

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Definisi dan Tinjauan Umum

Bekisting merupakan bagian yang harus ada pekerjaan struktur beton. Menurut Stephens (1985) *formwork* atau bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Sedangkan menurut McCormac (2003) bekisting beton adalah cetakkan yang ke dalamnya beton semi-cair diisikan. Cetakkan ini harus cukup kuat untuk menahan beton dalam ukuran dan bentuk yang diinginkan hingga beton tersebut mengeras. Karena bekisting merupakan struktur, bekisting haruslah didesain secara cermat dan ekonomis untuk mendukung beban yang dikerahkan dengan menggunakan metode-metode yang dibutuhkan untuk desain struktur teknik lainnya.

Keselamatan merupakan hal yang paling diperhatikan dalam bekisting karena kecelakaan dengan persentase yang cukup tinggi terjadi dalam kontruksi struktur beton ialah akibat kegagalan bekisting. Biasanya, kegagalan bekisting bukan disebabkan oleh pemberian beban gravitasi yang berlebihan, meski kadang terjadi, kegagalan biasanya diakibatkan oleh gaya-gaya lateral yang menyebabkan batang penopang bergerak. Gaya-gaya lateral ini bisa saja disebabkan oleh angin, perlengkapan yang bergerak pada bekisting yang bersangkutan, getaran yang diakibatkan oleh lalu lintas, atau oleh tekanan beton yang baru dituang atau digetarkan.

Selain dari segi keselamatan, biaya juga merupakan pertimbangan utama. Biaya bekisting yang dapat berkisar dari sepertiga hingga dua pertiga dari total biaya untuk struktur beton tersebut, sering lebih tinggi daripada biaya beton maupun baja tulangnya. Untuk beton biasa, bekisting dianggap menghabiskan 50% dari total biaya.

3.2 Ketentuan Dan Syarat Pekerjaan Bekisting

Dalam buku *Formwork For Concrete* menurut *American Concrete Institute* (ACI) menyebutkan untuk memenuhi fungsinya bekisting harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Stabil (kokoh), artinya dapat menahan beban sehingga goyangan dan geseran yang terjadi tidak sampai membuat bentuk struktur berubah ataupun menggagalkan system bekisting itu sendiri (ambruk).
2. Kaku, artinya dapat menahan beban sehingga dimensi, bunting atau keropos pada strukturbeton dapat dicegah terutama pada bekisting kontak.
3. Kuat, artinya dapat memikul dan menahan beban-beban yang terjadi sebelum pengecoran, selama pengecoran dan setelah masa pengecoran.

Perancangan suatu sistem bekisting bukan hanya untuk membuat cetakan beton sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan tetapi juga harus mampu menahan beban yang terjadi. Faktor yang harus dipenuhi yaitu :

1. Kekuatan
Bekisting mampu menahan beban-beban yang terjadi sebelum pengecoran, selama pengecoran dan setelah masa pengecoran.
2. Kekakuan
Lendutan yang terjadi tidak boleh lebih dari yang disyaratkan yaitu 0,3% dari dimensi permukaan beton atau sesuai dengan ketentuan proyek. Untuk itu dibutuhkan perawatan untuk memastikan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi toleransi yang disyaratkan.
3. Ekonomis
Pemilihan material bekisting harus ditinjau dari segi pembiayaan dengan mempertimbangkan bentuk bekisting yang sederhana dan ukuran yang tipikal.
4. Metode pelaksanaan
Bekisting harus mudah dibongkar, diperkuat dan dipindahkan tanpa merusak beton atau bekisting. Perencanaan bekisting harus memenuhi hal-hal tersebut, terutama metode pemasangan dan leveling elevasi.

3.3 Perencanaan Bekisting

3.3.1 Fungsi sebuah bekisting

Menurut Wigbout (1992) sebuah bekisting menjalani tiga fungsi :

1. Bekisting menentukan bentuk dari konstruksi beton yang akan dibuat. Bentuk sederhana dari sebuah konstruksi beton menghendaki sebuah bekisting yang sederhana,
2. Bekisting harus dapat menyerap dengan aman beban yang ditimbulkan oleh spesi beton dan berbagai beban luar serta getaran. Dalam hal ini perubahan bentuk dan geseran-geseran dapat diperkenankan asalkan tidak melampaui toleransi-toleransi tertentu,
3. Bekisting harus dapat dengan cara sederhana dipasang, dilepas dan dipindahkan.

Konstruksi bekisting berdasarkan fungsinya dapat dibagi dalam :

1. Bekisting kontak
2. Konstruksi penopang
3. Penanggulangan angin, penanggulangan tekukan dan penjaga kestabilan

3.3.2 Beban-beban vertikal

Beban vertikal menurut Wigbout (1992) disebabkan oleh beberapa hal berikut :

1. Beban oleh bekisting
 - a. Bekisting tradisional atau konvensional

- Kayu papan 150 N/m^2
- Balok-balok anak 150 N/m^2
- Penyangga-penyangga 150 N/m^2

Total sekitar $300 - 450 \text{ N/m}^2$

- b. Bekisting sistem

Apabila bekisting sistem terdiri dari permukaan kontak terbuat dari tripleks, balok-balok yang terbuat dari kayu dan penyangga dari baja, dengan batasan $\pm 20\%$ kita dapat berpegang pada Tabel 3.1 berikut.

Termasuk faktor-faktor yang berpengaruh :

- Beban

- Jarak gelagar-gelagar sistem
- Lenturan yang diperkenankan

Tabel 3.1 Beban Sendiri Bekisting Sistem

L (m)	Bobot sendiri (N/m ²)	L (m)	Bobot sendiri (N/m ²)
2	450	8	1050
3	550	9	1150
4	650	10	1250
5	750	11	1450
6	850	12	1600
7	950		

Sumber : Wigbout (1992)

2. Beban oleh spesi beton

Diperhitungkan untuk beton normal, satuan rata-rata (massa volumik) :

- Spesi beton tanpa tulangan $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Spesi beton dengan tulangan $\gamma = 2500 \text{ kg/m}^3$

Untuk beban diperhitungkan 24 kg/m^3 , 25 kg/m^3

Bila digunakan jenis beton lain misal beton ringan, kepadatan ini harus diteliti kembali

3. Beban oleh tulangan

- Tulangan lantai bervariasi dari 0,6 hingga 1,0 kN/m³ beton.
- Tulangan balok bervariasi dari 0,8 hingga 1,5 kN/m³ beton.

4. Beban kerja

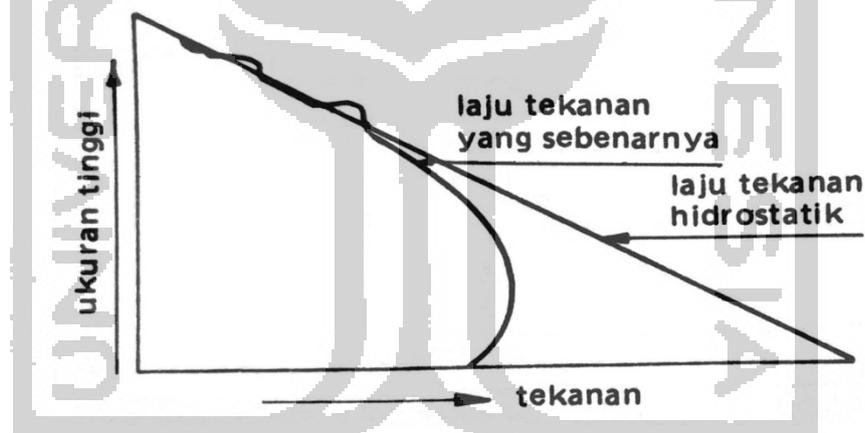
Setelah bekisting selesai dikerjakan, adanya kegiatan akan terjadi pembebanan terhadap bekisting, seperti oleh :

- Spesi beton : pemusatan yang disebabkan oleh penumpahan wadah spesi
- Baja beton : pemusatan batang-batang atau beronjong-beronjong
- Material : penempatan wadah spesi, pengangkutan spesi dengan gerobak
- Pekerja : pemusatan di sekitar wadah spesi beton atau pipa pompa beton

Beban kerja pengganti diberlakukan suatu muatan merata sebesar $1,5 \text{ kN/m}^2$.

3.3.3 Tekanan horisontal spesi beton

Beban yang disebabkan oleh spesi beton cair terhadap bekisting dinding ataupun bekisting kolom lebih banyak berupa tekanan yang mengarah horisontal. Besarnya tekanan horisontal spesi beton dipengaruhi oleh banyak faktor. Apabila spesi beton dalam waktu singkat dicorkan hingga mencapai ketinggian penuh dalam sebuah bekisting, selama beberapa saat tekanan samping dapat dicatat sebagai tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik yang sama terjadi pula saat spesi beton dipadatkan dengan penggetar bekisting. Tidak lama setelah itu, tekanan samping akan berkurang dari laju tekana hidrostatik. Ini disebabkan oleh gesekan di dalam, kohesi, pemadatan semen, laju tegangan air dan lain sebagainya. Kecepatan naik yang normal oleh spesi beton dalam bekisting $\dot{v} < 4 \text{ m/h}$.



Gambar 3.1 Tekanan Spesi Beton Terhadap Bekisting Dinding (Wigbout, 1992)

Menurut Wigbout (1992), Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tekanan horisontal spesi beton sebagai berikut :

1. Spesi beton
 - Massa volumik dari spesi beton
 - Susunan spesi beton
 - Massa ikat semen
2. Temperatur
 - Temperatur

- Kecepatan pengecoran
- Metode pengecoran beton
- Cara pemadatan
- 3. Bekisting
 - Tinggi bekisting
 - Bentuk bekisting
 - Kekakuan bekisting
- 4. Tulangan
 - Kepadatan tulangan misalnya dalam kolom

3.3.4 Beban tekanan samping yang disederhanakan

Disebabkan sulit untuk menafsir berapa tepatnya tekanan yang dikerahkan oleh beton yang baru dituang akibat beberapa faktor. Maka dengan pengontrolan faktor-faktor yang berpengaruh, beban tekanan samping dapat distandarkan, misalnya 20, 40, 60 kN/m² dan lebih tinggi lagi. Penstandaran ini berlaku untuk bekisting sistem. Apabila ukuran penyusutan yang sebenarnya dan/atau temperaturnya menyimpang dari nilai yang diberlakukan dalam perencanaan, kecepatan naik harus dikoreksi. Tiga buah arahan untuk beban tekanan samping sebuah bekisting sebagai berikut :

1. Beban horisontal yang rendah, tekanan maksimal ($< 30 \text{ kN/m}^2$), persyaratan :
 - a. Pengecoran perlahan-lahan dengan kecepatan naik yang rendah ($\leq 1 \text{ m/h}$)
 - b. Ukuran penyusutan yang kecil ($\leq 80 \text{ mm}$).
 - c. Ketinggian dinding terbatas ($\leq 3 \text{ m}$).
 - d. Ketebalan dinding terbatas ($\leq 200 \text{ mm}$).
2. Beban horisontal pertengahan, tekanan maksimal $\leq 50 \text{ kN/m}^2$, persyaratan :
 - a. Pada dinding ketinggian hingga 3 m dan tebal hingga 200 mm, kecepatan naik antara 4 – 5 m/h.
 - b. Pada dinding dengan ketinggian cukup besar hingga 15 m, kecepatan naik hingga 1,5 m/h.
 - c. Pada dinding-dinding cemuk lift.
3. Beban horisontal tinggi, tekanan maksimal $\leq 92 \text{ kN/m}^2$, persyaratan :
 - a. Dinding-dinding pada pembuatan lewat penuangan.
 - b. Kolom-kolom

- c. Pada kecepatan naik yang sangat tinggi (> 6 m/h)

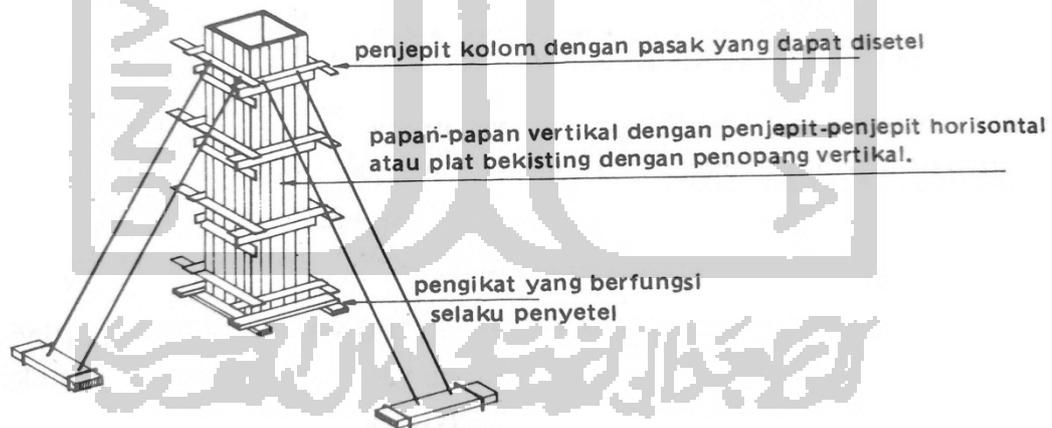
Arahan-arahan ini sangat global dan hendaknya digunakan secara kritis. Jika ketinggian coran beban lebih dari 2 m, tekanan samping ditingkatkan 10 kN/m^2 mengingat efek hentakkan.

3.4 Jenis Dan Tipe Bekisting

Berdasarkan dari seringnya satuan-satuan bekisting dalam bentuk tidak diubah dapat digunakan ulang, Wigbout (1992) membedakan bekisting pada tiga tipe yaitu :

1. Bekisting konvensional

Bekisting konvensional adalah bekisting yang setelah dilepas dan dibongkar menjadi bagian-bagian terpisah, dapat disusun kembali menjadi bentuk semula atau bentuk lain. Bekisting ini masih mudah ditemukan dalam proses pembangunan, dengan bahan dasar kayu papan dan kayu balok dikerjakan. Penggunaannya hanya dapat beberapa kali saja, untuk bentuk bekisting yang rumit harus banyak dilakukan pemotongan.

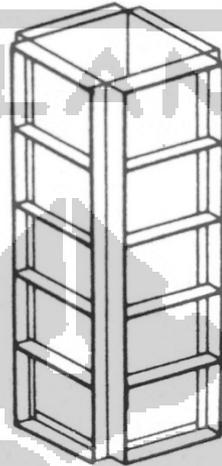


Gambar 3.2 Bekisting Konvensional (Wigbout, 1992)

2. Bekisting semi-sistem

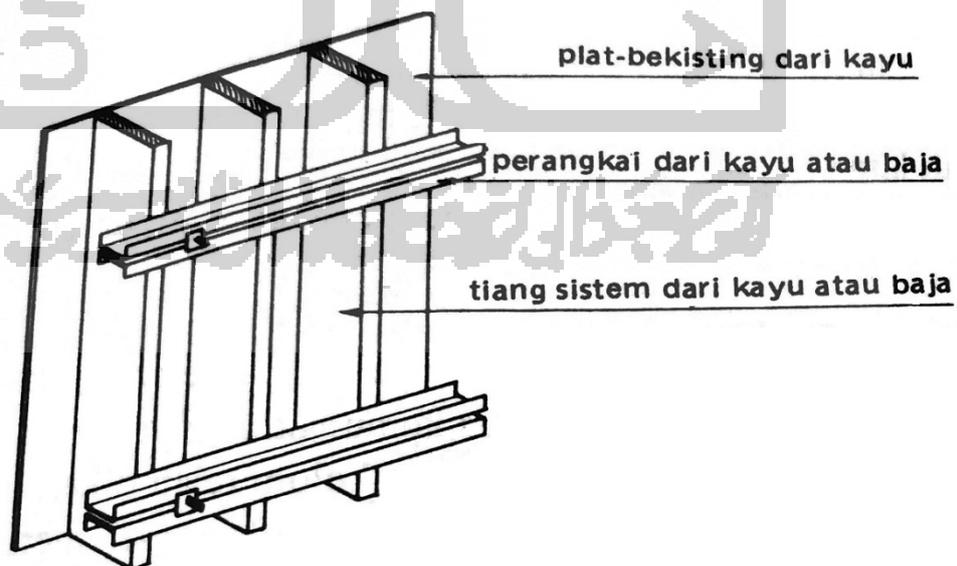
Bekisting semi-sistem adalah suatu bekisting yang dikhususkan untuk sebuah bentuk atau obyek tertentu. Metode bekisting semi-sistem ini dapat digunakan berulang kali dalam bentuk yang tidak dapat diubah. Metode ini dirancang untuk digunakan pada suatu proyek tertentu, yang ukuran-ukurannya

disesuaikan pada bentuk beton bersangkutan. Umumnya bekisting semi-sistem tersusun dari komponen-komponen yang dibuat atau dipesan pada pihak lain atau oleh pengusaha pabrik. Bekisting semi-sistem disyaratkan untuk digunakan apabila ada kemungkinan pengulangan pekerjaan yang besar.



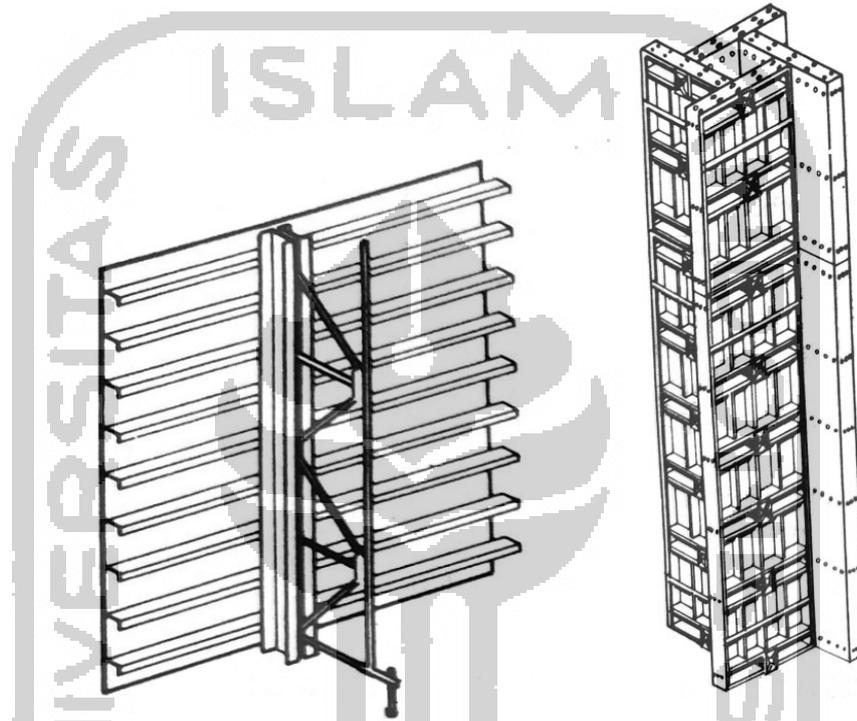
Gambar 3.3 Bekisting Kolom Semi-Sistem Dari Baja (Wigbout, 1992)

Matrial yang digunakan pada bekisting semi-sistem bisa berupa kombinasi dari matrial konvensional berupa kayu dan baja. Seperti pada bekisting dinding pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Bekisting Dinding Semi-Sistem (Wigbout, 1992)

Selain dari kombinasi dari material konvensional berupa kayu dan baja, bekisting juga dapat dibuat di pabrik dengan ukuran yang disesuaikan pada proyek yang akan dikerjakan. Bekisting kolom dan bekisting dinding yang terbuat dari baja seperti pada Gambar 3.5 berikut.

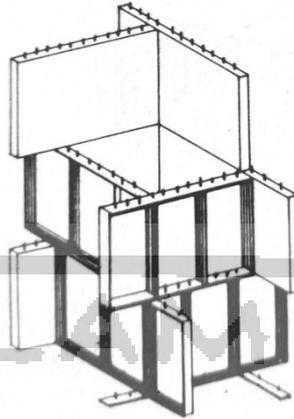


Gambar 3.5 Bekisting Dinding Dan Kolom Dari Baja (Wigbout, 1992)

Berbeda dengan bekisting konvensional yang merupakan bagian-bagian yang terpisahkan, bekisting semi-sistem memiliki bagian yang terpisahkan lebih sedikit sehingga dalam pemasangan dan pembongkaran akan lebih cepat. Selain itu, biaya investasi dan upah kerja yang dikeluarkan tidak begitu tinggi.

3. Bekisting sistem

Bekisting sistem adalah bekisting yang elemen-elemen dibuat dipabrik, sebagian besar komponen terbuat dari baja. Bekisting sistem bertujuan untuk penggunaan berulang-ulang kali. Pembiayaan bekisting sistem selain dapat dibeli langsung dapat juga diperoleh dengan menyewa dari penyedia alat-alat bekisting. Contoh : bekisting untuk panel terowongan, bekisting untuk beton pre-cast.



Gambar 3.6 Bekisting Sistem (Wigbout, 1992)

3.5 Pembiayaan Bekisting

Menurut Antil dan Ryan (1982) dalam Legstyana (2012) penggunaan yang berulang dari bekisting ditujukan untuk mencapai nilai ekonomis maksimum dari material. Dalam tahap perencanaan bekisting yang sulit adalah memperkirakan atau mengestimasi biaya bekisting tersebut. Para perencana harus mampu memperhitungkan banyak faktor yang dapat memberikan dampak dalam pembiayaan pekerjaan bekisting sehingga efisiensi yang diinginkan tercapai. Faktor yang dimaksud tersebut yaitu:

1. Pemilihan tenaga kerja, keterampilan dan harga upah menjadi pertimbangan.
2. Pemilihan metode yang akan digunakan, metode yang berbeda dapat memungkinkan akan adanya penggunaan jenis material, alat bantu dan alat penyangga yang berbeda serta jenis pembiayaannya dengan membeli atau dengan cara sewa.
3. Metode pabrikan, pemasangan, perkuatan, pembongkaran dan pemindahan

Biaya bekisting biasanya berkisar antara 35% sampai 60% atau lebih daripada keseluruhan biaya konstruksi struktur beton Nawy (1997).

3.5.1 Biaya Material Pada Bekisting Konvensional

Menurut Wigbout (1992) besarnya biaya material pada bekisting konvensional dapat diketahui dengan mempelajari penurunan nilai pada masing-masing komponen sesudah pemakaiannya. Penurunan nilai ini dapat bersifat kualitatif dan kuantitatif. Hal ini ditentukan oleh bentuk beton yang akan dibuat

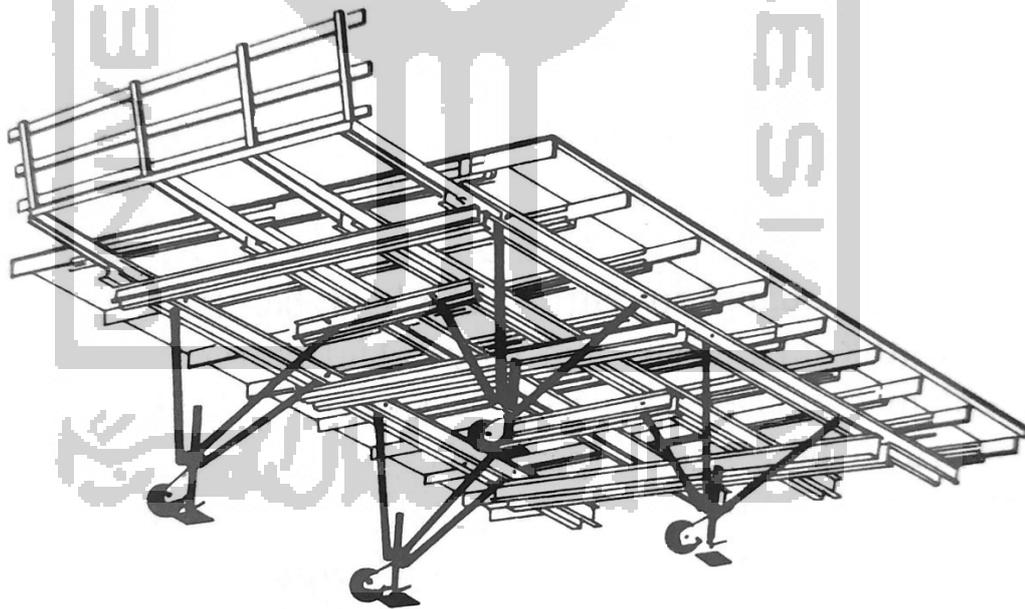
(rumit atau sederhana) dan dari berapa banyak penggunaan ulang yang diharapkan, sering kali dilakukan perhitungan dengan :

1. Kayu papan dapat digunakan 3 hingga 5kali
2. Kayu balok dapat digunakan 6 hingga 12kali

Bahan dasar penyusu bekisting konvensional merupakan bahan yang terbuat dari kayu.

3.5.2 Biaya Material Pada Bekisting Semi-sistem

Metode bekisting semi-sistem sering digunakan untuk komponen bangunan yang memiliki luasan yang besar dan kemungkinan penggunaan berulang kali. Contoh pada bekisting lantai dengan bentuk bekisting meja dengan luas bekisting misalnya 20 hingga 40 m²/meja dan pada bekisting dinding yang dipakai berulang kali dengan luasan bekisting misalnya 15 hingga 35 m²/dinding (Nashir, 2010). Bekisting meja dengan konstruksi penopang dari baja dan *hollow* seperti pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Bekisting Meja (Wigbout, 1992)

3.5.3 Perbedaan biaya material pada ketiga tipe bekisting

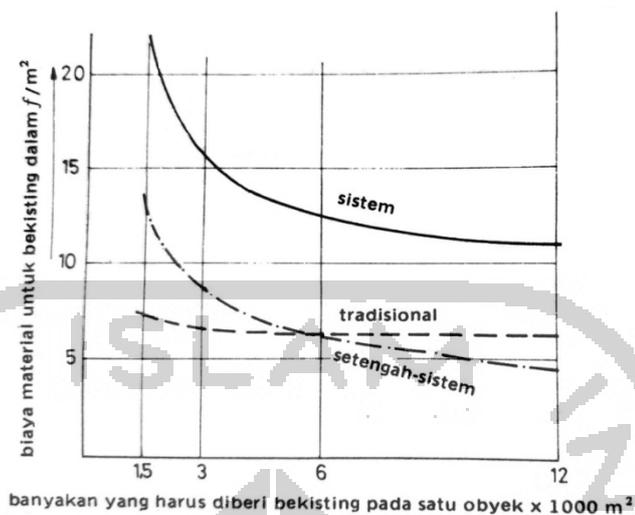
Pembiayaan pada metode bekisting sistem, bekisting semi-sistem dan bekisting konvensional, berhubungan dengan komponen-komponen yang akan dipergunakan pada suatu proyek, memiliki perbedaan satu dengan yang lainnya.

1. Pada bekisting konvensional, biaya yang tercakup adalah :
 - a. Penghapusan kayu
 - b. Penyewaan stempel-stempel baja
 - c. Biaya kirim untuk bagian-bagian yang tahan lama (stempel-stempel baja)
 - d. Tepi-tepi lantai
2. Pada bekisting semi-sistem, biaya yang tercakup adalah :
 - a. Tepi-tepi lantai
 - b. Penyewaan kaki-kaki meja dan stempel-stempel
 - c. Biaya kirim untuk bagian-bagian yang tahan lama
 - d. Penghapusan kayu
3. Untuk bekisting sistem, biaya yang tercakup adalah:
 - a. Tepi-tepi lantai dan merapikan
 - b. Penyewaan untuk kemungkinan pestempelan satu di atas yang lain.
 - c. Biaya angkutan untuk stempel-stempel tambahan dan bekisting sistem
 - d. Penyewaan bekisting

Grafik Perbandingan biaya bekisting konvensional, semi-sistem dan sistem menurut wigbout (1992) diperlihatkan pada Gambar 3.8.

Pada grafik perbandingan biaya bekisting konvensional, semi-sistem dan sistem dapat diketahui perbedaan biaya material terhadap volume pekerjaan. Pada bentuk struktur yang sederhana, dengan bentuk struktur yang relatif sama atau tipikal, maka dapat diambil acuan sebagai berikut:

1. Bekisting sistem akan selalu menjadi metode yang paling mahal.
2. Jika luasannya kurang dari 6000 m^2 , metode konvensional akan lebih murah atau ekonomis.
3. Jika luasannya lebih besar dari 6000 m^2 , metode semi-sistem yang lebih murah atau ekonomis.



Gambar 3.8 Biaya Material Untuk Bekisting Lantai yang Rata/m² (Wigbout, 1992)

3.5.4 Biaya Langsung untuk Bekisting

Biaya langsung untuk bekisting terdiri dari :

1. Upah tenaga kerja
2. Biaya perencanaan
3. Biaya meterial

Biaya langsung sangat dipengaruhi oleh durasi waktu pelaksanaan. Pada saat durasi waktu yang lebih lama, besarnya biaya sewa dan meterial akan meningkat sebanding dengan lamanya durasi waktu pengerjaan. Terutama akan berpengaruh terhadap biaya untuk bekisting semi-sistem dan sistem. Karena kedua metode tersebut memerlukan modal yang lebih besar bila dibandingkan dengan bekisting semi-sistem.

3.6 Bahan Penyusun Bekisting

Bahan yang umumnya dipakai dalam pekerjaan bekisting konvensional adalah sebagai berikut :

3.6.1 Kayu

Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) mengatur penggunaan kayu sebagai bahan penyusun bekisting dengan ketentuan-ketentuan dan persyaratannya. Pada peraturan PKKI jenis-jenis kayu diklasifikasikan berdasarkan

berat jenis, kekuatan lentur mutlak, dan kekuatan tekan mutlaknya menjadi lima kelas.

Tabel 3.2 Klasifikasi Kayu Di Indonesia

No	Kelas kuat	Berat jenis keringudara (gr/cm ³)	Kuat lentur mutlak (kg/cm ²)	Kuat tekan mutlak (kg/cm ²)
1	I	> 0,9	> 1100	> 650
2	II	0,90 – 0,60	1100 – 725	650 – 425
3	III	0,60 – 0,40	725 – 500	425 – 300
4	IV	0,40 – 0,30	500 - 360	300 - 215
5	V	< 0,30	< 360	< 215

Sumber : PKKI Tahun 1961

Material kayu memiliki sifat-sifat menguntungkan dalam fungsinya sebagai bagian dari konstruksi yaitu :

1. Harga yang relatif murah dan dapat diperoleh dengan mudah
2. Isolasi termis yang sangat baik
3. Dapat dengan baik menerima tumbukan-tumbukan dan getaran-getaran serta penanganan yang kasar di tempat pendirian sebuah bangunan
4. Kekuatan yang besar pada suatu massa volumik yang kecil
5. Mudah dikerjakan dan alat sambungnyasederhana

Sedangkan nilai kapasitas tegangan ijin dan modulus elastisitas dari material kayu adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Nilai-Nilai Tegangan Ijin Kayu dan Modulus Elastisitasnya

No.	Jenis tegangan (kg/cm ²)	Kelas kuat kayu				
		I	II	III	IV	V
1	Tegangan lentur sejajar serat ($\sigma_{lt//}$)	150	100	75	50	-
2	Tegangan tekan = Tarik sejajar serat ($\sigma_{tk//} = \sigma_{lt//}$)	130	85	60	45	-
3	Tegangan tekan tegak lurus serat ($\sigma_{tk// \perp}$)	40	25	15	10	-

Lanjutan Tabel 3.4 Nilai-Nilai Tegangan Ijin Kayu dan Modulus Elastisitasnya

No.	Jenis tegangan (kg/cm ²)	Kelas kuat kayu				
		I	II	III	IV	V
4	Tegangan geser sejajar serat ($\tau //$)	20	12	8	5	-
5	Modulus Elastisitas (E)	125000	100000	80000	60000	-

Sumber : PKKI tahun 1961

3.6.2 Multiplek

Nilai-nilai penting yang diperkenankan pada beberapa jenis multiplek untuk konstruksi bekisting dengan kondisi penggunaan berlaku kelas kering IV. Nilai-nilai berikut ditetapkan setelah *Centrum voor Houtresearch* (pusat penelitian masalah kayu) meminta *Houtinstituut TNO* (institute masalah kayu TNO) dan laboratorium Stevin di Delft untuk mengadakan penelitian. Untuk jenis atau ketebalan multiplek lainnya masih belum diperoleh keterangan yang dapat dipercaya untuk keadaan-keadaan yang dikemukakan.

Tabel 3.4 Nilai-Nilai Tegangan Ijin Kayu dan Modulus Elastisitasnya

Tebal multiplek (mm)	$\sigma_{b//}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b\perp}$ (N/mm ²)	$E_{//}$ (N/mm ²)	E_{\perp} (N/mm ²)	
Bruynzeel	12	9	7,5	6200	3500
	18	11,8	7	5900	3820
	21	9	6,5	5500	3700
Pine Oregon Kanada	13	4,8	4,8	5900	3600
	19	4,8	4,8	5400	4050
	22	4,0	5,6	5400	4050
Vuren/berken Finlandia	12	12	8,8	7230	4680

Sumber : Wigbout (1992)

3.6.3 Tegofilm

Tegofilm adalah produk multiplek yang permukaannya dilapisi dengan lembaran Phenol Formaldehyde Film pada satu sisi atau dua sisi. Multiplek

tegofilm ini bisa digunakan berulang sampai 6 – 12 kali pakai. Pada umumnya tegofilm tersedia dalam ketebalan 12 mm, 15 mm, dan 18 mm dengan ukuran 120 x 240 cm seperti multiplek. Material jenis ini mempunyai tekstur yang lebih halus dibandingkan multiplek dan sering digunakan untuk pembuatan bekisting balok, plat dan kolom khususnya pada bekisting semi sistem maupun bekisting sistem.



Gambar 3.9 Tegofilm

(Sumber : <https://ehuabao.en.made-in-china.com>)

3.6.4 Baja

Martial baja digunakan dalam berbagai bentuk dan kualitas. Umumnya baja dipakai dalam alat-alat penghubung, tetapi juga sebagai matrial pembantu atau komponen pembantu pada bekisting konvensional hingga sepenuhnya selaku konstruksi penyangga dan konstruksi bekisting. Menurut Wigbout (1992), baja memiliki keunggulan sebagai berikut :

1. Kekuatan yang tinggi.
2. Susunan homogen dan isotrop.
3. Kekerasan yang tinggi dan tahan terhadap keausan.
4. Tersedia dalam berbagai bentuk.
5. Dapat diperoleh dengan menggabungkan logam campuran.
6. Tahan terhadap lingkungan dasar dari spesi beton, PH 10 -12
7. Memiliki nilai sisa yang baik.

Sedangkan kekurangan dari baja menurut Wigbout (1992) yaitu :

1. Berat masa yang tinggi, sekitar 7850 kg/m^3 .
2. Pembentukan karat.
3. Hantaran termis yang besar.
4. Pembuatan dan penyusunannya umumnya dibuat pada tempat kerja yang khusus disediakan untuk itu.

Wigbout (1992), memberikan batasan-batasan tegangan – tarik yang diperkenankan sebagai berikut

1. Tegangan tarik 160 N/mm^2
2. Tegangan tekan 160 N/mm^2
3. Tegangan lentur 160 N/mm^2
4. Tegangan geser 100 N/mm^2
5. Tegangan tumbukan 320 N/mm^2
6. Modulus Elastisitas (E) 210 kN/mm^2

3.6.5 Aluminium

Pada hal-hal tertentu aluminium memiliki kelebihan dari baja, material aluminium lebih sesuai untuk bekisting. Di antara hal yang menguntungkan tersebut yaitu beratnya yang lebih ringan dan lebih sedikit pemeliharaan dibandingkan pada baja. Akan tetapi harganya yang lebih mahal membuat penggunaannya terbatas pada obyek-obyek yang harus diberi sebuah bekisting ringan dan atau pengulangannya dapat dimanfaatkan secara optimal (Wigbout, 1992).

Aluminium yang paling sesuai untuk sebuah bekisting adalah tipe Al-Mg-Si (campuran dengan magnesium dan kadar silikon yang rendah). Tergantung dari kadar campurannya, ketahanan aluminium cukup baik, berkisar antara $250 - 400 \text{ N/mm}^2$, ketahanan terhadap korosi hampir sama seperti aluminium murni, kekerannya menurut Binell $750 - 1200 \text{ N/mm}^2$, dan modulus kekenyalannya $70 - 75 \text{ N/mm}^2$. Untuk berat massanya ditetapkan $2700 - 2800 \text{ kg/m}^3$ (Wigbout, 1992).

Penggunaan aluminium untuk bidang-bidang yang berbentuk lengkung seperti pada terowongan dan reservoir air, telah dikembangkan di Swiss sebuah system, yang karena beratnya cukup ringan digunakan pula untuk dinding-dinding penopang. Panel - panel kontak yang digunakan dalam hal ini dapat dipakai ulang hingga 300 kali (Wigbout, 1992).

3.6.6 Bahan Pemikul dan Penopang

Faktor-faktro yang dibutuhkan dan penting yang diharapkan terpenuhi dari suatu pemikul dan penompang bekisting adalah :

1. Tahan terhadap penggunaan yang berlangsung kasar.
2. Seminimal mungkin elemen-elemen
3. Dengan bobot yang ringan harus dapat dan mampu untuk memindahkan beban-beban yang relative berat.
4. Dapat dipakai berulang kali
5. Sederhana dalam pemasangan dan penyetelan
6. Mudah dikontrol

Penopang dapat dibagi dalam beberapa kelompok utama, antara lain yaitu :

1. Stempel baja

Sekalipun harganya relatif mahal, stempel baja tetap menarik untuk dijadikan pilihan sebagai penompang bila beban-beban yang terjadi cukup besar..

2. Stempel kayu (penopang dari kayu)

Stempel dari kayu gergajian sudah digunakan sejak dahulu sebagai alat penopang pada bekisting, baik dalam bentuk kayu bulat ataupun kayu yang diberi kekuatan. Tetapi belakangan ini penggunaannya semakin berkurang, disebabkan muncul berbagai macam material yang lebih memudahkan pemasangannya.

3. Steger pipa dari baja

Meskipun pendirian sebuah penopang dari steger pipa memerlukan banyak pengerjaan, namun material ini bisa sangat menarik untuk sebuah bekisting. Sebuah steger yang terdiri dari pipa baja yang ringan dengan bantuan perangkai-perangkai dapat dihubungkan satu sama lain dengan cara sederhana..

4. Stempel baja

Sekalipun harganya relatif mahal. Pada beban-beban yang lebih besar, stempel baja tetap menarik untuk dijadikan pilihan sebagai penompang. Pemikul dibentuk kombinasikan penyangga dan balok-balok atas dari baja.

5. Steger sistem dari baja

Dibandingkan dengan steger pipa dari baja, steger sistem ini mempunyai kelebihan sebagai berikut:

- a. Menara-menara yang dibangun sudah mempunyai stabilitas sendiri.
- b. Tidak memerlukan tenaga ahli.
- c. Tidak begitu banyak memerlukan pengerjaan
- d. Komponennya lebih sedikit.

Beban-beban yang diizinkan pada setiap bentuk struktur baja yaitu :

- a. Beban yang diizinkan untuk setiap kuda-kuda adalah 50-100 kN, menyesuaikan dari sistem yang digunakan dan pemendekan tekukan
- b. Beban yang diizinkan untuk menara adalah 160-200 kN. Menara-menara dirangkai membentuk penampang segitiga, segiempat, atau persegi panjang.

Untuk sambungan kuda-kuda dan menara digunakan alat-alat sambung sistem khusus sehingga dapat menghemat waktu pemasangannya.

6. Stempel konstruksi

Digunakan pada beban-beban yang sangat berat, dengan daya dukung yang dimiliki oleh jenis stempel ini bervariasi, yaitu antara 140-350 kN. Penyangga terdiri dari komponen yang ringan dan dapat dirangkai, dipasang, dan dilepas dengan mudah. Digunakan untuk memikul beban horisontal seperti beban pada lantai dan beban pada balok, dan pada bidang vertikal seperti beban pada dinding dan kolom. Berdasarkan konstruksinya, pemikul bekisting dibagi menjadi 2 (dua) yaitu :

- a. Penyangga tersusun
- b. Pemikul yang dapat digeser terdiri dari satuan-satuan yang berukuran pendek dan ringan, terbuat dari bahan baja atau kayu, biasanya berbentuk kisi atau rangka. Pemikul kayu dengan bentuk 4,35m, dengan bantuan pengikat-pengikat dari baja dan pasak-pasak kayu. Bobot dari satu pemikul adalah 7 (tujuh) sampai 9 (sembilan) kg/m.

7. Stempel sekrup

Kapasitas daya dukungnya adalah 5-20 kN, digunakan untuk beban-beban yang agak ringan. Pada bagian bawah stempel sekrup dilengkapi dengan

sebuah pelat kaki yang sudah tersedia lubang-lubang untuk paku. Sedangkan pada bagian atasnya dilengkapi oleh sebuah garpu yang dapat menyangga satu atau dua buah balok. Adapula stempel khusus yang sudah dilengkapi dengan menambahkan pelat-pelat kaki dan pelat puncak yang dapat diputar, dan dapat mampu menahan gaya tarik maupun tekan.

3.7 Pelaksanaan Pekerjaan Bekisting

Biaya tenaga kerja dan peralatan bagi konstruksi bekisting dan penggunaannya memiliki porsi terbesar dari total keseluruhan biaya. Dalam berbagai estimasi, biaya untuk membuat, mendirikan, dan perkuatan bekisting diestimasi terhadap produktivitas pekerja. Semua pengeluaran untuk tenaga kerja dan peralatan kerja bekisting digabungkan dalam 3 (tiga) urutan pekerjaan bekisting yaitu membuat (*build*), memasang/mendirikan (*erect*) dan pembongkaran (*strip*) (Clark, 1983).

1. Pembuatan (*build*)

Pembuatan bekisting yang paling awal sebelum digunakan (pekerjaan prefabrikasi) adalah aktifitas praktis dengan berbagai macam tipe cetakan. Bentuk cetakan bangunan tergantung hanya kepada inisial pre-fabrikasi dari bekisting dan pengeluaran yang lebih jauh kemudian terlingkup dalam pekerjaan pemasangan dan perkuatan (Clark, 1983).

2. Pemasangan (*erect*)

Tingkat produktivitas rata-rata pekerja untuk pemasangan bekisting cukup untuk menutupi pemasangan dari semua bentuk bekisting tetapi tidak termasuk pemasangan sistem perkuatan eksternal (Clark, 1983).

3. Pembongkaran (*strip*)

Pembongkaran dari bekisting mencakup pemindahan, pembongkaran, pembersihan, pelumasan, penyimpanan sementara dan perbaikan ari bekisting setelah pemakaian sehingga siap digunakan untuk operasi selanjutnya (Clark, 1983).

Langkah – langkah pemasangan bekisting untuk kolom dijabarkan sebagai berikut :

1. Langkah Pertama
 - a. Panel ditegakkan dengan mengatur *adjustable brace* dan *adjustable kickers*
 - b. Pabrikasi bekisting kolom
 - c. Panel diperkuat dengan *adjustable brace* dan *adjustable kickers av*
 - d. Memasang setengah panel dibantu dengan *tower crane*
 - e. Ditempatkan pada garis marking
2. Langkah Kedua
 - a. Panel ditegakkan dengan mengatur *adjustable Brace* dan *adjustable Kicker*
 - b. Memasang setengah panel ke-2 dibantu dengan *tower crane*
 - c. Perkuat panel dengan *adjustable brace* dan *adjustable kickers av*
3. Langkah Ketiga
 - a. Cek terakhir bekisting dan ketegakan bekisting
 - b. Memeriksa ketegakan dengan menggunakan unting-unting
 - c. Siap untuk dicor dan dibantu dengan alat vibrator
 - d. Dengan menyetel *adjustable brace* dan *adjustable kickers*
 - e. Memasang plat form pengecoran (*scaffolddeck*)
4. Langkah Keempat
 - a. Elevasi pengecoran
 - b. Setelah terpasang semua
 - c. Dicek kembali bekistingnya

3.8 Momen Inersia

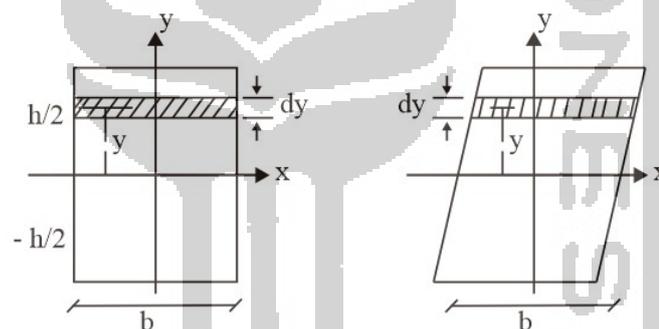
3.8.1 Pendahuluan

Hukum Newton I mengatakan bahwa semua benda senantiasa akan tetap ditempat atau bergerak beraturan kecuali ada gaya luar yang mengubahnya. Akibat adanya gaya luar yang mengubah dari kondisi biasanya akan terdapat resistensi yang kemudian disebut gaya inersia (*inertia force*). Suatu benda akan

terkandung didalamnya suatu gaya inersia, karena gaya inersia yang merupakan fungsi dari besarnya massa. Suatu massa yang bergerak kekanan misalnya pada massa yang bersangkutan akan terkandung gaya inersia yang arahnya ke kiri. Pada benda atau potongan yang mengalami rotasi/perubahan bentuk maka akan mendapatkan resistensi berupa momen inersia rotasi atau momen inersia (*rotation moment of inertia or momen of inertia*) yang arahnya berlawanan dengan arah rotasi. Dengan demikian gaya inersia yang dikenal dalam ilmu dinamika ialah gaya yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan (Widodo, 2014).

3.8.2 Momen inersia elemen-elemen dasar

Penerapan momen inersia dasar pada bangun standar akan menghasilkan formula tertentu. Momen inersia segiempat dapat diperoleh dari perhitungan berikut :



Gambar 3.10 Potongan Persegi (Widodo, 2014)

Pada gambar tampak potongan/elemen dasar segiempat atau ekuivalen jajar genjang seperti pada Gambar 3.10 dipandang suatu pias luasan setebal dy , maka luasan pias adalah

$$dA = bdy \quad (3.1)$$

Dengan memakai persamaan momen inersia dasar sebelumnya maka momen inersia terhadap sumbu-x, I_x adalah

$$I_x = \int_{-h/2}^{h/2} y^2 dA = b \int_{-h/2}^{h/2} y^2 dy = b \left| \frac{1}{3} y^3 \right|_{-h/2}^{h/2} = 2b \left| \frac{1}{3} y^3 \right|_0^{h/2}$$

$$I_x = 2b \left| \frac{1}{3} \left(\frac{1}{8} h^3 \right) \right|$$

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 \quad (3.2)$$

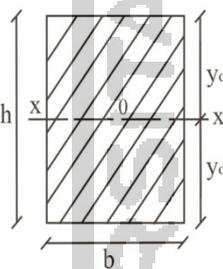
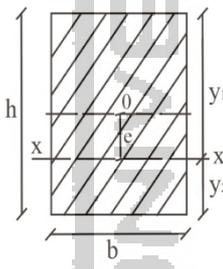
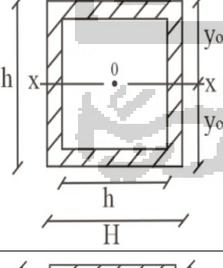
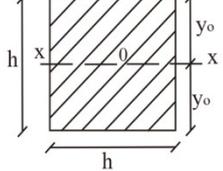
Dengan cara yang sama maka momen inersia terhadap sumbu-y, I_y adalah

$$I_y = \frac{1}{12}hb^3 \quad (3.3)$$

Momen inersia untuk bangun-bangun dasar lainnya dapat dilihat pada Tabel

3.5 berikut

Tabel 3.5 Momen Inersia dan Momen lawan pada bangunan dasar

Bentuk	Luas (F)	Jarak Sumbu (y)	Momen Inersia (I)	Momen Lawan (W)	Jari-jari Inersia (i)
	bh	$y_0 = \frac{h}{2}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{h}{\sqrt{12}} = 0,289h$
	bh	$y_1 = \frac{h}{2} + 2$ $y_2 = \frac{h}{2} - e$	$\frac{bh^3}{12} + bhe^2$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{h}{\sqrt{12}} = 0,289h$
	$H^2 - h^2$	$Y_0 = H/2$	$\frac{H^4 - h^4}{12}$	$\frac{H^4 - h^4}{6H}$	$\sqrt{\frac{H^2 - h^2}{12}} = 0,289 \sqrt{H^2 - h^2}$
	h^2	$y_0 = \frac{h^4}{12}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{h^3}{6}$	$\frac{h}{\sqrt{12}} = 0,289h$

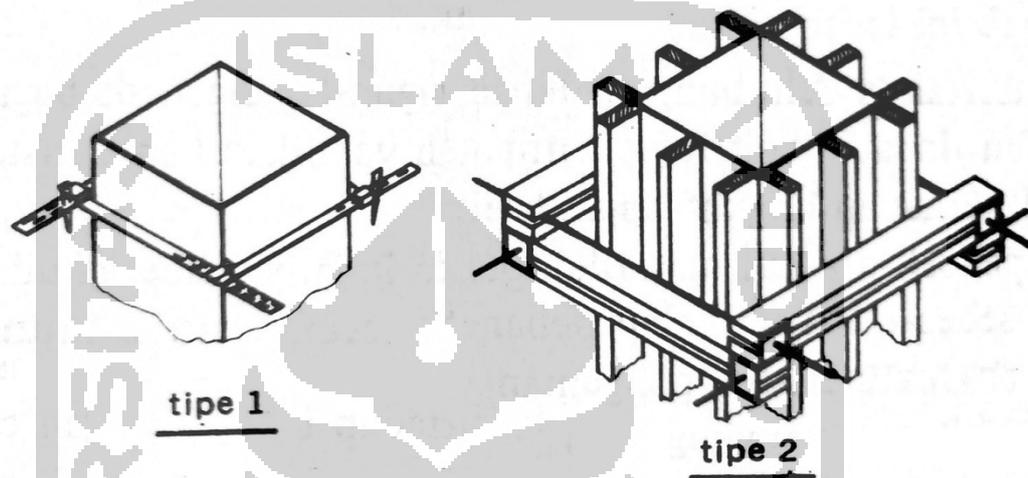
Sumber : Sunggono (1979)

3.9 Perhitungan Bekisting

3.9.1 Tinjauan umum bekisting kolom

. Wigbout (1992) membedakan bekisting kolom dalam dua tipe, yaitu ;

1. Dengan pengikat kolom dari baja
2. Dengan tiang-tiang, perangkai-perangkai dan pen-pen pusat



Gambar 3.11 Tipe bekisting kolom

Untuk bekisting kolom tipe 1 harus dihitung :

1. Jarak as sampai as pengikat-pengikat (kekuatan dan lenturan bekisting kontak).
2. Kekuatan dan lenturan pengikat.
3. Tekanan peletakan oleh kayu terhadap pengikat.

Perhitungan untuk pengikat, kita boleh mengabaikan lubang-lubang penembus (pons) karena lewat pengubah bentuk cara dingin sewaktu berlangsungnya penembusan telah diperoleh suatu material yang sedemikian rupa, sehingga kita dapat menghitung dengan penampang penuh.

Sedangkan untuk bekisting tipe 2 yang harus dihitung :

1. Jarak as sampai as tiang-tiang (kekuatan dan lenturan bekisting kontak).
2. Jarak as sampai as perangkai-perangkai (kekuatan dan lenturan tiang-tiang, kekuatan dan lenturan perangkai-perangkai).
3. Tenaga pen pusat.
4. Gaya lintang dan tekanan peletakan perangkai

3.9.2 Luas bekisting kolom

Pada umumnya bentuk kolom suatu gedung berbentuk sederhana seperti persegi, persegi panjang, ataupun lingkaran,



Gambar 3.12 Kolom Persegi Panjang

Untuk mencari luasan bekisting persegi atau persegi panjang dapat digunakan persamaan berikut (Nugroho, 2018):

$$\text{Volume bekisting persegi} = ((2 \times b) + (2 \times h)) \times H \quad (3.4)$$

Dimana :

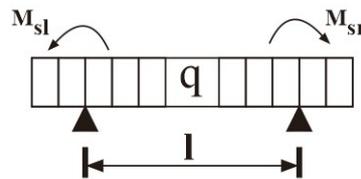
b = Panjang kolom

h = Lebar kolom

H = Tinggi kolom

3.9.3 Lenturan

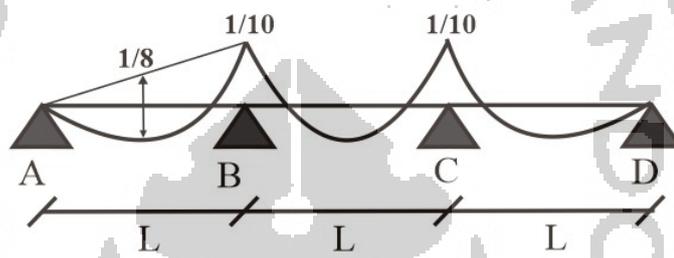
Untuk perhitungan sebuah bekisting, beban yang merata dibatasi pada bobot sendiri dari bekisting dan pada tulangan yang ada. Bobot sendiri dari spesi beton merupakan beban variabel. Beban variabel ini dapat berbeda pada tiap area dan ada kalanya menimbulkan momen dan titik tumpu yang tidak menguntukan dibanding beban yang berlanjut. Perlu dikemukakan di sini, bahwa area yang pertama dicor dan dibebani secara penuh, lenturan area berikutnya tidak selamanya menyebabkan lenturan balik area pertama secara penuh menurut gambar 3.13.



$$\delta = \frac{5 \cdot ql^4}{384 \cdot E \cdot I} - \frac{(M_{sl} + M_{sr}) \cdot l^2}{16 \cdot E \cdot I}$$

Gambar 3.13 Persamaan Lenturan (Wigbout, 1992)

Kekakuan pada titik tumpu yang berada di ujung dengan jarak tumpuan yang sama persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi



Gambar 3.14 Bending Momen Diagram (Wigbout, 1992)

$$f_{AB} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{EI} - \frac{1}{10} q l^2 \cdot \frac{l^2}{16EI}$$

$$f_{AB} = (0,01302 - 0,00625) \cdot \frac{ql^4}{EI}$$

$$f_{AB} = 0,00677 \cdot \frac{ql^4}{EI} \quad (3.5)$$

Dimana :

q = Beban (N)

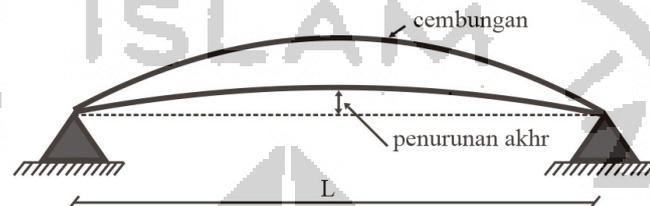
l = Panjang bentang (mm)

E = Modus elastisitas bahan (kN/mm²)

I = Momen inersia bahan (mm⁴)

Perubahan bentuk yang terjadi pada kontruksi bekisting, termasuk juga dalam kecermatan dalam pemasangan bekisting, menentukan hasil akhir produk bekisting yaitu kontruksi beton. Penyimpangan tersebut harus berada pada toleransi yang diberikan. Untuk menentukan lenturan dan penurunan setidaknya memperhatikan dua hal berikut :

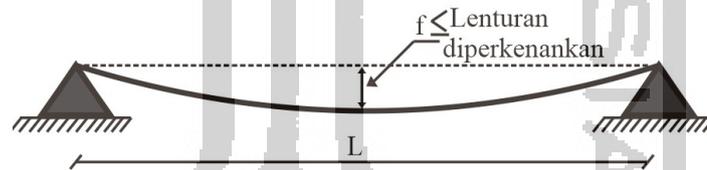
1. Penyatuan-penyatuan pada penyelesaian pekerjaan : apakah beton indah yang diinginkan, apakah ada bagian prefab yang disatukan seperti misalnya dinding-dinding dan kosen-kosen?
2. Tuntutan segi keindahan : sebuah balok yang panjang misalnya harus menunjukkan suatu penurunan yang positif agar tampak rata.



Gambar 3.15 Penurunan Akhir Saat Bekisting Dilepas

Pada umumnya dalam perhitungan untuk sebuah bekisting konvensional dalam kaitannya lenturan dalam berbagai bidang menggunakan arahan kasar berikut :

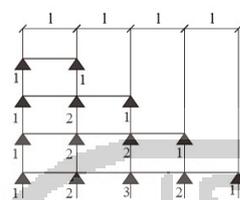
- a. Pekerjaan kotor $f \leq 0,003 l$
- b. Pekerjaan bersih $f \leq 0,002 l$



Gambar 3.16 lenturan yang diperkenankan (Wigbout, 1992)

3.9.4 Momen

Dalam rumus-rumus hitung pada gambar 3.17 perlu diberlakukan suatu perbandingan antara beban variabel dan beban berlanjut sebesar kurang lebih 15:1 antara beban variabel dan beban berlanjut. Momen-momen dan beban-beban titik tumpu yang diberikan merupakan tahapan maksimal yang terjadi dalam gelagar-gelagar terusan yang kepanjangan medannya sama. Di sini bertitik tolak dari pemikiran bahwa pencoran dimulai dari satu ujung.

	KEKUATAN				LENTURAN
	M_{maks} ql^2	R_1 ... ql	R_2 ... ql	R_3 ... ql	
	1/8	1/2	-	-	$M_1 = 0$
	1/8	2/5	6/5	-	$M_2 = 1/8 \cdot q \cdot l^2$
	1/10	2/5	6/5	-	$M_2 = 1/10 \cdot q \cdot l^2$
	1/10	2/5	6/5	1/1	$M_2 = 1/10, M_3 = 1/14 \cdot q \cdot l^2$

Gambar 3.17 Rumus Menghitung Momen (Wigbout, 1992)

Tegangan peletakan ditentukan dengan rumus :

$$\sigma_d = \frac{R}{A} \text{ untuk titik tumpuan yang terletak di tengah dan} \quad (3.6)$$

$$\sigma_d = 1,5x \frac{R}{A} \text{ untuk titik tumpuan yang terletak di ujung} \quad (3.7)$$

Dimana :

R = Beban yang diterima bahan

A = Luas penampang bahan

Faktor 1,5 diikutsertakan sehubungan dengan adanya tegangan-tegangan di bagian tepi. Tegangan peletakan dapat menjadi penentu ukuran, seandainya dilakukan penstempelan berlanjut (*shoring*) terhadap tingkatan-tingkatan sebelumnya.