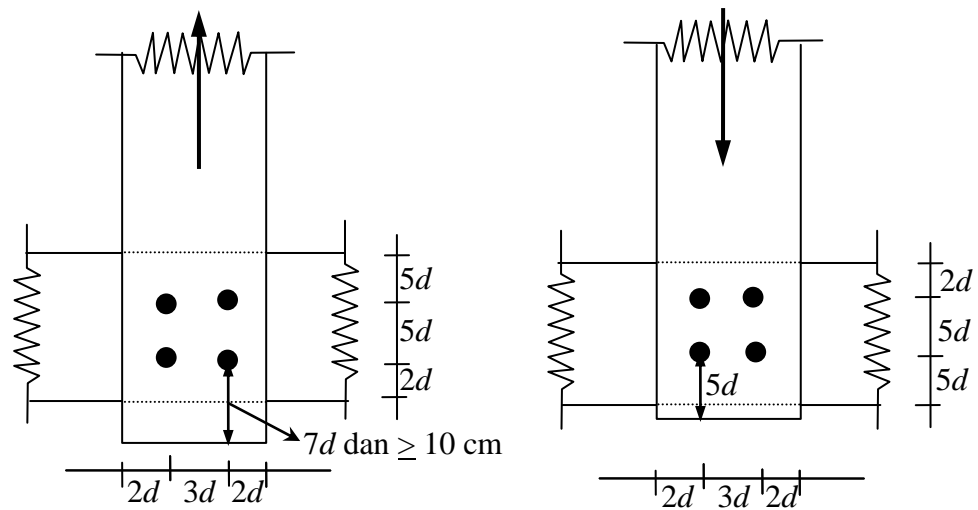
b. Arah gaya tegak lurus arah serat (Gambar 4.7).

Jarak minimum :

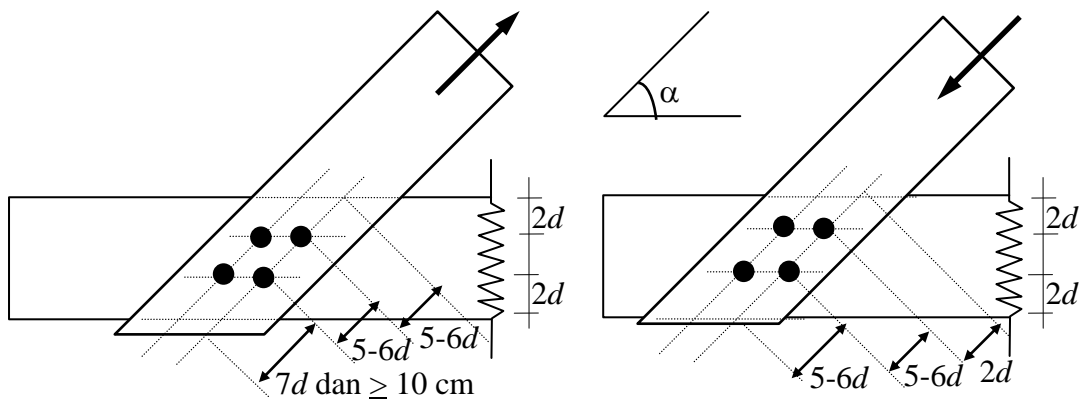
- Antara sumbu baut dan tepi kayu (// terhadap gayanya).
 - Kayu muka yang dibebani = $5d$.

→ Kayu muka yang tidak dibebani = $2d$.

- Antara baut dengan baut searah gaya = $5d$.
- Antara baut dengan baut tegak lurus gaya = $3d$.



Gambar 4.7. Sambungan Baut yang menerima Beban Tegak Lurus Arah Serat



Gambar 4.8. Sambungan baut yang menerima bebat membentuk sudut α .

c. Arah gaya membentuk sudut α (antara 0° - 90°) dengan arah serat kayu.

Jarak minimum :

- Antara sumbu baut dan tepi kayu.
 - Yang dibebani searah gaya = $5d$ s/d. $6d$.
 - Yang tidak dibebani = $2d$.
- Antara baut dengan sumbu baut = $5d$ s/d. $6d$.
- Antara baut dengan baut searah gaya = $3d$.

Diameter baut yang biasanya ada dipasaran : $3/8'' = 0,98$ cm.

$1/2'' = 1,27$ cm.

$5/6'' = 1,59$ cm.

$3/4'' = 1,91$ cm.

$$7/8'' = 2,22 \text{ cm.}$$

$$1'' = 2,54 \text{ cm.}$$

Contoh :

Sebuah batang kayu jati dengan berat jenis = 0,75 disambung antara sesamanya dengan baut. Gaya yang harus dipikul sebesar 6 ton. Kondisi struktur terlindung dengan beban tetap. Ukuran kayu 16/20. Rencanakan sambungannya dengan baut.

Penyelesaian :

- Kayu jati termasuk golongan dengan kelas kuat II.
- Kondisi struktur terlindung & beban permanen $\rightarrow \beta = \gamma = 1$.
- Direncanakan dengan baut berdiameter $\phi = 3/4'' = 1,91 \text{ cm}$.
- Golongan kelas kuat II dengan sambungan tampang dua, didapat kekuatan perbaut

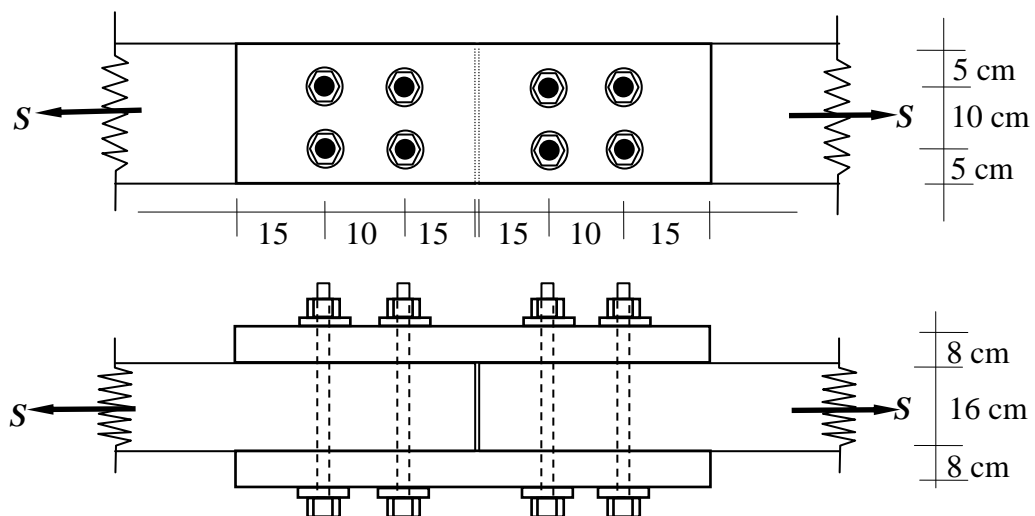
$$S = 100 \cdot d \cdot b_3 = 100 \cdot 1,91 \cdot 16 = 3060 \text{ kg}$$

$$S = 200 \cdot d \cdot b_1 = 200 \cdot 1,91 \cdot 8 = 3060 \text{ kg}$$

$$S = 430 \cdot d^2 = 430 \cdot 1,91^2 = 1570 \text{ kg}$$

diambil S yang terkecil = 1570 kg.

- Baut yang dibutuhkan = $6000/1570 = 3,82 \sim 4$ buah.
- Jarak antar sumbu baut searah serat = $5d = 5 \cdot 1,91 = 9,55 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$.
- Jarak sumbu dengan ujung sambungan = $7d = 7 \cdot 1,91 = 13,37 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$.
- Jarak baut ke tepi tegak lurus serat, diambil = $5 \text{ cm} > 2d = 2 \cdot 1,91 = 3,82 \text{ cm}$.
- Jarak antar baut tegak lurus serat, diambil = $10 \text{ cm} > 2d = 2 \cdot 1,91 = 3,82 \text{ cm}$.



Gambar 4.9. Sambungan Baut

C. SAMBUNGAN GIGI.

Pada sambungan titik buhul kayu banyak ditemui sambungan gigi, misalnya pada kuda-kuda, jembatan rangka dan sebagainya, sebagai pertemuan antara batang tepi dengan batang diagonal. Sambungan gigi itu berfungsi untuk meneruskan gaya-gaya desak. Gaya desak itu akan membentuk sudut α dengan sumbu batang tepi, haruslah kita usahakan agar bidang-bidang pertemuan kedua batang tersebut serongnya terhadap arah sama, agar tercapailah tekanan desak maksimum yang ekonomis. Disamping itu kita usahakan agar gigi itu sekecil mungkin.

Banyak cara untuk membuat arah gigi sambungan, salah satu yang paling ekonomis dan baik adalah agar gigi dibuat menurut garis bagi sudut luar sambungan (Gambar 4.10). Didalam perhitungan sambungan gigi, adanya baut dianggap hanya sebagai baut lekat saja, sehingga tidak diperhitungkan. Baut ini dapat diganti dengan sengkang.

Adapun tentang bentuk dari pada sambungan gigi ada beberapa macam ragam dan modelnya, diantaranya adalah :

1. Sambungan gigi tunggal.
2. Sambungan gigi rangkap.
3. Sambungan gigi dengan pelebaran.
4. Sambungan gigi dipertinggi

1. Sambungan Gigi Tunggal.

Pasal 16 Ayat 1 PKKI telah menetapkan aturan tentang sambungan gigi tunggal, sebagai berikut : Pada sambungan gigi gesekan antara kayu dengan kayu di dalam perhitungan harus di abaikan. Untuk sambungan gigi tunggal, dalamnya gigi tidak boleh melebihi suatu batas, yaitu :

$$t_m \leq 1/4 h \text{ untuk } \alpha \leq 50^\circ$$

$$t_m \leq 1/6 h \text{ untuk } \alpha \leq 60^\circ$$

Panjang kayu muka l_m harus dihitung $= \frac{S \cdot \cos \alpha}{\tau_{//} \cdot b}$ dan $l_m \geq 15 \text{ cm}$.

dengan, h = Tinggi batang mendatar.

b = Lebar batang horisontal.

t_m = Tinggi gigi miring.

t_v = Tinggi gigi vertikal.

α = Sudut antara batang diagonal dan horisontal.

β = Garis bagi sudut luar.

l_m = Panjang kayu di muka sambungan gigi.

S = Gaya batang diagonal.

$\bar{\tau}_{//}$ = Tegangan ijin geser batang horisontal.

Agar dalam perencanaan sambungan gigi memenuhi syarat teknis , maka perlu ditetapkan tinggi yang dibutuhkan dari pada sambungan gigi (t_v atau t_m). Pada Gambar 4.10, gaya S diuraikan menurut arah kemiringan gigi dan tegak lurus kemiringan giginya, sebagai berikut :

$$N = S \cdot \cos 1/2 \alpha$$

$$t_m = t_v / \cos 1/2 \alpha$$

Jika N sejajar arah serat, maka $\bar{\sigma}_{ds} = \bar{\sigma}_{ds //}$, Tetapi karena pada batang diagonal N membentuk sudut $1/2 \alpha$ dengan arah serat maka :

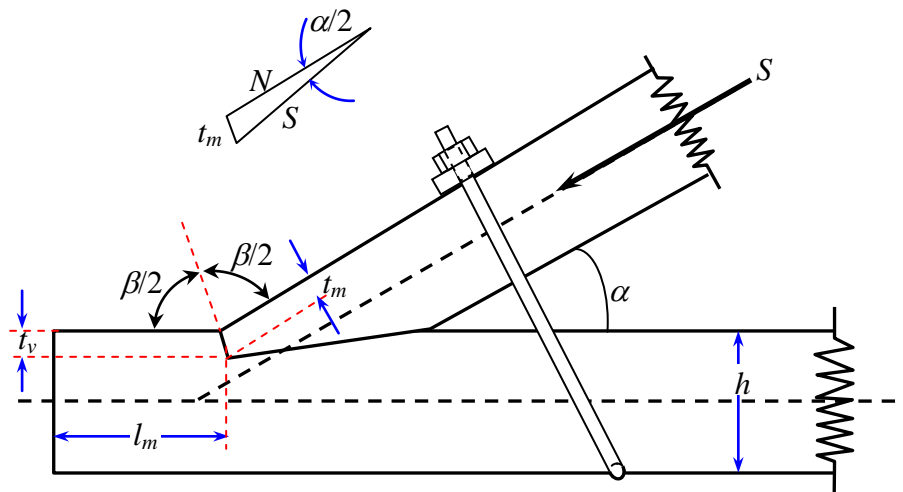
$$\bar{\sigma}_{ds} = \bar{\sigma}_{ds 1/2 \alpha} = \bar{\sigma}_{ds //} - (\bar{\sigma}_{ds //} - \bar{\sigma}_{ds \perp}) \sin 1/2 \alpha$$

dan nilai inilah yang harus dipakai.

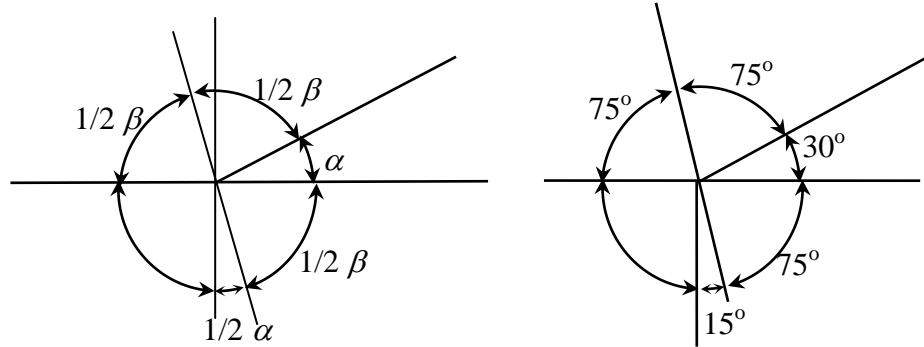
Selanjutnya,
$$\bar{\sigma}_{ds 1/2 \alpha} = \frac{N}{t_m \cdot b}$$

Sehingga didapat,
$$\bar{\sigma}_{ds 1/2 \alpha} = \frac{S \cdot \cos 1/2 \alpha \cdot \cos 1/2 \alpha}{t_v \cdot b}$$

$$t_v = \frac{S \cdot \cos^2 1/2 \alpha}{b \cdot \bar{\sigma}_{ds 1/2 \alpha}}$$

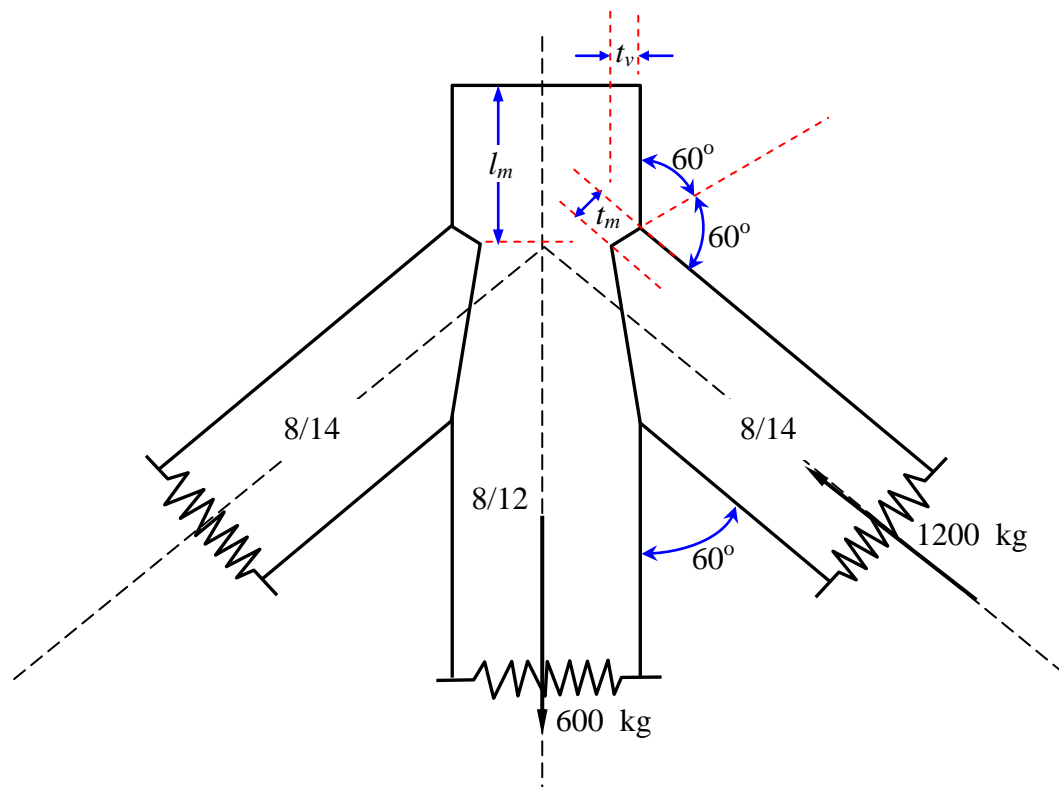


Gambar 4.10. Sambungan gigi menurut sudut luar



Contoh :

Suatu struktur kuda-kuda (Gambar 4.11) dari kayu jati, dengan ukuran batang vertikal 8/12 (cm) yang menahan gaya batang tarik sebesar 600 kg. Batang diagonal dengan ukuran 8/14 (cm) menahan gaya batang desak sebesar 1200 kg. Besarnya kemiringan batang diagonal terhadap batang vertikal sebesar $\alpha = 60^\circ$. Rencanakan struktur tersebut dengan sambungan gigi, jika **kondisi struktur terlindung** dengan **pembebanan sementara**.



Gambar 4.11.

Penyelesaian :

- Mencari tegangan ijin kayu.

Kayu jati kelas kuat I dengan kondisi struktur terlindung (=1) dan beban sementara (=5/4), maka didapat : $\bar{\sigma}_{ds//} = 150 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5/4 = 131,25 \text{ kg/cm}^2$.

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{ds\perp} &= 40 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 5/4 = 35 \text{ kg/cm}^2. \\ \bar{\tau}_{//} &= 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 5/4 = 17,5 \text{ kg/cm}^2. \\ \bar{\sigma}_{ds} = \bar{\sigma}_{ds//2\alpha} &= \bar{\sigma}_{ds//} - (\bar{\sigma}_{ds//} - \bar{\sigma}_{ds\perp}) \sin 1/2\alpha \\ &= 131,25 - (131,25 - 35) \sin 30^\circ \\ &= 83,125 \text{ kg/cm}^2.\end{aligned}$$

- Mencari panjang muka (panjang penyaluran = l_m).

Panjang kayu muka,
$$l_m = \frac{S \cdot \cos \alpha}{\bar{\tau}_{//} \cdot b} = \frac{1200 \cdot \cos 60^\circ}{17,5 \cdot 8} = 4,29 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

Dipakai $l_m = 15 \text{ cm}$.

- Mencari ukuran gigi (t_v dan t_m).

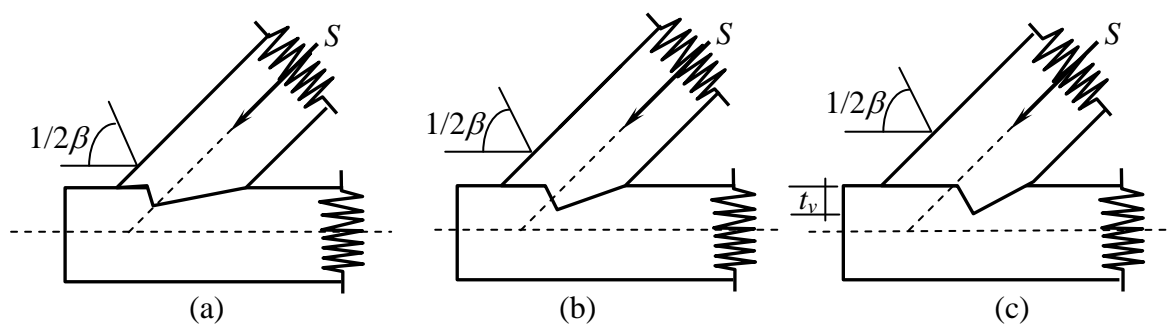
Syarat untuk $\alpha \leq 60^\circ$ t_m harus $\leq 1/6 \cdot h = 1/6 \cdot 14 = 2,33 \text{ cm}$.

Tinggi gigi batang vertikal,
$$t_v = \frac{S \cdot \cos^2 1/2\alpha}{b \cdot \bar{\sigma}_{ds//2\alpha}} = \frac{1200 \cdot \cos^2 30^\circ}{8 \cdot 83,125} = 1,35 \text{ cm}.$$

Tinggi kemiringan gigi,
$$t_m = \frac{t_v}{\cos 1/2\alpha} = \frac{1,35}{\cos 30^\circ} = 1,56 \text{ cm} < 2,33 \text{ cm}.$$

Tinggi kemiringan memenuhi syarat.

Menurut PKKI Pasal 16 Ayat 1, menyatakan bahwa syarat panjang muka l_m harus $\geq 15 \text{ cm}$, adakalanya syarat tersebut tidak dapat dipenuhi karena kondisi setempat. Untuk memenuhi syarat tersebut, letaknya gigi dipindahkan kebelakang (Gambar 4.12).



Gambar 4.12. Sambungan gigi tunggal yang ditarik kebelakang.

Pada gambar 4.12.a. gigi ditarik kebelakang sehingga ujung gigi terletak pada garis sumbu batang diagonal. Gambar 4.12.b. gigi semakin kebelakang dan tengah-tengah gigi berpotongan dengan sumbu batang diagonal. Dengan jalan demikian panjang kayu

muka bertambah besar lagi pula garis kerja gaya S tidak akan tergeser dari sumbu batang, sehingga eksentrisitas dapat dihindarkan.

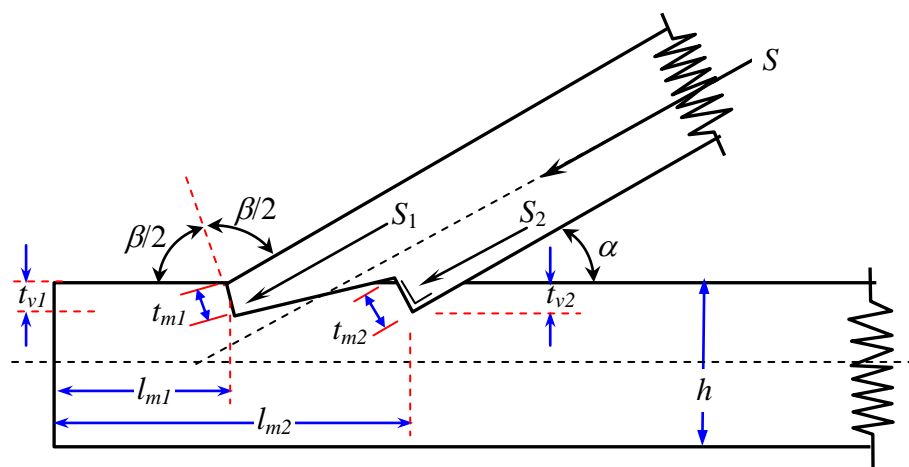
Gigi dibuat menurut garis bagi sudut luar dan perhitungan besarnya t_v tidak berubah sama sekali. Apabila besarnya l_m masih belum memenuhi syarat, maka dapatlah gigi itu ditarik kebelakang seperti dalam gambar 4.12.c. Tetapi usaha ini banyak menimbulkan keberatan-keberatan, yaitu disini timbul eksentrisitas lagi dan tambahan pula pada takikan itu akan mudah timbul retak. Untuk itu sebaiknya cara yang terakhir tidak dipakai.

Apabila dalam perhitungan panjang l_m terlalu besar, maka ada beberapa macam usaha untuk memenuhi syarat-syarat struktur, yaitu : *Dipakai gigi rangkap, memperlebar batang kayu (setempat saja), mempertinggi batang kayu (setempat saja), menggunakan kokot pada bidang takikan.*

2. Sambungan Gigi Rangkap.

Pasal 16 Ayat 2 PKKI menyebutkan bahwa untuk sambungan dengan gigi rangkap dalamnya gigi kedua harus memenuhi syarat seperti pada sambungan gigi tunggal. Disamping itu harus memenuhi pula $t_{m2} - t_{m1} \geq 1 \text{ cm}$ (Gambar 4.13).

Dengan membuat gigi rangkap eksentrisitas dapat diperkecil atau dihilangkan sama sekali. Gigi rangkap mempunyai kejelekan, bahwa dalam pelaksanaan oleh tukang-tukang kayu gigi tersebut sering dibuat tidak sesuai ukurannya, sehingga gaya yang dipikul oleh masing-masing gigi tidak sesuai dengan perhitungan kita.



Gambar 4.13. Gigi rangkap.

Didalam hal ini hendaklah diusahakan agar kedua gigi itu dibebani gaya yang sama besar (atau hanya berbeda sedikit). Disamping itu dipandang dari sudut keamanan, gaya geser H seluruhnya dianggap didukung oleh gigi kedua (yang belakang) saja.

Panjang kayu muka,
$$l_{m2} = \frac{S \cdot \cos \alpha}{\bar{\tau}_{//} \cdot b}$$

Untuk memenuhi syarat : $t_{m2} - t_{m1} \geq 1 \text{ cm}$ dan $S_1 = S_2$, maka gigi kedua tidak dapat dibuat menurut garis bagi sudut luar, melainkan dibuat tegak lurus batang serong.

Contoh :

Batang tepi diagonal dan batang mendatar mempunyai ukuran yang sama 12/16 (cm), mempunyai : $\bar{\sigma}_{ds//} = 85 \text{ kg/cm}^2$, $\bar{\sigma}_{ds\perp} = 25 \text{ kg/cm}^2$, $\bar{\tau}_{//} = 12 \text{ kg/cm}^2$. Sudut $\alpha = 30^\circ$, $S = 5500 \text{ kg}$. Beban permanen, struktur terlindung. Rencanakan dengan sambungan gigi rangkap.

Penyelesaian :

- Mencari tegangan ijin.

Gigi belakang,
$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{ds} &= \bar{\sigma}_{ds\alpha} = \bar{\sigma}_{ds//} - (\bar{\sigma}_{ds//} - \bar{\sigma}_{ds\perp}) \sin \alpha \\ &= 85 - (85 - 25) \sin 30 = 55 \text{ kg/cm}^2.\end{aligned}$$

Gigi muka,
$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{ds} &= \bar{\sigma}_{ds\ 1/2\alpha} = \bar{\sigma}_{ds//} - (\bar{\sigma}_{ds//} - \bar{\sigma}_{ds\perp}) \sin 1/2\alpha \\ &= 85 - (85 - 25) \sin 15 = 69,47 \text{ kg/cm}^2.\end{aligned}$$

- Mencari ukuran gigi belakang (t_{v2} dan t_{m2}).

Besarnya S_2 diambil $= 1/2 \cdot S = 1/2 \cdot 5500 = 2750 \text{ kg}$.

Tinggi gigi belakang,
$$t_{v2} = \frac{S_2 \cdot \cos^2 \alpha}{b \cdot \bar{\sigma}_{ds\alpha}} = \frac{2750 \cdot \cos^2 30^\circ}{12 \cdot 55} = 3,125 \text{ cm} < 1/4 h = 4 \text{ cm}$$

dipakai tinggi gigi belakang $4 \text{ cm} = 1/4 h$.

Kemiringan gigi belakang,
$$t_{m2} = \frac{t_{v2}}{\cos \alpha} = \frac{4}{\cos 30^\circ} = 4,6 \text{ cm}.$$

Dengan demikian gigi kedua dapat mendukung gaya $S_2 = 12 \cdot 4,6 \cdot 55 = 3036 \text{ kg}$.

- Mencari ukuran gigi muka (t_{v1} dan t_{m1}).

Besarnya $S_1 = S - S_2 = 5500 - 3036 = 2464 \text{ kg}$.

Tinggi gigi muka,
$$t_{v1} = \frac{S_1 \cdot \cos^2 1/2\alpha}{b \cdot \bar{\sigma}_{ds\ 1/2\alpha}} = \frac{2464 \cdot \cos^2 15^\circ}{12 \cdot 69,47} = 2,78 \text{ cm}.$$

dipakai tinggi gigi belakang 3 cm , sehingga $t_{v2} - t_{v1} = 1 \text{ cm}$

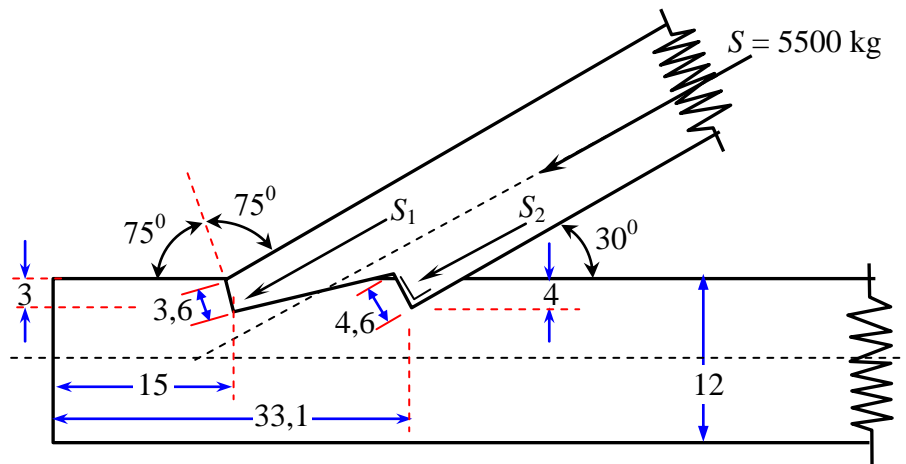
Kemiringan gigi muka,
$$t_{m1} = \frac{t_{v1}}{\cos \alpha} = \frac{3}{\cos 30^\circ} = 3,46 \text{ cm}.$$

- Mencari panjang muka gigi (panjang penyaluran = l_m).

Panjang kayu muka, $l_{m1} = \frac{S_1 \cdot \cos \alpha}{\tau_{//} \cdot b} = \frac{2464 \cdot \cos 30^\circ}{12 \cdot 12} = 14,8 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}.$

Panjang kayu belakang, $l_{m2} = \frac{S_2 \cdot \cos \alpha}{\tau_{//} \cdot b} = \frac{3036 \cdot \cos 30^\circ}{12 \cdot 12} = 18,26 \text{ cm}$

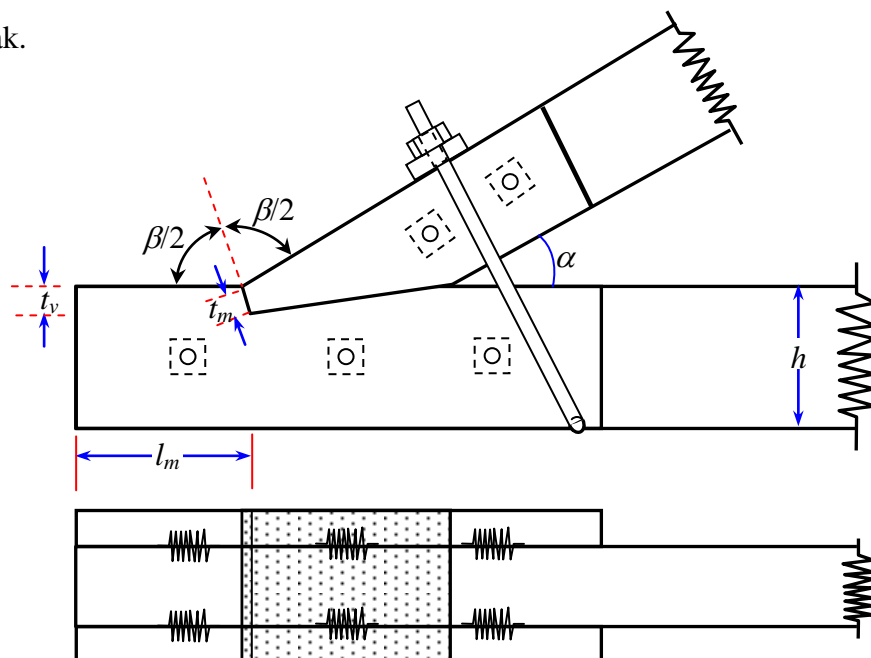
Menurut lukisan dalam gambar 4.14. yang menentukan ukuran adalah $l_{m1} = 15 \text{ cm}.$



Gambar 4.14. Gigi rangkap.

3. Sambungan Gigi Dengan Pelebaran.

Baik batang horisontal (vertikal) maupun diagonal pada titik buhul itu diperlebar dengan menempatkan papan-papan pelebaran dikedua sisi batang asli. Hubungan antara batang asli yang horisontal (vertikal) dengan papan-papan sambungannya mudah diselesaikan. Untuk menempatkan pelebaran itu cukup digunakan beberapa baut lekat saja, sebab sambungan itu merupakan sambungan desak.

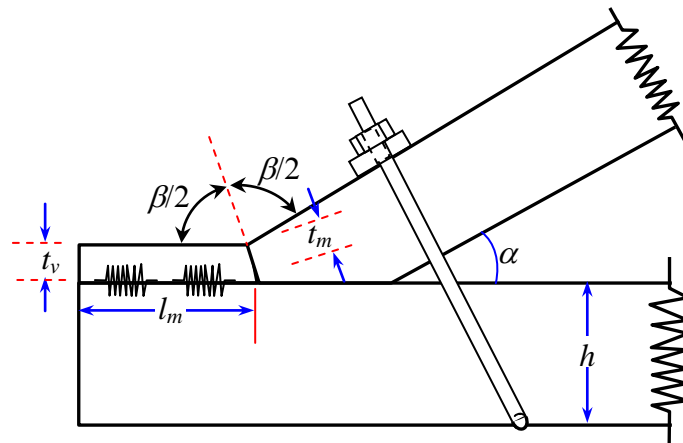


Gambar 4.15. Sambungan gigi di perlebar menurut sudut luar

4. Sambungan Gigi di Pertiinggi.

Dengan mempertinggi batang mendatar besarnya t_v dapat diperbesar hingga memenuhi syarat-syarat perhitungan. Pekerjaan dan perhitungan menjadi lebih sederhana. Batang-batang mendatar dipertiinggi sebesar t_v menurut perhitungan, sehingga disini tidak diperlukan pembuatan gigi (Gambar 4.16).

Cukuplah sudah jika papan-papan tambahan itu dibuat bentuknya yang sesuai dengan giginya. Sebagai alat sambung dapat dipergunakan kokot, cincin belah, baut biasa, paku, dan sebagainya. Alat-alat sambung itu harus dapat mendukung gaya mendatar H seluruhnya. Kejelekan dari pada cara ini, adalah kayu muka akan menjadi terlalu besar, berhubung besarnya jarak minimum yang dituntut oleh letaknya alat-alat sambung.



Gambar 4.16. Sambungan Gigi di Pertiinggi.

D. Soal Latihan Bab IV

1. Pada sebuah titik buhul sebuah rangka batang, diketahui batang D_1 berukuran $2/12$ cm dan batang horizontal berukuran $2 \times 3/12$ cm membentuk sudut 45° dengan batang horizontal. Gaya tekan yang bekerja pada D_1 sebesar $S = 1150$ kg dan merupakan beban permanen pada konstruksi terlindung. Kayu yang dipakai dari jenis Meranti dengan berat jenis $0,5$. Rencanakan sambungan dengan menggunakan paku.
2. Pada sebuah titik buhul konstruksi rangka untuk kuda-kuda, bertemu 4 batang, ukuran batang V (vertikal) $1 \times 3/12$ cm, batang D (diagonal) $1 \times 3/12$ cm, batang horizontal (H_1 dan H_2) masing-masing $2 \times 3/12$. Batang D membentuk sudut 40° terhadap batang H . Gaya yang bekerja $V = 0,5$ ton (tekan) dan $H_1 = 2,1$ ton (tarik). Konstruksi

terlindung dan beban permanen. Selesaikan sambungan pada titik buhul tersebut dengan sambungan paku, jika dipakai kayu jenis Albizia dengan $B_j = 0,3$.

3. Pada sebuah titik bertemu 4 buah batang kayu yakni H_1 , V , D dan H_2 . Batang V meneruskan gaya tarik 1,175 ton. Batang horisontal berukuran 1 x 8/14 cm dan batang vertikal 2 x 4/12 cm. Sambungan tidak boleh menonjol kebawah karena akan dipasang plafon. Konstruksi terlindung beban permanen. Rencanakan sambungan batang V dan H dengan baut (batang D tidak dipersoalkan). Kayu yang dipakai kayu Meranti kelas kuat II.
4. Batang kayu Damar dengan ukuran 8/16 cm dan 10/16 cm harus dihubungkan sesamanya dengan baut. Gaya yang diteruskan adalah 1,5 ton yang disebabkan beban sementara. Konstruksi tak terlindung. Hitung jumlah baut dan gambar penempatannya dengan baik..
5. Suatu batang tarik dari kayu Suren dengan $B_j = 0,5$ yang digunakan untuk rangka atap dengan pembebanan permanen, berukuran 1 x 8/14 cm menahan gaya tarik sebesar 0,4 ton. Batang tersebut harus disambung sesamanya dengan baut. Rencanakan sambungan tersebut.
6. Sambungan antara kaki kuda-kuda dengan balok tarik yang terbuat dari kayu kelas kuat II ($B_j = 0,60$). Sudut sambungan 40 derajat, konstruksi terlindung dan beban permanen. Rancang sambungan dengan gigi dan lengkapi dengan gambar.
7. Ditentukan gaya batang diagonal 4200 kg, sudut $\alpha = 35$ derajat, Konstruksi terlindung beban permanen, dengan $\bar{\sigma}_{ds//} = 85 \text{ kg/cm}^2$, dan $\bar{\sigma}_{ds\perp} = 25 \text{ kg/cm}^2$. Ukuran batang keduanya adalah 16/16 cm. Diminta sambungan dengan gigi.
8. Suatu titik buhul kuda-kuda, dengan ukuran batang mendatar dan batang diagonal dengan ukuran 14/16 cm dengan $B_j = 0,70$ membentuk sudut 40° . Gaya desak yang bekerja $S = 8500 \text{ kg}$. Diminta dengan sambungan gigi (kalau perlu diperlebar).

Perbedaan Sistem Atap Konvensional Dengan Sistem Pryda :

	Keterangan	Sistem Konvensional	Sistem Pryda
1.	Jarak Tiap Kuda-Kuda	3 M	1,2 M
2.	Ukuran Kayu	8/12 ; 8/15	4/7 ; 4/10 ; 4/12 ; 4/15
3.	Pemasangan Kayu	Dengan Gording & Kaso	Tanpa Gording & Kaso
4.	Sistem Kayu	Kuda-Kuda, Gording, Kaso Lalu Reng	Kuda-Kuda Langsung Reng
5.	Sambungan Kayu	Di Cuak Disambung Paku Dan Baut	Dipotong Lurus Disambung Dengan Pelat Pryda Baja
6.	Kubikasi Kayu	Lebih Banyak	Lebih Sedikit
7.	Proses Pembuatan	Lambat	Sangat Cepat
8.	Kualitas Kayu	Kurang Terjamin Karena Kadang Tidak Diserut	Terjamin Karena Pasti Diserut 4 Sisi
9.	Sistem Anti Rayap	Dicat / Dikuas / Disemprot	Direndam 24 Jam Dengan Ccb (Chrom Copper Borron)
10.	Garansi	Tidak Pasti	5 (Lima) Tahun Untuk Struktur Dan Anti Rayap
11.	Perhitungan Struktur	Kebiasaan Tukang	Dihitung Dengan Komputer
12.	Pengerjaan	Alat Manual	Mesin Berpresisi Tinggi