

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Macam-macam Metode Konstruksi Beton Bertulang

Dalam dunia konstruksi beton saat ini umumnya dikenal dua cara metode konstruksi yaitu cara konvensional (*concrete in situ*) atau *cast in site* dimana beton dicor langsung pada tempatnya dalam struktur yang telah dibentuk memakai kayu-kayu bekisting. Kedua adalah cara metode pracetak (*precast*) dimana beton dibuat ditempat lain dan setelah mengeras serta memenuhi syarat kekuatannya maka dapat dipasang sebagai struktur suatu bangunan. (Widden, 1992).

2.2 Beton Pracetak

Beton pracetak adalah suatu metode percetakan komponen secara mekanisasi dalam pabrik atau workshop dengan memberi waktu pengerasan dan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang. (Widden, 1992).

2.2.1 Sejarah Beton Pracetak

Sejarah penggunaan beton pracetak tidak bisa dilepaskan dari sejarah penemuan beton sebagai bahan bangunan. Pada jaman dahulu di Thebes telah memperlihatkan bahwa para pekerja membangun konstruksi dinding beton dengan cara mengisi gentong dengan air dan diaduk bersama dengan kapur, kemudian bahan tersebut digunakan sebagai mortar untuk pasangan batu (Nugraha, 1989).

Ide menggunakan beton-beton pracetak dimulai Joseph Monier mengembangkan beton bertulang pada tahun 1850 dengan menggunakan material baru tersebut untuk mencetak pot-pot kebun, bak penampungan air, tangki-tangki, dan patung. Sedangkan penggunaan beton pracetak pertama kali dalam bangunan yaitu ketika Joseph Paxton menggunakan untuk bangunan berbentang lebar di *Crystal Palace*, London (Testa, 1972).

Kemudian semakin banyak bangunan yang memakai beton pracetak, tetapi belum menyebar luas. Hanya di Amerika, Inggris, Jerman, dan Perancis, misalnya tahun 1891 digunakan pada bangunan kasino di Biarritz, Paris. Pelat atap beton pracetak pertama kali dipakai pada bangunan di Brooklyn, USA. Lima tahun kemudian digunakan pada bangunan 4 lantai di Pennsylvania, USA. Tahun 1907 digunakan pada bangunan *The Edison Portland Cement, Co* di New Village, USA. Water Gropius menemukan bahwa beton pracetak sangat menguntungkan untuk perumahan pada tahun 1910. Tahun 1912 Jhon E Conzelmann mendapatkan hak paten beton pracetak untuk bangunan tingkat rendah, juga digunakan untuk pipa/*plumbing* milik public Works Department Of Munich pada tahun 1926 dan pada hanggar dekat Roma pada tahun 1939 (Sigit, 1987).

Di Indonesia sendiri, saat ini beton pracetak sudah mulai banyak digunakan, antara lain untuk pembangunan gedung-gedung bertingkat dan perumahan. Bangunan bertingkat pertama kali yang menggunakan beton pracetak adalah hotel Hilton pada tahun 1983 (Asian Building Construction, April 1986 hal 37).

2.2.2 Penerapan Beton Pracetak dalam Elemen Struktur

Teknologi beton pracetak dapat digunakan pada hampir semua bagian struktur, pembuatannya dapat dilakukan di pabrik ataupun di lapangan. Tabel 1 menunjukkan elemen-elemen yang dapat dibuat dengan beton pracetak.

Tabel 1. Klasifikasi Elemen Beton Pracetak pada Bangunan

Bangunan		Elemen
Bawah		Pondasi
		<i>Sloof</i>
Atas	Struktural	Kolom
		Dinding
		Balok
		Lantai
		Tangga
	Non-struktural	Partisi
		Aksesoris bangunan
		Dekorasi

Sumber : Vambersky, 1994

Sistem struktural dari beton pracetak ada tiga macam yaitu sistem rangka, sistem panel, dan sistem boks/sel (Singsomboon,1987 dan Vambersky, 1994). Struktur rangka adalah struktur yang menyalurkan bebannya melalui balok kemudian meneruskan ke kolom lalu ke pondasi. Keuntungan sistem ini adalah fleksibilitas yang tinggi, seperti bentang yang besar, ruang terbuka yang cukup (Singsomboon,1987 dan Vambersky, 1994).

Struktur panel adalah struktur yang menerima beban dan menyalurkan melalui pelat dinding dan pelat lantai. Struktur panel ini banyak digunakan bila ruangan-ruangan yang dibuat berbentuk sama, seperti hotel, asrama, dan apartemen. Sistem ini mempunyai keterbatasan ukuran dan bentang, dan cara pengangkatan dari struktur panel ini juga harus diperhatikan dengan baik karena kemampuan menerima beban yang terbatas (Singsomboon, 1987).

Sistem struktur boks adalah penyatuan dari sistem struktur panel, pada struktur boks, pembuatan elemen akan berbentuk tiga dimensi. Keuntungan sistem ini adalah stabilitasnya, karena dapat menerima beban dari berbagai arah, dan sistem pengangkutannya akan lebih mudah, serta kontrol kualitas yang tinggi dan finishingnya dapat langsung dikerjakan.

2.2.3 Jenis-jenis Beton Pracetak

Beton pracetak untuk elemen struktural dapat dibagi menjadi dua macam berdasarkan sistem penahan tariknya, yaitu beton bertulang biasa dan beton pratekan (ACI Committee 311, 1984). Pada pembuatan beton pratekan tulangan diberi beban tarik dahulu kemudian dicor, sehingga beton mempunyai kapasitas tekan yang lebih besar dari pada beton bertulang biasa.

Beton pracetak berdasarkan berat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Ringan, dimana beratnya komponen tidak melebihi 30 kg dan dipasang oleh satu orang.
2. Sedang, dengan berat sampai 500 kg dan pemasangan menggunakan peralatan mekanik yang sederhana.
3. Berat, dimana beratnya komponen lebih dari 500 kg, dan pemasangannya menggunakan alat berat.

Berdasarkan hasil unitnya digolongkan menjadi 2, yaitu:

1. Kecil, dimana area yang dibutuhkan untuk pembuatan per unitnya tidak melebihi 2 m^2 .
2. Besar, dengan area lebih dari 2 m^2 .

2.2.4 Standarisasi Elemen Beton Pracetak

Mengikuti perkembangan beton pracetak, elemen-elemen beton pracetak tersebut distandarkan. Standarisasi ini mengurangi biaya dan menjadikan produk beton pracetak menjadi lebih ekonomis, karena dapat dikerjakan pada cetakan baja standard dan diawasi oleh orang yang berpengalaman sehingga menjamin kontrol kualitas yang baik (Preston, 1984).

PCI (1985) juga menyebutkan bentuk-bentuk dan dimensi elemen-elemen yang umum digunakan oleh industri pracetak. Elemen-elemen tersebut meliputi *double tee*, *single tee*, *hollow core*, *solid flat slab*, *rectangular*, *L-shaped*, *girder*, *colom*, tiang pancang, dan panel dinding. Penggunaan elemen-elemen yang sudah standar ini akan lebih menghemat biaya dan waktu karena tidak perlu lagi membuat cetakan baru.

2.2.5 Pelaksanaan Konstruksi Beton Pracetak

Tahapan-tahapan pelaksanaan konstruksi beton pracetak melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Pembuatan beton pracetak

- a. Pembuatan beton pracetak di pabrik

Pembuatan beton pracetak dilakukan di luar dari lokasi proyek, sehingga tahapan ini tidak mempengaruhi waktu dari proyek, karena beton pracetak dibuat sebelum permintaan dari proyek.

- b. Pembuatan beton pracetak di lokasi proyek

Pembuatan beton pracetak berada di wilayah lokasi proyek tetapi di luar lokasi gedung yang akan di didirikan. Pembuatannya dapat dilakukan bersamaan dengan pekerjaan persiapan dan pekerjaan pondasi.

2. Tranportasi komponen

Pada tahapan ini yang perlu diperhatikan adalah jauh dekatnya jarak antar pabrik pembuat beton pracetak dengan lokasi proyek, sehingga dapat tiba di lokasi proyek tepat pada waktunya. Cara pengangkutan juga mempengaruhi kekuatan dari struktur pracetak.

3. *Erection*

Tepat tidaknya penggunaan beton pracetak juga ditentukan dari tersedianya alat pengangkat dan *feasibility*-nya (Libby, 1990). Ini akan mempengaruhi biaya dari proyek tersebut. Pemilihan alat pengangkat dipengaruhi dari berbagai faktor, antara lain berat dari pracetak, tinggi bangunan, dan kondisi lapangan (Singsomboon, 1997). Alat berat yang dapat dipakai untuk mengangkat elemen pracetak adalah *mobile crane*, *derrick crane*, *tower crane*, dan *hydraulic crane*. Sistem pengangkatan mempengaruhi keutuhan dari struktur pracetak.

4. Pemasangan

Pada tahapan ini yang perlu diperhatikan adalah ketepatan dalam pemasangan elemen pracetak dan pemilihan sambungan–sambungan antar elemen pracetak.

2.2.6 Keuntungan dan Permasalahan Konstruksi Pracetak

Beberapa keuntungan konstruksi pracetak dalam industri bangunan adalah (rahman, 2009):

1. Waktu konstruksi yang lebih cepat, sejak pekerjaan struktur di tapak, konstruksi pondasi dan pendirian komponen pracetak.

2. Produksi unit pracetak dalam skala luas menjadikan lebih praktis untuk menggunakan mesin dan karenanya kebutuhan jumlah pekerja yang terlalu banyak dapat diatasi.
3. Pengendalian mutu teknis dapat dicapai, karena proses produksi dikerjakan di pabrik dan dilakukan pengujian laboratorium.
4. Pekerjaan konstruksi dapat dilaksanakan tanpa tergantung pada kondisi cuaca.

Permasalahan dalam konstruksi pracetak adalah (Rahman, 2007):

1. Transportasi komponen dari lokasi pembuatan komponen pracetak ke tempat pendirian bangunan.
2. Membutuhkan investasi awal yang besar dan teknologi maju.
3. Dibutuhkan kemahiran dan ketelitian khusus.
4. Kesulitan dalam penanganan di lapangan khususnya dalam *erection* (pendirian), *lifting* (pengangkatan), dan *connecting* (penyambungan).
5. Kurang tersosialisasinya jenis, produk, dan kemampuan sistem pracetak yang telah ada.
6. Belum adanya pedoman resmi mengenai tata cara analisis, perencanaan serta tingkat keandalan khusus untuk sistem pracetak yang dapat dijadikan pedoman bagi pelaku konstruksi.

2.3. Beton Konvensional

Beton konvensional atau *cast in site* adalah metode pengerjaan beton bertulang yang sudah sangat lazim digunakan. Pelaksanaannya dengan membuat cetakan pada elemen struktur dan dicor langsung di lokasi konstruksi. Metode ini jelas

lebih banyak membutuhkan tenaga kerja dan waktu yang lebih banyak dibandingkan dengan beton pracetak.

Tahapan pelaksanaan Beton Konvensional yaitu:

1. Penulangan

Pada beton konvensional, tulangan harus dirakit secara manual, tahapan dari penulangan itu sendiri adalah melalui pemotongan/*cutting*, pembengkokan/*bending*, perakitan/*assembling*. Tulangan pada dunia sipil ada 2 macam yaitu tulangan polos dan tulangan ulir. Tulangan polos biasanya dipakai untuk sengkang sedangkan tulangan ulir dipakai sebagai tulangan utama. Tahapan penulangan ini banyak membutuhkan tenaga dan waktu yang banyak.

2. Bekisting

Bekisting digunakan sebagai cetakan untuk membuat elemen struktur pada bangunan, dalam pembuatan bekisting harus dibuat sebaik mungkin agar tidak terjadi keruntuhan, cetakan tidak lurus, dan sebagainya. Bahan yang digunakan biasanya dari papan kayu, *polywood*, *chipboard*, dan *hardboard*. *Polywood* yang biasa digunakan adalah $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$ dan $\frac{3}{4}$ inch yang tersedia dalam bentuk lembaran dengan lebar 4 ft dan panjang 8,10,12 ft. bahan-bahan lain yang biasa digunakan untuk membuat bekisting adalah aluminium, plastik, serat sintetis, *polystyrene*, batako, dan beton (Richardson,1986).

3. Pengecoran

Pengecoran adalah tahap dimana membuat beton, pada tahap ini perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil beton dengan mutu baik, sesuai dengan yang direncanakan.

4. Bongkar Bekisting

Pada tahap ini bekisting dibongkar setelah 28 hari, ini dilakukan untuk menjaga mutu beton agar tercapai.

2.4 Perencanaan Struktur

Perencanaan struktur dapat didefinisikan sebagai panduan dari seni dan ilmu, yang menggabungkan *intuitif* seorang insinyur berpengalaman dalam perilaku struktur dengan pengetahuan mendalam tentang prinsip statika, mekanika bahan dan analisis struktur, untuk mendapatkan struktur yang ekonomis dan aman serta sesuai dengan tujuan pembuatannya.

Menurut SNI – 03 -2847 – 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, tujuan perencanaan struktur adalah untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, awet dan memenuhi tujuan lainnya seperti ekonomi dan kemudahan pelaksanaan. Suatu struktur disebut stabil bila tidak mudah terguling, miring atau geser, selama umur bangunan yang direncanakan.

Perencanaan adalah suatu proses untuk menghasilkan penyelesaian optimum. Dalam suatu perencanaan, harus ditetapkan kriteria untuk menilai tercapai atau tidaknya penyelesaian optimum. Garis besar perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Perancangan. Penetapan fungsi yang harus dipenuhi oleh struktur. Menetapkan kriteria yang dijadikan sasaran untuk menentukan optimum atau tidaknya perencanaan yang dihasilkan.
2. Konfigurasi struktur prarencana. Penataan letak elemen agar sesuai dengan fungsi dalam langkah 1.
3. Penentuan beban yang harus dipikul.
4. Pemilihan batang prarencana. Berdasarkan keputusan dalam langkah 1, 2 dan 3, pemilihan ukuran batang dilakukan untuk memenuhi kriteria obyektif seperti berat atau biaya terkecil.
5. Analisis. Analisis struktur untuk menentukan aman (tetapi tidak berlebihan/boros) atau benar tidaknya batang yang dipilih.
6. Penilaian. Apakah semua ketentuan dipenuhi dan hasilnya optimum.
7. Perencanaan ulang. Pengulangan suatu bagian dari langkah 1 sampai 6 yang dipandang perlu atau dikehendaki berdasarkan penilaian di atas.
8. Keputusan akhir. Penentuan optimum atau tidaknya perencanaan yang telah dilakukan.

2.5 Pembebanan

Penentuan beban yang bekerja pada struktur adalah proses awal dalam analisa struktur suatu konstruksi. Proses ini adalah menentukan beban-beban yang bekerja pada suatu struktur, baik beban primer yaitu berat sendiri struktur, beban mati, beban hidup dan juga beban sekunder yaitu beban angin, beban gempa, beban kejut, dan gaya lainnya yang bekerja dan mempengaruhi suatu struktur.

Tabel 2. Beban Mati dari Bahan Bangunan

No.	Beban Mati dari Bahan Bangunan	Nilai
1	Baja	7850 kg/m ³
2	Batu alam	2600 kg/m ³
3	Beton bertulang	2400 kg/m ³
4	Kayu (kelas 1)	1000 kg/m ³
5	Besi tuang	7250 kg/m ³
6	Alumunium paduan	2800 kg/m ³
7	Beton biasa, tumbuk, siklop	2200 kg/m ³
8	Tanah, pasir, kerikil (semua dalam keadaan padat)	2000 kg/m ³
9	Perkerasan jalan beraspal	2500 kg/m ³
10	Air	1000 kg/m ³

Sumber: PPIUG hal 11 – 12

Di Indonesia dalam menganalisa suatu struktur bangunan gedung harus berdasarkan peraturan SK SNI 03 – 2847 – 2002 tentang tata cara perencanaan untuk rumah dan gedung, tata cara ketahanan gempa untuk rumah dan gedung, dan peraturan - peraturan lain yang berhubungan dengan perencanaan dan masih berlaku. Nilai – nilai pembebanan di Indonesia harus sesuai standar yang berlaku berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung dapat dilihat pada Tabel 2 s/d Tabel 4 :

Tabel 3. Beban Mati dari Komponen Gedung

No.	Beban Mati Komponen Gedung	Nilai
1	Adukan semen	21 kg/m ²
2	Dinding pasangan bata merah ½ batu	250 kg/m ²
3	Dinding pasangan batako tebal 20 cm	200 kg/m ²
4	Langit-langit dari bahan asbes semen tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
5	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu	40 kg/m ³
6	Penggantung langit-langit kayu	7 kg/m ²
7	Penutup atap genteng dengan reng dan kaso	50 kg/m ²
8	Penutup atap sirap dengan reng dan kaso	40 kg/m ²
9	Penutup atap seng dengan reng dan kaso	10 kg/m ²

Sumber: PPIUG hal 11 – 12

Tabel 4. Beban Hidup Minimum pada Lantai Gedung

No.	Fungsi Gedung	Nilai
1	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	200 kg/m ²
2	Lantai gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko pabrik atau bengkel	125 kg/m ²
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m ²
4	Lantai ruang olah raga	400 kg/m ²
5	Lantai ruang dansa	500 kg/m ²
6	Balkon yang menjorok bebas keluar	300 kg/m ²

7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri	500 kg/m ²
8	Tangga dan bordes seperti yang disebut pada (c)	300 kg/m ²
9	Tangga dan bordes seperti yang disebut pada (d) – (g)	500 kg/m ²
10	Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin	400 kg/m ²
11	Lantai gedung parkir bertingkat (untuk lantai atas)	800 kg/m ²
12	Lantai dari balkon dari ruang pertemuan, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m ²

Sumber: PPIUG hal 17

Perhitungan selanjutnya adalah menganalisa beban-beban yang terjadi, serta kombinasi beban lainnya sesuai dengan jenis struktur dan peraturan pembebanan yang berlaku.

Berdasarkan SKSNI T15-1991-03 suatu struktur harus bisa menahan beban-beban yang bekerja dan faktor – faktor bebannya serta kombinasi dari keduanya seperti dibawah ini :

- Faktor beban mati (γ_D) = 1,2
- Faktor beban hidup (γ_L) = 1,6

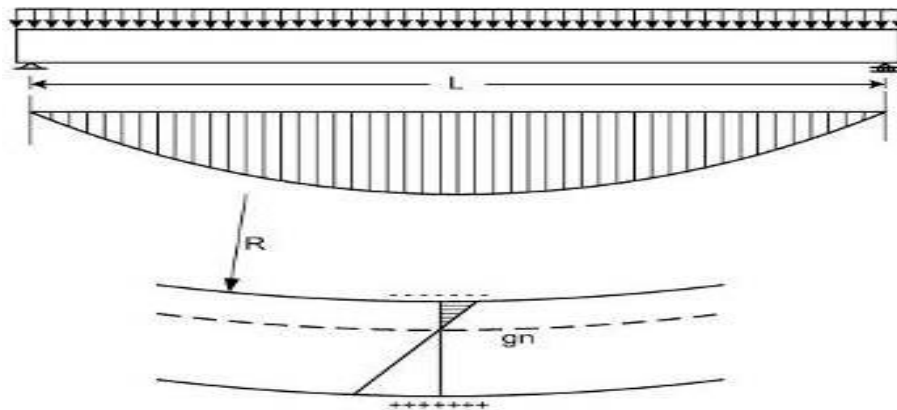
Sehingga rumus yang diberikan untuk kombinasi-kombinasi bebannya adalah :

- $U = 1,2 D + 1,6 L$

Dimana, U adalah Kuat perlu untuk menahan beban, D adalah Beban mati, L adalah Beban hidup.

2.6 Balok Beton Bertulang

Bila suatu gelagar yang terletak diatas dua tumpuan sederhana, menerima beban yang menimbulkan momen lentur, maka terjadi deformasi (regangan) lentur. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi pada bagian atas balok, dan pada bagian bawah tampang balok terjadi regangan tarik. Regangan-regangan ini menimbulkan tegangan tekan disebelah atas dan tegangan tarik di bagian bawah, yang harus ditahan oleh balok diilustrasikan pada Gambar 2.5:



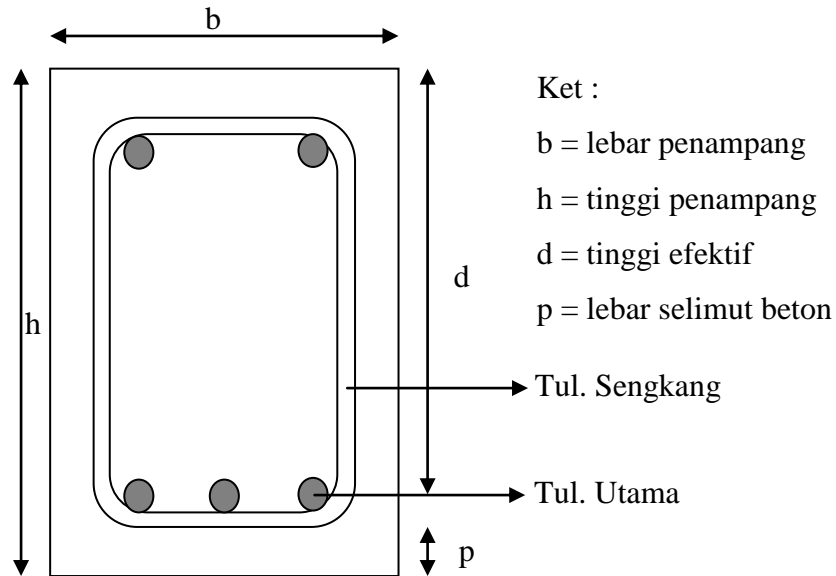
Gambar 1. Balok Terlentur

Pada gambar 2.5 terlihat bahwa suatu penampang balok mengalami gaya tarik dan gaya tekan sehingga untuk menahan gaya - gaya tersebut maka beton yang mempunyai kuat tekan yang baik, perlu diberi tulangan baja yang mempunyai kuat tarik yang baik. Secara umum penampang beton bertulang dapat diilustrasikan pada gambar 2.6

Untuk menentukan luas tulangan baja pada penampang beton digunakan persamaan :

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \cdot (0,8 \text{ hingga } 0,9) \cdot d}$$

Dimana, A_s adalah luas tulangan, M_u adalah Momen ultímate, f_y adalah tegangan leleh baja yang disyaratkan, d adalah tinggi efektif.



Gambar 2. Penampang Persegi Beton Bertulang

2.7 Kolom beton bertulang

Kolom adalah suatu komponen struktur yang mendapat beban tekan sentris atau beban tekan eksentris. Pada struktur yang sederhana, kolom sering merupakan bagian dari struktur rangka, bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horizontal, maka tegangan yang bekerja pada kolom selain tegangan aksial juga dari tegangan yang disebabkan oleh momen lentur.

2.8 Desain Pelat Beton Bertulang

Pelat atau slab beton-bertulang merupakan elemen struktur tipis yang menahan gaya-gaya transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Bentuknya bervariasi, tidak hanya berupa panel segi-empat, terdapat juga panel segitiga dan

panel lain yang bentuknya tidak beraturan. Oleh karena itu, dalam perhitungan pelat yang kompleks digunakan metoda beda-hingga (*finite difference method*) dan metoda elemen-hingga (*finite element method*). Asumsi-asumsi dan persyaratan

keseimbangan statis harus dipenuhi dalam perhitungan pelat beton bertulangan.

Macam-macam pelat menurut sistem pelaksanaannya dibagi menjadi tiga yaitu, sistem flat slab dimana pelat langsung ditumpu kolom-kolom. Sistem ini memberikan perbedaan tinggi antar lantai cukup rendah karena tidak adanya balok, yang berarti ketinggian bangunan secara keseluruhan minimum. Digunakan bila bentang pelat $L \leq 7,50$ m, serta intensitas beban tidak berat, misalnya pada bangunan apartemen, hotel, dll. Bagian pertemuan pelat dengan kolom merupakan bagian yang kritis karena menahan momen lentur cukup besar, gaya geser dan adanya gaya geser yang dapat merusak pelat. Untuk mengatasinya, dilakukan penebalan pelat pada tempat kritis (drop panel) dan membentuk kepala kolom (column capital) flat slab yang memiliki ketebalan merata, yaitu tanpa drop panel atau *column capital* disebut *flat plate*.

Sistem lantai grid (*waffle system*) merupakan sistem lantai yang mempunyai balok-balok yang saling bersilangan dengan jarak relatif rapat seperti. Balok-balok ini mendukung pelat yang tipis.

Sistem ini dimaksud untuk mengurangi berat sendiri pelat dan pelat dapat direncanakan sebagai flat slab atau pelat dua-arah tergantung konfigurasi.

Efisien untuk bentang antara 9 s.d 12 m.

Sistem pelat balok Sistem pelat balok terdiri dari pelat yang ditumpu balok-balok monolit dan balok-balok ditumpu oleh kolom. Tebal pelat tergantung aspek

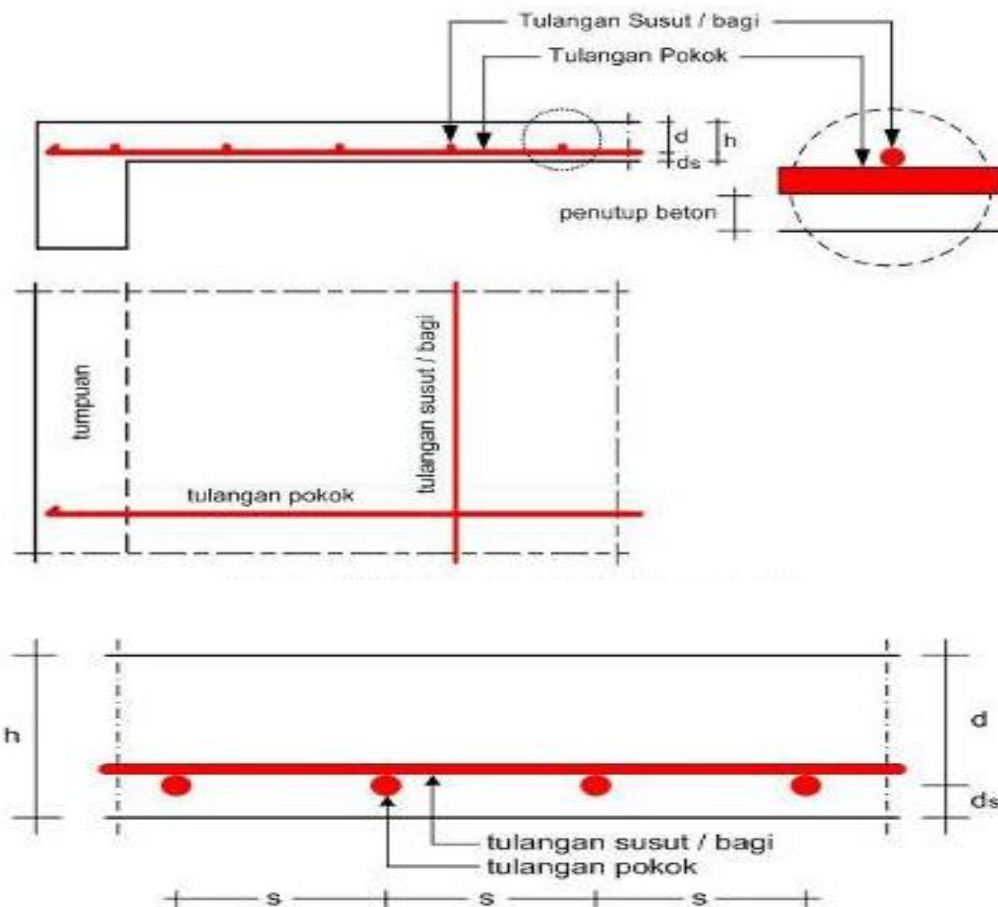
keamanan struktur, jarak balok-balok dan beban yang bekerja. Sistem pelat-balok merupakan sistem yang paling banyak digunakan dan bersifat kokoh (*heavy duty*) Menurut metode perhitungannya pelat beton bertulang dibagi menjadi dua bagian antara lain adalah :

1. Pelat satu arah
2. Pelat dua arah

2.8.1 Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang hanya ditumpu pada kedua sisi yang berhadapan

dan apabila pelat tersebut ditumpu oleh keempat sisinya maka nilai $\frac{L_y}{L_x} > 2$



Gambar 3. Model Penulangan Pada Pelat Satu Arah

Tata cara perhitungan pelat satu arah adalah :

1. Menentukan syarat-syarat batas pada tumpuan dan menentukan panjang bentang yang dihitung dari as ke as.
2. Menentukan tebal pelat sesuai dengan mutu baja yang digunakan dan bentuk dari tumpuan pelat itu sendiri. Tebal pelat harus lebih besar dari tebal minimum yang didapat dari perhitungan.
3. Menghitung beban – beban yang bekerja pada pelat serta kombinasi beban yang dibutuhkan dalam perencanaan.
4. Menghitung momen yang menentukan dengan menggunakan analisa struktur mekanika teknik, dan untuk momen jepit tak terduga digunakan koefisien momen dikalikan $w_u l_n^2$ dimana w_u madalah jumlah total beban pada pelat l_n adalah panjang bentang pelat
5. Menghitung tulangan pelat,

$$\text{Menghitung tinggi efektif } d = h - p - \frac{1}{2} \cdot p$$

$$\text{Mencari nilai } \frac{M_u}{b \cdot d^2}$$

Mencari nilai ρ dengan menggunakan interpolasi pada tabel grafik beton atau menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

$$R_n = \frac{m_n}{b \cdot d^2}$$

Kemudian membandingkan nilai ρ dengan nilai ρ_{\min} dan ρ_{\max} dengan syarat nilai ρ adalah $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, nilai ρ_{\min} dan ρ_{\max} dapat dilihat dari Tabel 5 dan Tabel 6.

Mencari luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

Mencari luas tulangan bagi $A_s = 20\% A_{\max}$ (Irvan, 2007)

Tabel 5. Nilai-nilai ρ_{\min} teoritis

f_y MPa (kg/cm^2)	f'_c MPa (kg/cm^2)				
	15 (150)	20 (200)	25 (250)	30 (300)	35 (350)
240 (2400)	0,0025	0,0029	0,0032	0,0035	0,0038
400 (4000)	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0023

Sumber: CUR I hal 50

Tabel 6. Persentase Tulangan Maksimum ρ_{\max}

f_y MPa (kg/cm^2)	f'_c MPa (kg/cm^2)				
	15 (150)	20 (200)	25 (250)	30 (300)	35 (350)
240 (2400)	0,0242	0,0323	0,0404	0,0484	0,0538
400 (4000)	0,0122	0,0163	0,0203	0,0244	0,0271

Sumber: CUR I hal 52

2.8.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu pada kedua tepinya dan untuk pelat dua arah ini merupakan struktur statis tak tentu. Desain pelat dua arah pada umumnya hampir sama dengan satu arah, hanya yang membedakannya dalam perhitungan untuk pelat dua arah adalah perhitungannya ditinjau dari dua sisi yaitu arah x dan arah y.

Untuk pelat dua arah nilai $\frac{L_y}{L_x} < 2$.

Tabel 7. Perhitungan Momen Yang Menentukan Dengan Metode Amplop

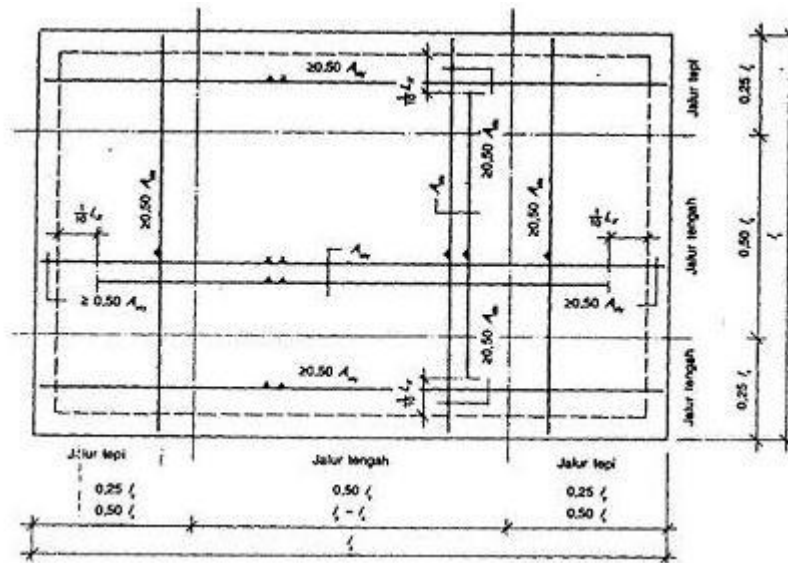
Skema	Penyaluran beban berdasarkan 'metode amplop' kali w_u lantai l_x	Momen per meter lebar	$\frac{l_y}{l_x}$							
			1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
I		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	41	54	67	79	87	97	110	117
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	41	35	31	28	26	25	24	23
II		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	34	42	49	53	58	62	65
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	22	18	15	15	15	14	14
III		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	51	63	72	78	81	82	83	83
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	51	54	55	54	54	55	51	49
IV		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	30	41	52	61	67	72	80	83
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	30	27	23	22	20	19	19	19
V		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	68	84	97	106	113	117	122	124
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	68	74	77	77	77	76	73	71
VI		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	24	36	49	63	74	85	103	113
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	33	33	32	29	27	24	21	20
VII		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	69	85	97	105	110	112	112	112
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	33	40	47	52	55	58	62	65
VIII		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	24	20	18	17	17	16	16	
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	69	76	80	82	83	83	83	83
IX		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	31	45	58	71	81	91	106	115
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	39	37	34	30	27	25	24	23
X		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	91	102	108	111	113	114	114	114
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	39	47	57	64	70	75	81	84
XI		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	31	25	23	21	20	19	19	19
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	91	98	107	113	118	120	124	124
XII		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	36	47	57	64	70	79	83
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	28	27	23	20	18	17	16	16
XIII		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	54	72	88	100	108	114	121	124
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	60	69	74	76	76	76	73	71
XIV		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	28	37	45	50	54	58	62	65
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	21	19	18	17	17	16	16
XV		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	60	70	76	80	82	83	83	83
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_x^2 x$	54	55	55	54	53	53	51	49

Sumber: CUR IV hal 26

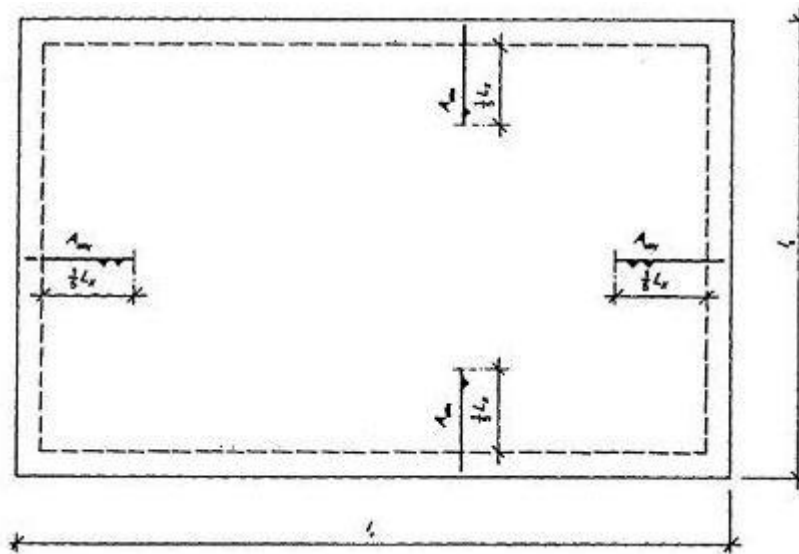
Tata cara perhitungan pelat dua arah adalah :

1. Menentukan syarat-syarat batas pada tumpuan dan menentukan panjang bentang yang dihitung dari as ke as. Ditinjau dari dua sisi yaitu arah x dan arah y yaitu batas l_x dan l_y

2. Menentukan tebal pelat dengan dengan mutu baja yang digunakan dan bentuk dari tumpuan pelat itu sendiri. Tebal pelat harus lebih besar dari tebal minimum yang di dapat dari perhitungan.
3. Menghitung beban – beban yang bekerja pada pelat serta kombinasi beban yang di butuhkan dalam perencanaan, sehingga mendapatkan beban keseluruhan



Gambar 4. Model Penulangan Bawah pada Pelat Dua Arah



Gambar 5. Model Penulangan Atas pada Pelat Dua Arah

1. Menghitung momen yang menentukan dengan menggunakan analisa struktur mekanika teknik, atau dengan menggunakan Tabel 7 ditinjau dari dua sisi yaitu M_l_y dan M_l_x (metode amplop)
2. Menghitung tulangan pelat, . Ditinjau dari dua sisi yaitu arah x dan arah y
3. Menghitung tinggi efektif $d = h - p - \frac{1}{2}.p$, ditinjau dari dua sisi yaitu arah x dan arah y
4. Mencari nilai $\frac{M_u}{b.d^2}$ yang ditinjau dari dua sisi yaitu arah x dan arah y
5. Mencari nilai ρ dengan menggunakan interpolasi pada tabel grafik beton atau menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m.R_n}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f'_c}$$

$$R_n = \frac{m_n}{b.d^2}$$

Kemudian membandingkan nilai ρ dengan nilai ρ_{\min} dan ρ_{\max} dengan syarat nilai ρ adalah $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, nilai ρ_{\min} dan ρ_{\max} dapat dilihat dari Tabel 5 dan Tabel 6.

Mencari luas tulangan $A_s = \rho.b.d$

Ditinjau dari dua sisi yaitu arah x dan arah y

Mencari luas tulangan bagi $A_s = 20\% A_{max}$ (Irvan, 2007)

2.9 Manajemen Waktu

Penjadualan waktu merupakan fase menterjemahkan perencanaan ke dalam suatu diagram skala waktu. Penjadualan adalah menentukan kapan aktivitas-aktivitas dimulai dan diselesaikan, sehingga pembiayaan dan pemakaian sumberdaya disesuaikan. Waktunya menurut kebutuhan yang telah ditentukan. Pada umumnya dikenal dua tipe penjadualan yaitu penjadualan waktu untuk proyek-proyek yang tidak berulang seperti proyek konstruksi gedung dan penjadualan waktu untuk proyek-proyek berulang seperti pembangunan rumah untuk perumahan. (Dipohusodo, 1996)

Ada beberapa metode penjadualan waktu yang dipergunakan untuk merencanakan kegiatan pelaksanaan pekerjaan konstruksi, dimana masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Untuk itu, dalam pemanfaatannya biasa dipakai metode kombinasi. Metode penjadualan waktu antara lain :

1. Diagram Balok (*Gantt Bar Chart*)
2. Diagram Garis (*Time Production Graph*)
3. Diagram Panah (*Arrow Diagram*)
4. Diagram *Precedence* (*Precedence Diagram*)
5. Diagram Skala Waktu (*Time Scale Diagram*)

2.9.1 Diagram Balok (*Gantt Bar Chart*)

Bar chart digunakan secara luas dalam proyek konstruksi karena sederhana, mudah pembuatannya dan mudah dimengerti oleh pemakainya. *Bar chart* adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal, sedangkan kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir dari suatu

kegiatan dapat terlihat dengan jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang.

Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut : (Ervianto, 2002)

1. Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
2. Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan itu disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, tanpa mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan-pekerjaan secara bersamaan.
3. Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai dengan seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item kegiatan.

Diagram balok memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan sistem penjadualan lainnya. Kelebihan-kelebihan diagram balok sangat membantu perencanaan jadwal pada tahap pendahuluan suatu proyek konstruksi dan perekayasaan, dimana perubahan sering terjadi.

Keuntungan dan manfaat diagram balok antara lain :

1. Bentuk grafiknya dan mudah dimengerti oleh semua tingkat manajemen, sehingga dapat diterima dan digunakan dalam pelaksanaan secara luas.

2. Merupakan alat perencanaan dan penjadualan yang baik, hanya memerlukan sedikit penyempurnaan (*revisi*) dan pembaharuan (*up-dating*) dibanding sistem-sistem yang lebih canggih.

Sedangkan keterbatasan dan kelemahan diagram balok antara lain:

1. Hubungan antara masing-masing aktivitas tidak bisa dilihat dengan jelas.
2. Diagram balok tidak memadai untuk dipakai dalam pekerjaan pengawasan, karena aktivitas-aktivitas yang sangat menentukan ketepatan waktu tidak terlihat dengan jelas.
3. Alternatif untuk memperbaiki jadwal pelaksanaan kegiatan lainnya tidak dapat dibaca pada diagram balok.
4. Apabila terdapat satu atau beberapa aktivitas mengalami keterlambatan, maka gambaran keseluruhan sulit untuk diketahui secara tepat sejauh mana hal tersebut akan mempengaruhi jadwal keseluruhan proyek.

2.9.2 Diagram Garis (*Time Production Graph*)

Tampilan informasi diagram garis menunjukkan 2 variabel, yaitu sumbu x menunjukkan waktu dan sumbu y menunjukkan volume pekerjaan. Sebuah garis miring menyatakan 1 aktivitas, dimana proyeksi ke sumbu x menyatakan waktu pelaksanaan aktivitas dan proyeksi ke sumbu y menyatakan volume aktivitasnya. Makin besar sudut yang dibentuk terhadap sumbu x makin tegak aktivitas berarti makin cepat pelaksanaan aktivitas tersebut. Letak garis aktivitas dalam diagram menyatakan saat mulai dan saat berakhirnya suatu aktivitas.

Diagram garis umumnya dipakai untuk proyek-proyek dengan pekerjaan berulang seperti proyek jalan, terowongan, kana, irigasi, penanaman pipa, gedung bertingkat, dll. Perencanaan suatu aktivitas proyek dapat diatur dengan cara

menggeser ke kiri atau ke kanan atau dengan mengubah kemiringan sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan jarak waktu kritis menggambarkan suatu tenggang waktu yang harus diamankan untuk mencegah aktivitas tumpang tindih.

2.9.3 Diagram Panah (*Arrow Diagram*)

Status aktivitas dalam diagram CPM ditentukan dan digambarkan dalam jaringan kerja (*network*), dengan memperhatikan hubungan antar aktivitas. Urutan aktivitas menggambarkan ketergantungan aktivitas tersebut terhadap aktivitas lain.

2.9.4 Diagram *Precedence* (*Precedence Diagram Method*)

Kegiatan dalam *Precedence Diagram Method* (PDM) digambarkan dengan lambang segi empat, karena letak kegiatan dibagian node sehingga sering disebut juga *Activity On Node* (AON). Kelebihan *Precedence Diagram Method* (PDM) dibandingkan dengan *Arrow Diagram* adalah : (Ervianto, 2002)

1. Tidak diperlukan kegiatan fiktif/*dummy* sehingga pembuatan jaringan menjadi lebih sederhana.
2. Hubungan *overlapping* yang berbeda dapat dibuat tanpa menambah jumlah kegiatan.

2.9.5 Diagram Skala Waktu (*Time Scale Diagram*)

Satuan waktu dapat sebagai minggu, hari, bahkan jam ataupun menit, asalkan seluruh kegiatan menggunakan satuan waktu yang sama. Sebagai contoh, sesuatu kegiatan membutuhkan waktu satu setengah minggu atau satu minggu dan tiga hari. Rentang waktu tersebut akan diterjemahkan ke dalam jumlah hari kerja nyata yang diperlukan, sehingga tidak menggunakan dasar perhitungan tujuh hari setiap minggunya. Penjadualan ini ditandai dengan memberikan notasi yang

biasa diberikan. Setiap rentang waktu kegiatan ditunjukkan dalam tanda kurung dan dituliskan di bawah anak panah yang sekaligus mewakili kegiatan yang bersangkutan. (Dipohusodo, 1996).

2.10 Estimasi Biaya (SNI-7394-2008)

Estimasi biaya adalah penentuan dari kemungkinan biaya konstruksi dari suatu proyek. Banyaknya jenis pekerjaan mempunyai pengaruh dan kontribusi untuk suatu proyek, setiap jenis pekerjaan harus dianalisis, dihitung, dan ditetapkan harganya. Karena estimasi disiapkan sebelum pelaksanaan proyek konstruksi, sehingga diperlukan adanya proses penelitian di lapangan. (Dagostino and Feigenbaum, 2003).

Estimasi biaya mempunyai peranan penting dalam suatu tender. agar kontraktor dapat bertahan dalam bisnis konstruksi, maka seorang kontraktor harus mempunyai klasifikasi penawaran terendah dalam suatu proyek, dimana keuntungan batasannya disetujui, dengan tetap mengutamakan kualitas yang sesuai. (Dagostino and Feigenbaum, 2003).

Kualitas suatu estimasi biaya proyek tergantung pada tersedianya data dan informasi, teknik, atau metode yang digunakan, serta kecakapan dan pengalaman estimator. Tersedianya data dan informasi memegang peranan penting dalam hal kualitas biaya proyek yang dihasilkan. Sebagai contoh pada awal formulasi lingkup proyek, jika sebagian data atau informasi belum tersedia dan belum ditentukan, maka estimasi biaya yang dihasilkan masih berupa perkiraan kasar dengan akurasi di atas 50%. (Soeharto, 1955).

Sebelum memulai estimasi biaya, harus terlebih dahulu diketahui untuk siapa estimasi dibuat dan kapan saatnya. Secara umum ada 4 jenis estimasi biaya, yaitu :

1. Estimasi kasar untuk pemilik

Estimasi ini dibutuhkan oleh pemilik untuk memutuskan apakah akan meneruskan ide membangun proyek atau mengagalkannya. Estimasi ini masih global sekali dan biasanya pemilik dibantu oleh konsultan yang melaksanakan studi kelayakan untuk mendapatkannya.

2. Estimasi pendahuluan oleh konsultan perencana

Estimasi pendahuluan dibuat setelah gambar desain dan rencana kerja dan syarat-syarat selesai dibuat. Estimasi ini lebih teliti daripada estimasi kasar.

3. Estimasi detail oleh kontraktor

Estimasi detail dibuat oleh kontraktor dengan melihat bestek dan gambar bestek yang disusun oleh konsultan. Estimasi ini lebih terinci karena telah memperhitungkan segala kemungkinan seperti keadaan proyek, metode pelaksanaan, lokasi material. Estimasi detail dibuat oleh kontraktor dalam bentuk penawaran saat pelelangan pekerjaan dan menjadi harga tetap (*fixed price*) kontrak setelah ditunjuk menjadi pemenang dan surat perjanjian ditandatangani.

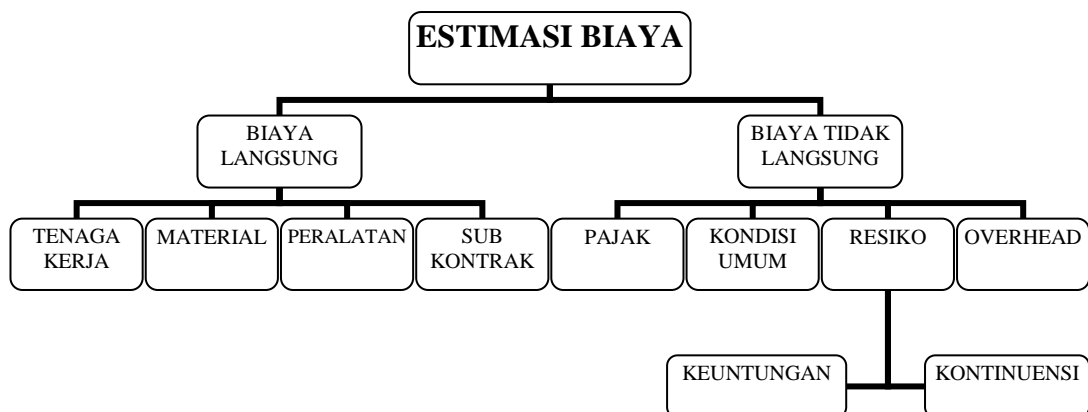
4. Biaya sesungguhnya setelah proyek selesai.

Bagi pemilik harga tetap tersebut tidak berubah lagi, kecuali dalam pelaksanaannya proyek mengalami pekerjaan tambah-kurang. Sedangkan bagi kontraktor harga tersebut adalah penerimaan yang pasti, sedangkan biaya sesungguhnya (*real cost*) adalah semua pengeluaran yang dibutuhkan untuk

menyesuaikan proyek tersebut. Selisih dari penerimaan dan biaya sesungguhnya merupakan keuntungan bagi kontraktor.

Estimasi biaya untuk suatu proyek terdiri dari biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Biaya langsung adalah biaya yang langsung berhubungan dengan konstruksi, sedangkan biaya tidak langsung adalah biaya yang tidak langsung berkaitan dengan konstruksi.

Semakin lama suatu proyek dikerjakan, maka akan semakin murah biaya langsung yang dikeluarkan. Sebaliknya, semakin lama suatu proyek yang dikerjakan, maka akan semakin banyak membutuhkan biaya tak langsung. Oleh karena itu perlu dicari waktu optimum yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek, sehingga didapatkan biaya total yang harus dikeluarkan menjadi minimal.



Gambar 6. Komponen-komponen biaya dari proyek

2.11 Pemodelan Gedung RUSUNAWA Universitas Lampung

Sebelum dilakukan analisa struktur terlebih dahulu membuat model struktur. Pemodelan gedung RUSUNAWA Universitas Lampung dibuat dengan bantuan software.