

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Komposit

Struktur komposit adalah gabungan dua macam atau lebih bahan bangunan yang sama atau berbeda, yang mampu bereaksi terhadap beban kerja secara satu kesatuan, sehingga kelebihan sifat masing-masing bahan yang membentuk komponen struktur komposit tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal. (Sembiring L.C, 2010). Bahan komposit yang dimaksud disini yaitu beton dengan tulangan bambu.

Sebagai gabungan dari beberapa bahan dasar maka stuktur ini mengadopsi sifat bahan dasar dan juga interaksi bahan dasar, baik dari segi fisik, kimia dan mekanik. Dengan penggabungan ini kekurangan pada suatu bahan ditutupi kelebihan bahan dasar yang lain. (Dewi S.M, 2008). Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun lemah terhadap kuat tarik. Kelemahan ini akan ditutupi oleh bambu sebagai tulangan yang memiliki kuat tarik yang tinggi.

Struktur komposit mempunyai keuntungan apabila dibandingkan dengan struktur non komposit, antara lain:

- Ketinggian balok dapat dikurangi untuk beban yang sama.
- Kapasitas menahan beban lebih besar.
- Dari segi ekonomi, pengurangan tinggi balok dapat mengurangi total biaya konstruksi.

2.2 Transformasi Penampang

Dalam sistem komposit, setiap unsur penyusun memiliki modulus elastisitas yang berbeda. Modulus elastisitas dapat diartikan sebagai rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut (SNI 03-2847-2002). Untuk memudahkan perhitungan terhadap tegangan-tegangan yang terjadi dapat digunakan *Metode Penampang Transformasi*. Dengan metode ini, luasan dari kedua penampang ditransformasikan menjadi satu bahan yang sama (Homogen) dengan tujuan untuk menyamakan perilaku dalam mekanisme menahan beban. Meskipun disadari bahwa kedua sifat material sangat berbeda, metode transformasi penampang dimaksudkan untuk penyederhanaan dalam analisis lenturan menurut teori elastisitas (Dipohusodo, I., 2001).

Metode transformasi untuk beton bertulang dapat dijelaskan sebagai berikut ini. Transformasi dilakukan dengan mengganti luasan penampang baja dengan luas beton ekivalen (A_{bt}) dan tegangan baja tarik (f_s) diganti dengan beton tarik ekivalen (f_{bt}). Untuk mendapatkan luas transformasi ada dua syarat yang harus dipenuhi:

1. Agar dapat berada dalam keseimbangan jumlah tarik bernilai tetap, digunakan persamaan :

$$A_s f_s = A_{bt} f_{bt} \quad (2-1)$$

2. Agar tercapai kesesuaian deformasi maka satuan regangan terpanjang bernilai tetap sehingga :

$$\frac{f_s}{E_s} = \frac{f_{bt}}{E_{bt}} \quad (2-2)$$

Dengan menggunakan nilai perbandingan modulus elastisitas :

$$n = \frac{E_s}{E_{bt}} \quad (2-3)$$

Sehingga didapatkan persamaan :

$$A_{bt} = n A_s \quad (2-4)$$

$$F_{bt} = \frac{f_s}{n} \quad (2-5)$$

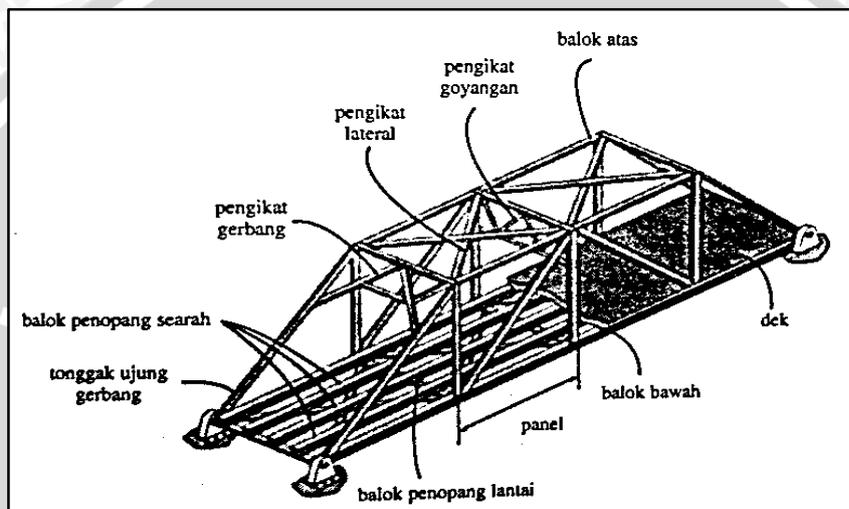
Maka dalam hal ini beton bertulang dianggap, diganti, dan diperlakukan sebagai penampang dari satu macam bahan saja, yaitu beton ekivalen didaerah tarik beton ekivalen mengambil alih tugas menahan tarikan (Dipohusodo, I., 2001)

2.3 Struktur Rangka Batang

Sebuah struktur terdiri dari serangkaian bagian-bagian yang saling terhubung yang digunakan untuk menopang suatu beban. Bila menciptakan suatu struktur untuk spesifikasi tertentu yang digunakan secara umum, pertimbangan pertama kali harus diberikan untuk memilih suatu bentuk struktur adalah pertimbangan ekonomis. Sehingga menganalisa suatu struktur secara tepat, idealisasi tertentu harus dipertimbangkan. (Russel C Hibbeler, 2002).

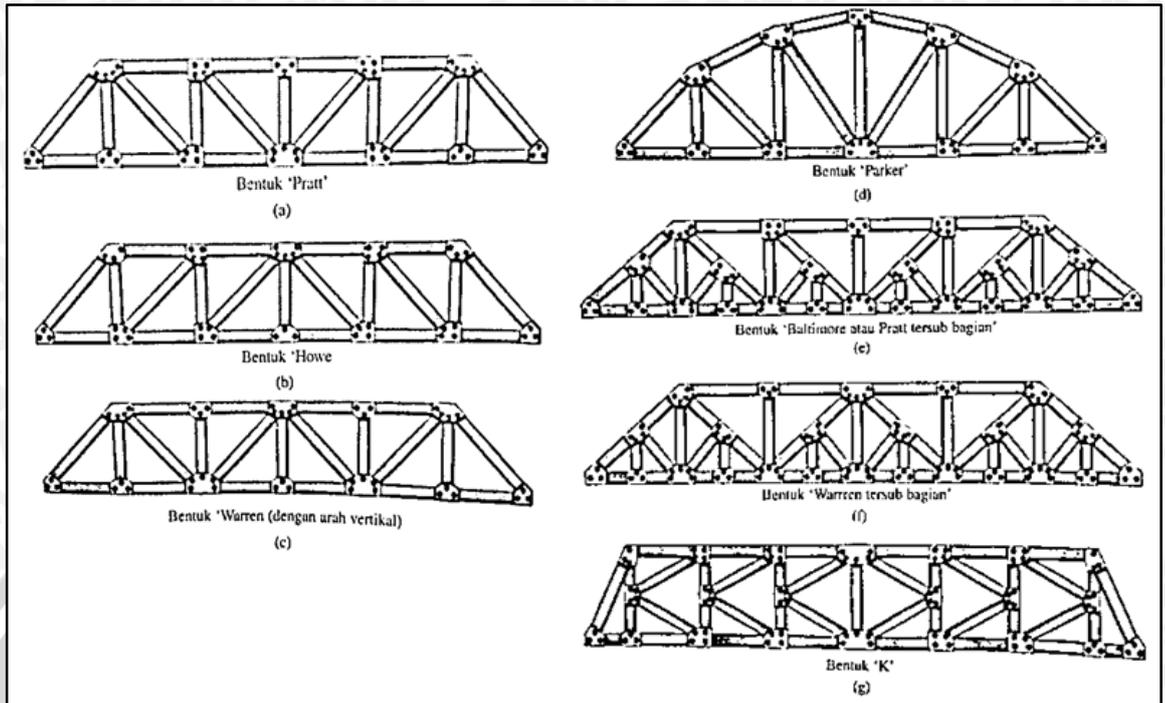
Rangka batang adalah susunan elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut secara khas dianggap tergabung pada titik hubung sendi dimana, titiknya memperbolehkan elemen strukturnya berotasi secara bebas tetapi tidak dapat bertranslasi ke arah manapun. (Schodek, 1998)

Seringkali *truss* digunakan sebagai elemen struktur utama dari suatu jembatan seperti pada gambar 2.1. Pada gambar tersebut terlihat suatu beban pada dek pertama-tama dihantarkan ke balok penopang searah (*stringers*), kemudian ke balok penopang lantai (*floor beams*) dan akhirnya ke sambungan-sambungan dari dua penopang truss pinggir/samping. Beberapa bentuk rangka yang digunakan pada jembatan dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)

Gambar 2.1 Rangka Pada Jembatan

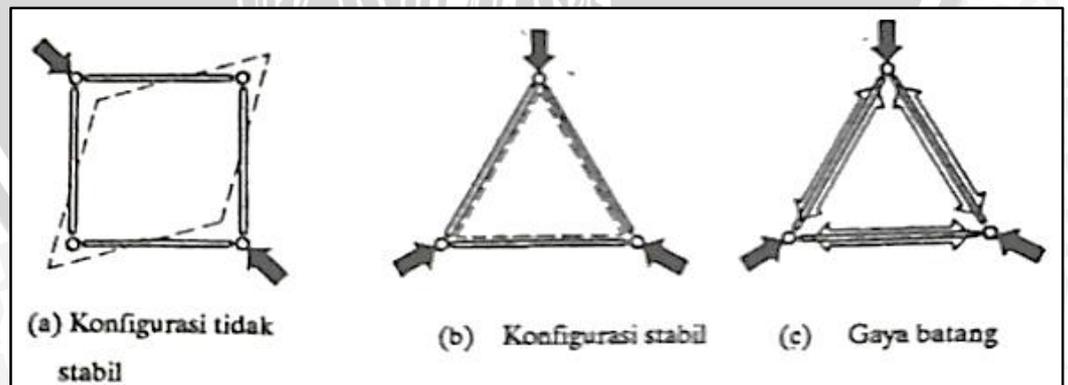


(Sumber: Hibbeler, R.C., 2002)

Gambar 2.2 Bentuk-bentuk Rangka Jembatan

2.3.1 Pembentukan Segitiga (Triangulasi)

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil.



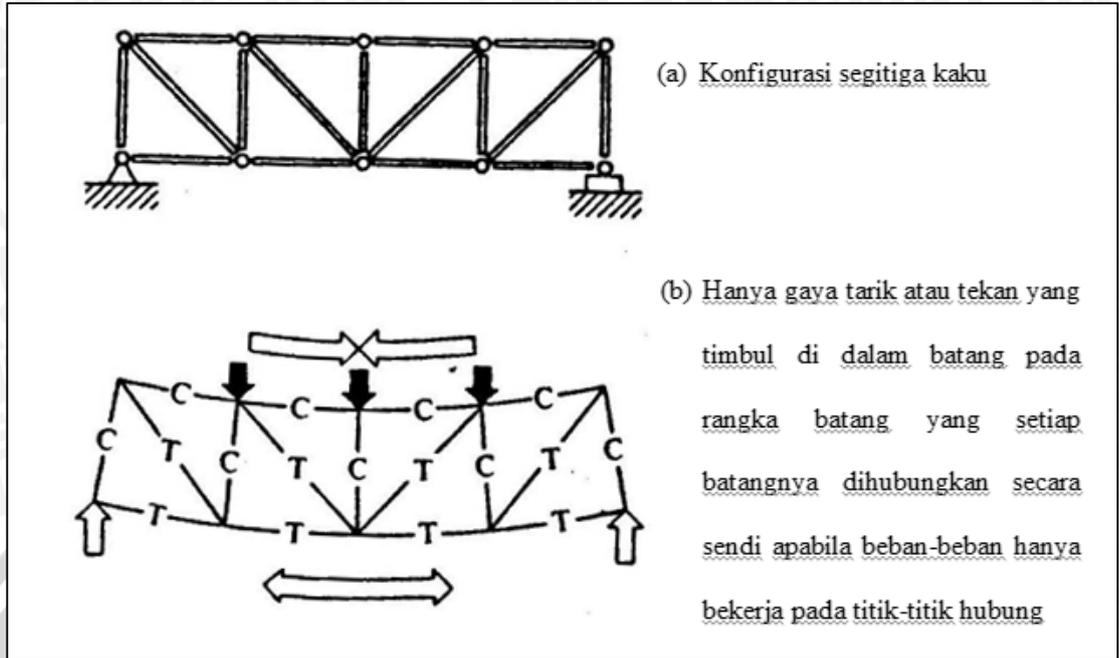
(Sumber: Schodek., 1998)

Gambar 2.3 Susunan Batang Stabil dan Tidak Stabil

Pada gambar 2.3 (a) dapat dilihat bahwa apabila struktur diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif. Ini adalah struktur yang tidak stabil, yang membentuk mekanisme runtuh (*collapse*) apabila dibebani. Struktur demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya konfigurasi segitiga yang pada batang-batang seperti yang terlihat pada gambar 2.3 (b) tidak dapat berubah bentuk atau runtuh seperti pada contoh sebelumnya. Dengan demikian bentuk segitiga ini stabil. Setiap deformasi yang terjadi pada struktur stabil adalah minor dan diasosiasikan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Gaya-gaya yang timbul adalah tarik atau tekan dan tidak ada lentur pada elemen struktur tersebut. (Schodek, 1998)

2.3.2 Konfigurasi

Karena susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk yang stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kaku seperti terlihat pada gambar 2.4. Efek beban eksternal menyebabkan keadaan tarik murni atau tekan murni setiap batang. Untuk yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada batang tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang, yang mungkin saja terjadi pola berganti tarik dan tekan.



(Sumber: Schodek., 1998)

Gambar 2.4 Struktur segitiga: setiap strukturnya terdiri atas sekumpulan bentuk segitiga membentuk susunan kaku yang mampu memikul beban eksterbal

Hal yang amat penting pada rangka batang ialah bahwa struktur tersebut hanya dibebani oleh beban-beban terpusat. Apabila beban-beban tersebut bekerja langsung pada batang, maka akan timbul tegangan lentur pada batang tersebut, selain juga tegangan aksial tekan atau tarik yang umum ada pada rangka batang. Sebagai akibatnya, desain batang tersebut menjadi rumit, dan efisiensi keseluruhan batang menjadi berkurang. (Schodek., 1998)

2.3.3 Gaya Batang

Gaya Batang merupakan gaya di dalam batang yang ditimbulkan oleh adanya gaya luar dengan garis kerja berhimpit dengan sumbu batangnya, dengan demikian gaya batang adalah merupakan gaya normal terpusat yang

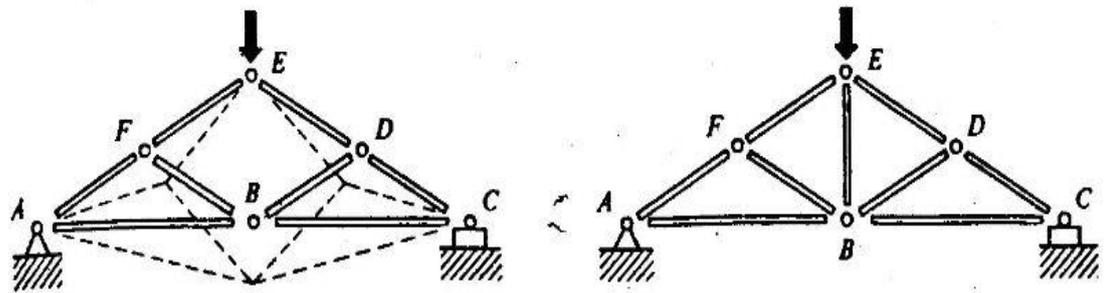
dapat berupa gaya tarik (-) atau gaya tekan (+) dan tidak disertai oleh momen dan gaya lintang.

Dalam perencanaan struktur rangka batang beton komposit dengan menggunakan perhitungan berdasarkan keadaan elastis, besarnya tegangan yang diakibatkan oleh gaya – gaya batang dibatasi oleh besarnya tegangan ijin elemen betonnya. (Schodek, 1998)

2.3.4 Stabilitas Rangka Batang

Suatu struktur rangka batang dapat dikatakan stabil atau tidak dengan memperhatikan secara bergiliran apakah setiap titik hubung selalu mempertahankan hubungan yang tetap terhadap titik hubung lain pada kondisi pembebanan tersebut.

Secara umum, setiap rangka batang yang merupakan susunan bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil. Sedangkan pola yang demikian harus dipandang dengan lebih hati-hati. Rangka batang yang terlihat pada gambar 2.3 (a) tidak stabil dan akan runtuh apabila dibebani seperti tergambar. Jelas bahwa rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang yang cukup untuk mempertahankan hubungan geometri kaku antara titik-titik buhulnya. Apabila batang-batang lainnya dirancang cukup untuk beban tersebut, maka penambahan batang BF seperti terlihat pada gambar 2.3.(b) akan menjadikan konfigurasi stabil



(a) Rangka Batang tak stabil

(b) Rangka Batang Stabil

Stabil

(Sumber: Schodek., 1998)

Gambar 2.5 Konfigurasi batang Stabil dan tidak Stabil

Pentingnya penentuan apakah konfigurasi batang stabil atau tidak, dapat dilebih-lebihkan karena hal ini dapat membahayakan. Keruntuhan total terjadi jika struktur tidak stabil dibebani. Pada suatu rangka kita dapat menggunakan batang melebihi minimum yang diperlukan untuk kestabilan. Salah satu batang diagonalnya dapat dipandang sebagai redundan. Dimana apabila batang tersebut dibuang akan tetap stabil.

Apabila jumlah batang lebih Sebagai membantu dalam menentukan kestabilan digunakan persamaan aljabar yang menghubungkan banyak titik hubung pada rangka batang dengan n banyak batang yang diperlukan dan j adalah banyak titik hubung,

$$n = 2j - 3$$

Apabila lebih kecil daripada yang diperlukan maka strukturnya tidak stabil tetapi bila lebih besar dari pada yang diperlukan maka strukturnya mengandung redundan. Namun dapat juga menjadi tak stabil jika reaksi

penopang truss berada dalam keadaan konkrue atau parallel atau jika beberapa komponen truss membentuk suatu mekanisme yang dapat runtuh.

Persamaan diatas sebenarnya belum cukup untuk menentukan apakah struktur tersebut stabil atau tidak. Persamaan tersebut hanya merupakan indikator apakah suatu gaya batang pada struktur dapat dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan saja atau tidak. sekalipun demikian persamaan ini dapat dijadikan petunjuk awal kestabilan Karena kita tidak dapat menghitung gaya-gaya pada struktur tidak stabil dengan persamaan statika. (Schodek., 1998)

2.4 Defleksi Pada Struktur Rangka

Lendutan pada struktur rangka merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang akibat gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta = \frac{PL}{AE}$$

Besarnya lendutan pada setiap join rangka dapat ditentukan secara geometris, dengan mengasumsikan bahwa setiap elemen batang dalam kondisi sendi pada setiap titik pertemuannya.

Dimana P adalah gaya normal atau aksial pada batang, yang diakibatkan oleh beban eksternal. Oleh karena itu persamaan gaya semu untuk rangka batang adalah

$$1.\Delta = \sum \frac{nPL}{AE}$$

Dimana :

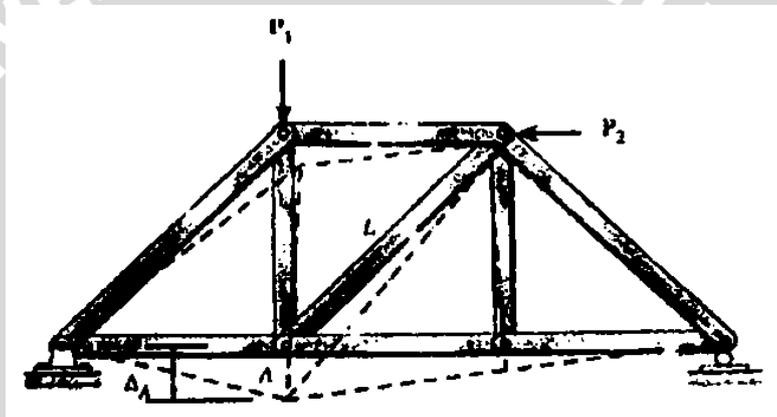
l = beban satuan semu yang bekerja pada titik buhul rangka batang dalam arah Δ

n = Gaya normal semu internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh satuan beban semu eksternal

P = gaya normal internal pada sebuah batang yang diakibatkan oleh beban sesungguhnya

L = Panjang dari suatu batang

E = Modulus elastis batang.



Gambar 2.6 Lendutan pada rangka batang

(sumber : Russel C Hibbeler, 2002)

Disini beban satuan semu eksternal menghasilkan gaya semu internal n pada setiap batang pada rangka batang. Beban sesungguhnya kemudian mengakibatkan perpindahan titik buhul sejauh Δ dalam arah yang sama dengan beban satuan semu dan setiap anggota dipindahkan sejauh PL/AE dalam arah yang sama dengan gaya n yang diberikan. Akibatnya, kerja semu eksternal $l \cdot \Delta$ sama dengan kerja semu internal atau energy tegangan (semu) internal yang disimpan dalam semua batang rangka batang $\sum nPL/AE$. (Russel C Hibbeler, 2002)

2.5 Regangan

Cara utama dalam menjelaskan perubahan ukuran dan bentuk adalah dengan menggunakan konsep regangan (ϵ). Secara umum regangan didefinisikan sebagai rasio (perbandingan) Antara perubahan ukuran atau bentuk suatu elemen yang mengalami tegangan, terhadap ukuran atau bentuk semula (S) elemen elemen. Apabila elemen struktur mengalami gaya Tarik murni, maka elemen struktur tersebut akan mengalami perpanjangan. Jika L menunjukkan panjang semula, dan ΔL , adalah perubahan panjang, maka regangan yang ada pada batang tersebut adalah :

$$\text{Regangan} = \frac{\text{Pertambahan Panjang}}{\text{Panjang Semula}}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

karena merupakan perbandingan maka regangan tidak mempunyai dimensi fisis. Kita dapat memandang regangan sebagai besar deformasi per satuan panjang. Dengan pengertian ini. Regangan dapat dipandang seolah-oleh mempunyai dimensi mm/mm atau in/in. (Schodek, 1998)

2.6 Deformasi Pada Batang Tarik dan Tekan

Seringkali dilakukan perhitungan secara kualitatif deformasi akibat dari beban eksternal. Untuk batang yang dibebani aksial Tarik atau tekan, yang tegangan internalnya terdistribusi secara merata pada penampang melintangnya, perpanjangan atau perpendekan yang terjadi tergantung pada besar beban yang bekerja, luas penampang melintang batang, panjang batang dan jenis material yang digunakan.

Deformasi yang ada pada batang yang dibebani aksial dapat dihitung dengan menggunakan fakta bahwa untuk sembarang material elastis, perbandingan tegangan (f) yang ada terhadap regangan (ϵ) adalah konstanta [yaitu tegangan/regangan = konstanta=modulus elastisitas (E)]. Perpanjangan pada batang Tarik dapat diperoleh dengan menentukan regangan yang diasosiasikan dengan tegangan yang ada ($\epsilon=f/E$), kemudian dengan menggunakan perbandingan ini dapat dicari deformasi total yang ada ($\Delta L=\epsilon L$). (Schodek., 1998)

2.7 Azaz Kesesuaian Perpindahan

Selain kuantitas gaya internal di dalam batang-batang, kelengkapan analisis struktur rangka batang termasuk penentuan perpindahan posisi keseluruhannya. Perhatian utama tertuju pada arah dan jarak gerak titik-titik buhul yang harus selalu dalam kesesuaian. Kesesuaian yang dimaksud adalah bahwa perpindahan titik-titik buhul rangka batang harus konsisten dengan tiap perubahan (memanjang atau memendek) batang-batang individual.

Sebagai dampaknya, muncul ketentuan syarat deformasi sesuatu batang adalah perubahan panjang yang diperlukan guna mempertahankan kesinambungan hubungan ujung-ujung dengan titik buhul yang berpindah. Dipihak lain jika semua deformasi batang diketahui, posisi perpindahan titik-titik buhul dapat ditentukan hanya dengan berdasarkan informasi tersebut. (Dipohusodo,I, 2001)

2.8 Garis Pengaruh

Garis Pengaruh adalah diagram yang menggambarkan perubahan reaksi tumpuan atau gaya dalam struktur akibat beban satuan bergerak. Garis pengaruh ini dapat digunakan untuk mencari posisi beban akibat rangkaian beban berjalan yang memberikan efek maksimum. (Dewi,2013)

Namun perlu dipahami pembutan garis pengaruh berbeda dengan membuat diagram geseran atau momen. Garis pengaruh menggambarkan efek beban bergerak hanya di titik tertentu pada suatu anggota, sedangkan diagram geseran dan momen menggambarkan efek beban-beban tetap sepanjang sumbu anggota bagian. (Hibbeler, 2002).

Pada stuktur rangka, rangka sendi sering digunakan untuk jembatan. Rangka ini juga memikul beban bergerak. Posisi beban selain mempengaruhi reaksi tumpuan juga mempengaruhi gaya batang rangka. (Dewi, 2013)

Sebuah garis pengaruh melambangkan variasi setiap reaksi , geseran, momen atau defleksi lainnya di titik tertentu, pada anggota bagian akibat gaya yang bergerak pada anggota bagian. Setelah garis ini dibuat, kita dapat menjelaskan secara sekilas di mana suatu suatu beban hidup harus ditempatkan pada struktur sehingga menghasilkan pengaruh terbesar di titik tertentu. (Hibbeler, 2002).

2.9 Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SK SNI 03-2847-2002). Kadang-kadang dalam pencampuran ditambahkan bahan lain (*additif*) yang masih plastis pada perbandingan tertentu sampai menjadi satu kesatuan yang homogen. kemudian dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna rekasi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Beton akan meningkat kekuatannya seiring dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur di sini dihitung sejak beton dibuat. Kenaikan kekuatan beton mula-mula cepat, yaitu antara umur 1 hari sampai 28 hari, akan tetapi semakin lama kenaikan kekuatannya menjadi semakin lambat. Oleh karena itu sebagai standar kekuatan beton dipakai kekuatan beton pada umur 28 hari.

Nilai Kuat Tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton hanya berkisar antara 9–15 % kuat tekannya. Pada penggunaannya sebagai bahan bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja atau bahan lain sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahan beton yaitu pada bagian yang menahan gaya tarik.

Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari:

- a. Nilai perbandingan campuran dan mutu bahan susun,
- b. Metode pelaksanaan pengecoran,
- c. Pelaksanaan finishing,
- d. Temperatur,
- e. Kondisi perawatan pengerasannya

Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil (Tjokrodimulyo, 1996).

2.9.1 Material Penyusun Beton

2.9.1.1 Semen

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar, sedangkan jika digabungkan dengan agregat kasar akan

menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*hardened concrete*).

Pengertian ini dapat diterapkan untuk banyak jenis bahan semen yang biasa digunakan untuk konstruksi beton untuk bangunan. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan susunan campuran yang berbeda-beda.

Fungsi semen ialah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butiran agregat atau dengan kata lain semen berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton.

Semen sendiri dibagi menjadi beberapa jenis yaitu semen Abu atau semen *Portland*, semen putih, semen sumur minyak (*Oil well Cement*) dan *Mixed & Fly Ash Cement*. Pada penelitian ini digunakan semen Portland. Semen Portland merupakan jenis semen yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen Portland (PC) dibuat dari semen hidraulis (*hydraulic binder*) yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klingker yang terbuat dari batu kapur (CaCO_3) yang jumlahnya amat banyak serta tanah liat dan bahan dasar berkadar besi, terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrulis ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat (SNI 03-2847-2002).

Unsur utama Semen Portland terdiri dari: *Trikalsium silikat* (C_3S atau $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), *Dikalsium silikat* (C_2S atau $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), *Trikalsium aluminat* (C_3A atau $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) dan *Tetrakalsium aluminoforit* (C_4AF atau $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), (Neville, 1975).

Menurut (SNI 15-2049-1994) semen Portland diklasifikasikan dalam lima jenis yaitu seperti tertera pada **Tabel 2.1**. Pada penelitian ini digunakan semen tipe satu yang digunakan untuk tujuan umum.

Tabel 2.1 Jenis-jenis semen Portland

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis I	Yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain
Jenis II	Yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
Jenis III	Yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
Jenis IV	Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
Jenis V	Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.9.1.2 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar kurang lebih 70-75% dari volume massa yang telah mengeras, air yang belum bereaksi dan rongga-rongga udara. (Winter, 1993).

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses

pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. (Murdock, 1986)

Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda utuh, homogen dan rapat dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. Jenis Agregat sendiri dibagi menjadi agregat kasar dan agregat halus. (Nawy 1990).

2.9.1.2.1 Agregat Halus

Agregat Halus merupakan agregat isi yang berupa pasir. Agregat halus berfungsi untuk mengisi ruangan antar agregat kasar dan memberikan kelecakan. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No. 10 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam satu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan ASTM (American Society of testing and Materials). (Nawy, 1990). Persyaratan gradasi agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Persyaratan gradasi agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos (%)
9,50	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	55-85

0,60	25-60
0,30	10-30
0,15	2-10

Sumber: ASTM C33-03

Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat keringnya. Apabila kadar lumpur melebihi 5% maka pasir harus dicuci. Lumpur pada pasir dapat menghalangi ikatan dengan pasta semen. Selain lumpur, pasir juga tidak boleh mengandung zat organik yang nantinya dapat merusak beton.

2.9.1.2.2 Agregat Kasar

Suatu Agregat disebut sebagai agregat kasar apabila ukurannya telah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Jenis Agregat kasar yang umum yaitu batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan. (Nawy, 1990). Persyaratan gradasi untuk agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut.

Tabel 2.3. Persyaratan gradasi untuk agregat kasar

S	Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan (%)
	50	100
	38	95-100
	19	35-70
	9,5	10-30
	4,75	0-5

Sumber : ASTM C33-03

Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras, tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai bila jumlahnya tidak lebih dari 20% dari agregat keseluruhan. Agregat kasar ini juga harus memenuhi syarat kebersihan yaitu tidak mengandung lumpur lebih dari 1% dan juga tidak mengandung zat-zat organik yang nantinya akan merusak beton.

Beberapa faktor dalam menentukan jenis agregat kasar yang akan dipakai:

- a. Gradasi, mempengaruhi kekuatan
- b. Kadar air, mempengaruhi perbandingan semen.
- c. Kebersihan, mempengaruhi kekuatan dan keawetan.

2.9.1.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan mortar agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya, umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Nawy, 1990)

Di dalam campuran mortar, air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua, sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan percetakan (Murdock & Brook, 1986).

Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan kualitas air sebagai berikut (Kardiyono, 1992):

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak mortar (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.9.1.4 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen atau *Water Cement Ratio* (W.C.R) sangat mempengaruhi kekuatan beton. Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Fungsi FAS yaitu :

- Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*)

Semakin tinggi nilai FAS, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Umumnya nilai FAS yang diberikan minimum 0,4 dan maksimum 0,65 (Tri Mulyono, 2004)

2.9.1.5 Sengkang

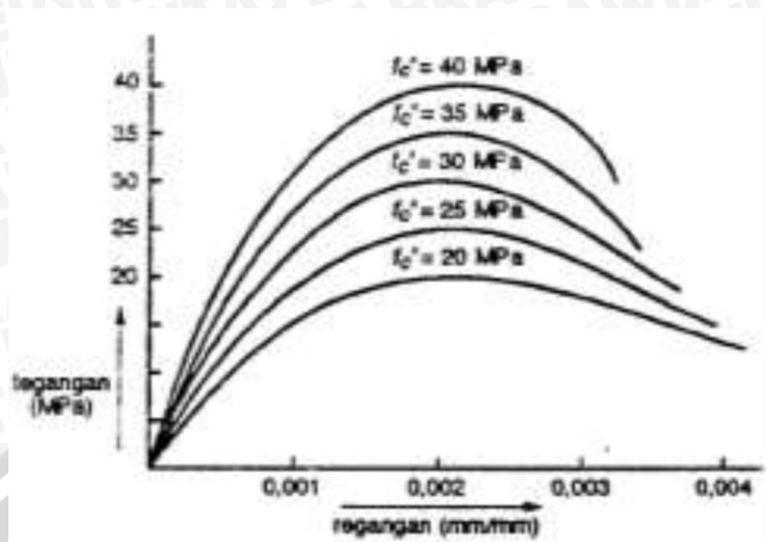
Perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser,

sedangkan kelebihan atau kekuatan geser diatas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser. Cara yang umum dilaksanakan dan lebih sering dipakai untuk penulangan geser ialah menggunakan sengkang, dimana selain pelaksanaannya lebih mudah juga menjamin ketepatan pemasangannya. (Dipohusodo I, 2001)

Sengkang pada gelagar induk rangka komposit berfungsi untuk mengurangi pecah (splitting) beton yang dapat mempengaruhi daktilitas gelagar rangka induk komposit tersebut. Sengkang didistribusikan melintang secara merata di seluruh penampang gelagar induk rangka komposit untuk mengikat tulangan utama atau memanjang. Penempatan sengkang yang relatif rapat dapat memperbaiki sifat beton, karena dapat memberikan pengekanan yang lebih baik pada beton. (Nurlina, 2008)

2.9.2 Kuat Tekan Beton

Karena beton mempunyai sifat yang kuat terhadap tekan dan mempunyai sifat yang relatif rendah terhadap tarik maka umumnya beton hanya diperhitungkan bekerja dengan baik hanya di daerah tekan saja pada penampangnya dan hubungan tegangan-regangan yang timbul karena pengaruh pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan. Nilai dari kuat tekan beton ditentukan dari tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Tegangan f_c' bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai nilai $\pm 0,002$. Selanjutnya nilai tegangan f_c' akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai ϵ' mencapai 0,003 – 0,005



Sumber: Dipohusodo, 2001

Gambar 2.7. Diagram Tegangan-Regangan Kuat Tekan Beton.

Pada SNI 03-2847-2002 menetapkan regangan kerja maksimum yang diperhitungkan di serat tepi beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur namun tidak sesuai untuk beton kuat tinggi dengan nilai f_c' antara 55-80 MPa. Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai ± 10 -65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi berkisar antara 30-45 MPa (Dipohusodo, 2001). Faktor-faktor penting yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu antara lain:

1. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata – rata dan kuat batas beton.
2. Perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai 40 % dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya.

3. Suhu, pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
4. Umur, nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya ditentukan pada beton berumur 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 7 hari kuat beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85%-90% dari kuat beton umur 28 hari (Dipohusodo,2001).

2.9.3 Modulus Elastisitas Beton

SNI 03-2847-2002 memberikan nilai modulus elastisitas (E_c) untuk beton normal sebesar :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c}$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa)

E_c = Nilai modulus elastisitas

Sehingga modulus elastisitas beton normal berdasarkan rumus tersebut untuk kuat tekan 17,5-26,4 Mpa disajikan dalam tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Nilai Modulus Elastisitas Beton Normal

$f'c$ (Mpa)	E_c (Mpa)
17,5	19661,511
20,0	21019,039
22,5	22294,058
25,0	23500,000
26,4	24149,037

2.10 Bambu

Bambu merupakan bahan konstruksi yang banyak dimanfaatkan sebagai komponen bangunan. Sekitar 75 genus dan 1.250 species bambu ditemui di seluruh dunia, sedangkan di Asia terdapat 14 genus dan 120 species (Mohamed, 1992). Bambu sendiri merupakan tanaman yang dikenal umum merupakan tanaman yang dibudidayakan ataupun tumbuh secara alami dalam ilmu botani merupakan anggota dari sub family rumput-rumputan (Graminae) dan tersusun atas ruas-ruas sepanjang batangnya. Beberapa keunggulan yang dimiliki bambu antara lain adalah mudah ditanam, pertumbuhannya cepat dan tidak memerlukan pemeliharaan khusus sehingga bambu termasuk sumber daya terbarukan. (Oka, G.M. 2005).

Pemilihan bambu sebagai alternatif tulangan didasarkan pada kemampuan bambu dalam kuat tariknya. Kuat tarik dari bambu relatif tinggi yaitu mencapai 370 MPa dan rasio tegangan tarik terhadap berat spesifik bambu adalah 6 kali lebih besar dari baja (Gavami, 2000). Bambu mempunyai kekuatan tarik sejajar yang tinggi namun kekuatan gesernya rendah (Janssen, 1991).

Bambu di Indonesia tumbuh menyebar tidak hanya di hutan atau daerah aliran sungai namun juga di pekarangan rumah di pedesaan ataupun daerah terbuka dari dataran rendah sampai pegunungan dengan luas kawasan termasuk luas hutan secara umum. Beberapa jenis bambu Antara lain:

1. Bambu Tali /Apus (*Gigantochloa apus*).

Bambu berwarna hijau kelabu yang merumpun dan banyak tumbuh disekitar aliran sungai atau sumber air, batang bersifat sangat lentur dan liat dengan jarak ruas bekisar (20-60)cm, diameter bekisar (40-150)mm,

tebal dinding batang lebih kecil 15 mm dan panjang batang bekisar (6-13) m.

2. Bambu Jawa (*Gigantochloa Atter*)

Bambu berwarna hijau yang merumpun dan banyak tumbuh disekitar aliran sungai atau sumber air, batang bersifat kuat dan agak getas dengan jarak ruas bekisar (40-50) cm, diameter bekisar (50-160) mm, ketebalan dinding batang maksimum 12 mm dan panjang batang bekisar (8-15) m.

3. Bambu Duri /Ori (*Bambusa blumeana*).

Bambu berwarna hijau tua yang merumpun dan tumbuh disekitar aliran sungai atau sumber air, batang bersifat kuast, keras, berduri dan permukaan kulit luar licin dengan jarak ruas bekisar (2-30) cm, diameter bekisar (50-150) mm, ketebalan dinding maksimum 20 mm dan panjang batang bekisar (9-18) m.

4. Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*).

Bambu berwarna hujai kelabu yang merumpun dan banyak tumbuh di daerah pegunungan, batang bersifat kuat tapi agak getas dengan jarak ruas bekisar (40-50) cm, diameter bekisar (120-180) cm, ketebalan dinding maksimum 20 mm dan panjang batang bekisar (10-20) m.

5. Bambu Wulung / Hitam (*Gigantochloa verticilata*).

Bambu berwarna hitam yang merumpun dan banyak tumbuh disekitar aliran sungai atau sumber air, batang bersifat agak getas dengan jarak ruas bekisar (40-50) cm, diameter bekisar (60-80) mm, ketebalan dinding maksimum 8 mm dan panjang batang bekisar (7-18) m.



Pada penelitian ini digunakan bambu petung dimana kembang susut bambu petung paling rendah dibandingkan dengan tiga jenis bambu lainnya. (triwiyono,2000). Bambu petung memiliki batang yang relatif lebih tebal bila dibandingkan dengan jenis bambu lainnya yaitu mencapai 15-20 mm. Selain itu bambu petung telah lama menjadi salah satu jenis yang dipilih oleh sebagian besar masyarakat untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi.

2.10.1 Bambu Sebagai Tulangan

Telah banyak riset ilmiah maupun empiris yang membuktikan bahwa kekuatan bambu sebagai bahan konstruksi berpotensi menggantikan baja pada beton bertulang, antara lain:

1. Hasil Penyelidikan Surjokusumo dan Nugroho (1993) menyatakan bahwa bambu dapat digunakan sebagai tulangan beton bertulang
2. Morisco (1999) menyelidiki bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti baja tulangan dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi mendekati kekuatan baja struktur.
3. Janssen (2000) melakukan penelitian perbandingan penggunaan bambu dan baja sebagai tulangan di dalam balok beton. Dan menyatakan bahwa momen lentur pada balok beton bertulang bambu adalah 78% jika dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja.
4. Patturrahman dan kusuma (2003) melakukan penelitian dengan kesimpulan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana

5. Khosrow Gavami (2004) menyatakan bahwa tulangan bambu dapat menggantikan tulangan baja secara memuaskan dan telah diaplikasikan di dalam beberapa konstruksi bangunan.
6. Khare (2005), menyimpulkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan, terlebih di negara yang memiliki material baja sangat terbatas dan penggunaan beton tanpa tulangan biasa digunakan.

2.10.2 Sifat Bahan Bambu

Bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut.

Sebagai bahan konstruksi alami, bambu mempunyai sifat – sifat fisis dan mekanis yang khas dan sangat berbeda dengan bahan konstruksi yang lain. Oleh karena itu, dalam pemanfaatan bambu sebagai bahan konstruksi kita harus sedikit banyaknya mengetahui tentang beberapa sifat – sifat tersebut tersebut agar dalam penggunaannya dapat dikembangkan secara maksimal.

Bambu termasuk zat higroskopis, artinya bambu mempunyai afinitas terhadap air, baik dalam bentuk uap maupun cairan. Bambu mempunyai kemampuan mengabsorpsi atau desorpsi yang tergantung dari suhu dan kelembaban udara disekelilingnya. Menurut Liese (dalam Pathurahman, 1998), kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal itu tergantung dari umur, waktu penebangan dan jenis bambu.

Kadar air dinyatakan sebagai kandungan air yang berada dalam bambu. Namun bambu selalu berusaha mencapai keseimbangan, EMC (*Equilibrium*



Moisture Content). Semua nilai sifat-sifat kekuatan bambu meningkat seiring dengan menurunnya kadar air dan berkolerasi positif dengan berat jenis.

Komposisi kimia batang bambu terdiri atas selulosa bekisar (42,4-53,8)%, hemiselulosa bekisar (17,5-21,5)%, lignin bekisar (19,8-26,6)%, abu bekisar (1,24-3,77)%, silica bekisar (0,2-1,78)%, zat ekstraktif gula dan pati bekisar (5,3-11,8)% dan zat ekstraktif lilin, lemak, resin, minyak dan tannin bekisar (0,9-6,9)%.

Kuat Tarik sejajar serat bambu hasil penelitian yang dilakukan morisco (1999) menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu bekisar Antara 2000-3000 kg/cm². Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Kuat Batas dan tegangan ijin Bambu

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981-3920	294,2
Lentur	686-2940	98,07
Tekan	245-981	78,45
E tarik	98070-294200	196,1x10 ³

Sumber : (Morisco, 1999)

Dari penelitian Karyadi dkk (2010) bambu petung memiliki berat jenis 0,63 gr/cc pada kadar air 12,5%. Modulus elastisitasnya sebesar 166703 kg/cm², tekan sejajar serat sebesar 321,5 kg/cm², tarik sejajar serat 1664 kg/cm² dan geser sejajar serat 87,50 kg/cm². Sedangkan untuk poisson ratio dari bambu petung menurut penelitian dari Setyo, dkk (2013) sebesar 0,225.

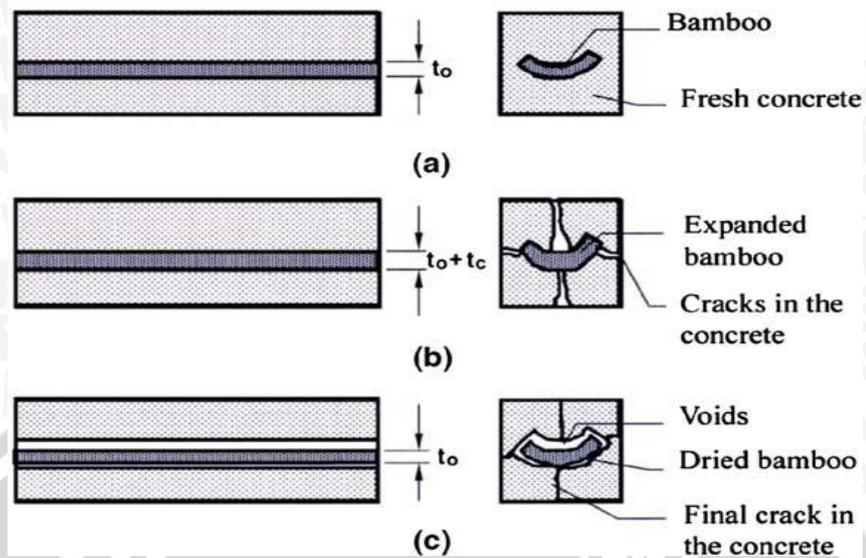
Janssen (1991) menyatakan bahwa kekuatan tarik bambu akan menurun dengan meningkatnya kadar air, kekuatan tarik maksimum bagian luar bambu paling besar dibandingkan dengan bagian-bagian yang lain. Di dalam internodia sel-selnya berorientasi kearah sumbu aksial, sedang pada nodia sel-selnya mengarah pada sumbu transversal. Oleh karena itu bagian batang yang bernodia mempunyai kekuatan tarik maksimum yang lebih rendah daripada bagian batang yang tidak bernodia.

2.11 Zat Pelapis Bambu

Bambu termasuk salah satu zat higroskopis artinya memiliki afinitas terhadap air, baik dalam bentuk uap maupun cairan dengan kata lain kemampuan bambu dalam mengembang dan menyusut tinggi. Ketika beton bertulang bambu mengering, air yang terdapat pada pori-pori bambu ikut menguap sehingga terjadi penyusutan pada bambu. Penyusutan lebih lanjut akan mempengaruhi lekatan antar bambu dan beton sehingga pemakaian beton sebagai tulangan harus diberikan perlakuan khusus yaitu dengan memberikan lapisan kedap air.

Tulangan bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air akan mengembang saat mortar masih basah (gambar 2.6.a). Hal ini dikarenakan air mortar segar akan diserap bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air. Ketika bambu menyerap air dari mortar bambu akan mengembang sehingga timbul retak pada mortar setelah mengering (Gambar 2.6.b). Saat mortar kering dalam waktu yang lama dan retak makin lebar, bambu akan mengalami pengerutan dan membusuk akibat ada kontak dengan udara luar (Gambar 2.6.c).





Gambar 2.6 Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air

- (a) Bambu dalam beton segar
- (b) Bambu menyerap air dan mengembang pada masa perawatan mortar
- (c) Bambu mengerut setelah masa perawatan beton

Sumber : Ghavami (2004)

Lapisan kedap air ini dapat berupa melamin, sikadur, cat atau vernis untuk mengurangi susut pada bambu atau menghilangkannya sama sekali. Penggunaan sikadur sebagai pelapis bambu masih terlalu mahal sehingga agar lebih ekonomis dapat digunakan zat pelapis berupa cat. Pada penelitian ini digunakan cat sebagai lapisan kedap air pada bambu. Penggunaan cat sebagai zat pelapis tulangan bambu didasarkan atas beberapa alasan yaitu, daya lekat yang cukup baik, mudah dalam mengaplikasikan, dapat menutup permukaan dengan mudah dan membentuk kohesif film (bagian cat yang menempel) dan tahan terhadap cuaca. Sifat fisik bambu dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa kuat lekat tulangan bambu (petung) yang dilapisi cat dapat mencapai 1,0 MPa (Irianta, F.X.G,2009)

Berdasarkan zat pelarut yang digunakan cat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- Cat berpelarut air, umumnya digunakan untuk keperluan pengecatan yang tidak membutuhkan daya rekat tinggi. Digunakan pada material yang memiliki porositas yang tinggi.
- Cat berpelarut minyak, secara umum memiliki komposisi yang sama dengan cat berpelarut air. Perbedaan terletak pada penambahan lateks. Penambahan lateks difungsikan untuk meningkatkan daya rekat terhadap permukaan yang dilapisi. Umumnya digunakan untuk melapisi material dengan porositas rendah seperti pada kayu dan logam. (Yoga K, 2013)

Pemilihan jenis cat harus mempertimbangkan material yang akan dilapisi. Pada penelitian ini digunakan cat kayu yang secara khusus mampu memberikan pelapisan yang tepat terhadap tekstur bambu dengan tingkat porositas yang dimiliki.

Akan tetapi kekurangan dari digunakannya cat yaitu licinnya permukaan bambu sehingga perlu diantisipasi terkait penggunaannya untuk melapisi tulangan bambu, Salah satu solusinya yaitu menaburkan lapisan pasir pada permukaan tulangan yang telah dilapisi cat. Dengan menaburkan lapisan pasir pada bambu, selain kuat lekat yang dihasilkan meningkat, kekasaran permukaan tulangan juga akan meningkat. Jadi cat disini memiliki fungsi ganda yaitu sebagai zat agar pasir dapat melekat dan sebagai lapisan kedap air pada bambu.



2.12 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari materi dari tinjauan pustaka serta memahami permasalahan-permasalahan yang akan ditemukan dalam proses penelitian, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut :

- 1) Diduga terdapat pengaruh posisi dan besarnya beban terhadap lendutan pada Gelagar Induk Rangka Komposit Tulangan Bambu
- 2) Diduga terdapat pengaruh posisi dan besarnya beban terhadap regangan pada Gelagar Induk Rangka Komposit Tulangan Bambu

