

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembebanan Komponen Struktur

Dalam perencanaan bangunan tinggi, struktur gedung harus direncanakan agar kuat menahan semua beban yang bekerja padanya. Berdasarkan Arah kerja beban, maka beban dapat dikelompokkan menjadi beban gravitasi (beban vertikal) dan beban lateral (beban horizontal).

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Untuk Gedung 1983, jenis – jenis beban yang bekerja pada struktur dapat didefinisikan sebagai berikut.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat dari semua bagian bangunan yang bersifat tetap termasuk semua unsur tambahan, mesin – mesin serta peralatan tetap (*fixed equipment*) yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan itu.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian dan penggunaan suatu bangunan, dan di dalamnya termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah (*movable equipment*), mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan dan dapat diganti selama masa hidup suatu bangunan.

3. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah

akibat gempa itu. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya – gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

2.2 Perencanaan Terhadap Beban Lateral

Perencanaan terhadap beban gempa dilakukan berdasarkan SNI 03–1726–2002. Struktur tahan gempa harus dirancang dengan menggunakan prinsip desain kapasitas (*capacity design*). Prinsip desain kapasitas adalah pengendalian energi gempa yang masuk dalam struktur agar struktur dapat berperilaku memuakan dan tidak terjadi runtuh pada saat terjadi gempa kuat. Prinsip ini diwujudkan dengan pengendalian terbentuknya sendi – sendi plastis pada lokasi – lokasi tertentu pada struktur gedung, yaitu pada ujung – ujung elemen balok. Perencanaan struktur gedung yang tidak beraturan harus dilakukan dengan analisis dinamik dengan metode analisis ragam.

2.2.1 Daktilitas struktur gedung

Daktilitas adalah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan bolak – balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama. Dalam hal ini struktur memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga struktur tetap berdiri walaupun sudah berada pada kondisi di ambang keruntuhan..

Berdasarkan ketentuan SNI 03 – 1726 – 2002 faktor *daktilitas* struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum (δ_m) struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan(δ_y). Nilai faktor daktilitas struktur gedung (μ) dalam perencanaan struktur gedung dapat dipilih menurut kebutuhan tetapi tidak boleh dipilih lebih besar dari faktor *daktilitas* maksimum (μ_m). Dalam tabel 3 ditetapkan nilai μ_m yang dapat dikerahkan oleh beberapa jenis sistem struktur .

2.2.2 Tingkat *daktilitas* struktur

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03–1726–2002 memberikan penjelasan tingkat daktilitas struktur gedung sebagai berikut.

1. *Daktilitas* Penuh

Daktilitas penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung dimana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar dengan *faktor daktilitas* sebesar 5,3.

2. *Daktilitas* Parsial

Daktilitas parsial adalah seluruh tingkat *daktilitas* struktur gedung dengan nilai faktor *daktilitas* di antara struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,0 dan untuk struktu gedung yang daktail penuh sebesar 5,3.

3. Elastik Penuh

Elastik penuh adalah suatu tingkat *daktilitas* struktur gedung dengan faktor *daktilitas* sebesar 1,0.

2.2.3 Penentuan Tingkat *Daktilitas*

Dalam perencanaan struktur gedung, penentuan tingkat *daktilitas* struktur gedung ditentukan berdasarkan pembagian wilayah gempa. Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Bangunan Gedung, Indonesia dibagi dalam 6 (enam) wilayah gempa.

Solo merupakan daerah yang terletak pada wilayah gempa 3 (tiga) dengan tingkat resiko gempa menengah sehingga direncanakan dengan menggunakan *daktilitas parsial*.

2.3 Jenis Sistem Struktur Gedung

Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2002, jenis sistem struktur yang digunakan dalam perencanaan sistem struktur beton bertulang dikelompokkan sebagai berikut.

1. Sistem Dinding Penumpu

Sistem dinding penumpu adalah sistem struktur yang tidak memiliki rangka pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi.

2. Sistem Rangka Gedung

Sistem struktur rangka gedung adalah sistem struktur yang memiliki rangka

ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

4. Sistem Ganda

Sistem ganda adalah sistem struktur yang terdiri dari rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi. Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen direncanakan secara terpisah. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang – kurangnya 25 % dari seluruh beban lateral. Kedua sistem ini harus direncanakan untuk memikul seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi sistem struktur.

5. Sistem Struktur Kolom Kantilever

Sistem struktur kolom kantilever adalah sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.

6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka

7. Subsistem tunggal

Subsistem tunggal adalah subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan.

Pada perencanaan struktur Apartemen Solo Paragon, sistem struktur yang digunakan adalah sistem struktur ganda yang merupakan interaksi antara rangka

pemikul momen (SRPM) dan dinding geser (*shear wall*). Solo merupakan daerah yang terletak pada wilayah gempa 3 (tiga), dengan demikian digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Sistem Rangka pemikul momen yang digunakan dalam perencanaan beton bertulang adalah portal rangka terbuka. Elemen – Elemen struktur yang menyusun portal adalah plat lantai, balok dan kolom. Sedangkan beban lateral ditahan oleh dinding geser (*shear wall*).

2.3.1 Balok

Balok adalah elemen struktur yang mengalami lentur akibat beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu aksialnya. Balok berfungsi meneruskan gaya-gaya akibat beban-beban yang bekerja pada plat lantai.

Dalam perencanaan tampang balok diperlukan asumsi-asumsi khusus untuk menyederhanakan estimasi tampang balok. Asumsi-asumsi dalam perencanaan tampang balok adalah sebagai berikut.

1. Regangan baja dan beton bertulang berbanding lurus terhadap garis netral (Hukum Hooke).
2. Regangan beton yang dipakai adalah regangan ultimit, yaitu sebesar $\epsilon_c = 0,003$.
3. Modulus elastis baja $E_s = 2 \times 10^5$ MPa.

Keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang dapat terjadi akibat balok yang dibebani melebihi kemampuan layan balok tersebut. Dalam perencanaan balok diharapkan tulangan baja mengalami luluh sebelum terjadi kehancuran pada beton. Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, balok dapat

dikelompokkan menjadi :

1. Penampang *Under-Reinforced*

Penampang *under-reinforced* adalah penampang yang ditulangi lebih sedikit daripada penampang *balance*. Pada saat terjadi kegagalan pada balok, tulangan tarik akan luluh sebelum terjadinya kehancuran beton. Keruntuhan pada balok *under-reinforced* adalah keruntuhan yang bersifat daktail, hal ini ditandai dengan terjadinya retak-retak pada balok sebelum terjadinya keruntuhan.

2. Penampang *balance*

Pada tingkat pembebanan tertentu yang lebih besar dari kemampuan layan balok, regangan luluh baja akan terjadi bersamaan dengan regangan ultimit beton.

3. Penampang *over-reinforced*

Penampang *over-reinforced* adalah penampang yang ditulangi melebihi tulangan pada penampang *balance*. Pada tingkat pembebanan tertentu yang melebihi kemampuan layan balok, regangan ultimit beton akan terjadi sebelum baja tulangan mencapai regangan luluh. Keruntuhan pada penampang *over reinforced* tidak ditandai dengan adanya retak-retak pada balok dan bersifat getas.

2.3.2 Kolom

Kolom adalah elemen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial yekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Pada umumnya kegagalan atau keruntuhan

komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas dan bersifat mendadak. Dengan demikian, perlu dilakukan perhitungan secara teliti agar tersedia cadangan kekuatan yang cukup pada struktur kolom.

Secara garis besar ada tiga jenis kolom beton bertulang yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Kolom dengan pengikat sengkang lateral

Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang yang dengan jarak spasi tertentu diikat dengan sengkang pengikat ke arah lateral.

2. Kolom menggunakan pengikat spiral

Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang yang ditulangi dengan tulangan spiral yang dililitkan keliling membentik heliksmenerus di sepanjang kolom.

3. Struktur kolom komposit

Kolom komposit merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

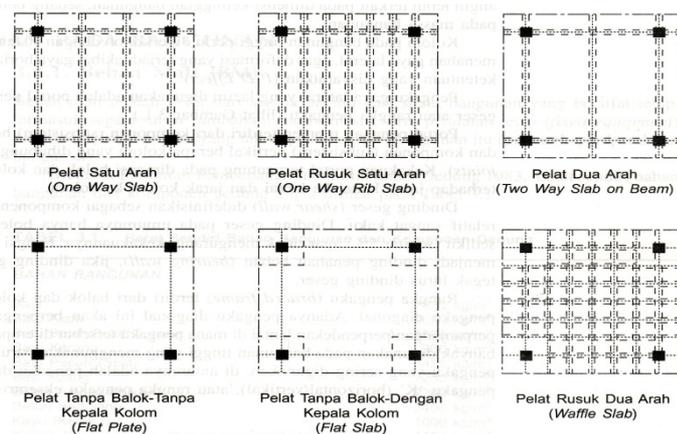
2.3.3 Plat

Sistem gedung beton bertulang dengan sistem cetak di tempat dapat terdiri dari plat lantai menerus yang dicetak di tempat dapat terdiri dari plat lantai menerus yang dicetak menjadi stau kesatuan (*monolith*) dengan balok-balok penumpunya. Plat lantai merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin

bertulangan dua atau satu arah saja, tergantung sistem strukturnya. Apabila nilai perbandingan antara panjang dan lebar tidak lebih besar dari 2,5, digunakan penulangan dua arah.

Pada umumnya beban gravitasi ditahan oleh plat dan balok. Kombinasi plat dan balok membentuk sistem struktur yang dikenal dengan struktur lantai. Struktur lantai merupakan bagian terbesar dari struktur bangunan. Dengan demikian perlu dipertimbangkan hal – hal sebagai berikut (Juwana, Jimmy .S, 2005)

- a) Pertimbangan terhadap berat sendiri lantai, makin ringan beban lantai makin berkurang dimensi kolom dan fondasinya serta makin dimungkinkan menggunakan bentang yang lebih besar.
- b) Kapasitas lantai untuk memikul beban pada saat pekerjaan konstruksi.
- c) Dapat menyediakan ruang bagi saluran utilitas yang diperlukan.
- d) Memenuhi persyaratan ketahanan api.



Gambar 2.1. Sistem Struktur Lantai
(Juwana, Jimmy.S, 2005)

- e) Memungkinkan bagi kesinambungan pekerjaan konstruksi, jika pelaksanaan pembangunannya membutuhkan waktu yang lama.

- f) Dapat mengurangi penggunaan alat bantu dalam pembuatan plat lantai (perancah – *steiger*).

Model – model sistem struktur lantai yang umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada gambar 2.1.

2.3.4 Dinding Geser

Elemen struktur penahan gaya lateral yang digunakan dalam perancangan struktur bangunan Gedung Apartemen Solo Paragon adalah dinding geser. Berdasarkan geometrinya dinding geser dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a) *Flexural Wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \geq 2$, dimana disain dikontrol oleh perilaku lentur.
- b) *Squat Wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \leq 2$, dimana disain dikontrol oleh perilaku geser.
- c) *Couple Shear Wall* (dinding geser berangkai), yaitu dinding geser yang bekerja berpasangan dan dihubungkan oleh balok perangkai. Dinding ini berfungsi untuk menahan momen guling yang terjadi akibat gaya gempa.

Berdasarkan ketentuan Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah Dan Gedung SK SNI 03-1726-2002 dinding geser yang biasanya digunakan dalam disain bangunan tinggi dengan struktur beton di Indonesia adalah :

- a) Dinding geser beton bertulang kantilever

Adalah subsistem struktur yang berfungsi menahan beban lateral akibat pengaruh beban gempa rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan disebabkan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis di

kakinya. Rasio antara tinggi dan lebar dinding geser tidak boleh lebih kecil dari 2 dan lebar dinding tidak boleh kurang dari 1,5 meter.

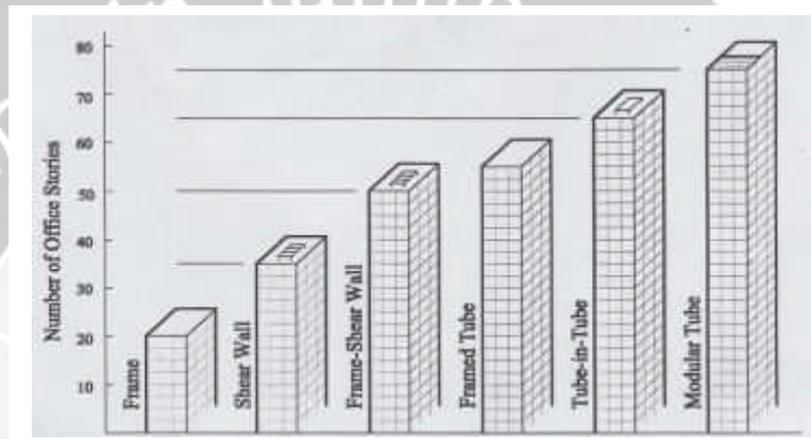
b) Dinding geser beton bertulang berangkai

Adalah subsistem struktur yang fungsi utamanya adalah menahan beban lateral yang terjadi akibat beban gempa rencana yang terdiri dari dua atau lebih dinding geser yang dihubungkan oleh balok perangkai. Keruntuhan dinding ini terjadi dengan daktilitas tertentu dengan terjadinya sendi plastis pada kaki dinding geser. Rasio antara bentang dan tinggi balok perangkai tidak boleh lebih besar dari 4.

Dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral memiliki keuntungan karena menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem lateral struktur gedung. Beberapa kerusakan yang terjadi akibat gempa pada umumnya berupa *cracking* yang terjadi pada dasar dinding. Prilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Pantazopoulou dan Imran, 1992):

- a) *Flexural Behavior*, dimana respon yang terjadi pada dinding akibat gaya luar yang dibentuk oleh mekanisme kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Keruntuhan jenis ini umumnya bersifat daktil.
- b) *Flexural shear behavior*, dimana kelelahan yang terjadi pada tulangan yang menahan lentur diikuti dengan kegagalan geser.
- c) *Shear behaviour*, dimana dinding runtuh akibat gaya geser tanpa adanya kelelahan pada tulangan yang menahan lentur.
- d) *Sliding shear behavior* biasanya terjadi jika terdapat *flexural crack* yang terbuka lebar di dasar dinding. Keruntuhan jenis ini bersifat getas.

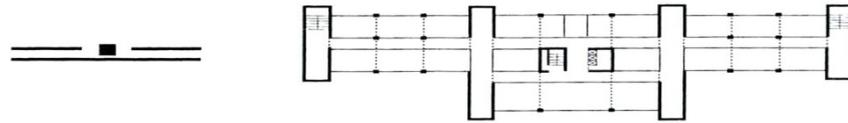
Dalam proses perencanaan bangunan tinggi harus dilakukan dengan tepat sehingga gaya gravitasi dan gaya lateral dapat ditahan dengan baik oleh struktur tersebut. Penggunaan suatu sistem struktur dipengaruhi oleh banyak hal, salah satunya adalah jumlah lantai dari struktur yang akan direncanakan. Sistem struktur untuk bangunan beton bertulang dapat dilihat pada gambar 2.1.



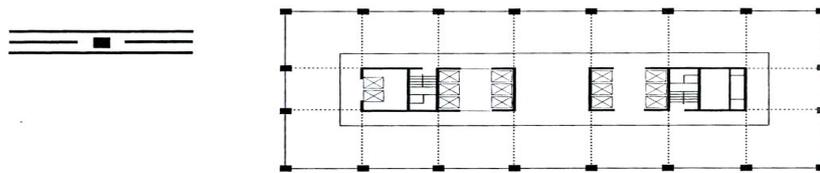
Gambar 2.2. Sistem struktur beton
Electronic Journal of Structural Engineering, 1 (2001)

Dalam perencanaan struktur gedung, dinding geser dapat difungsikan sebagai inti bangunan. Perbedaan fungsi bangunan akan berpengaruh terhadap pola peletakan dinding geser.

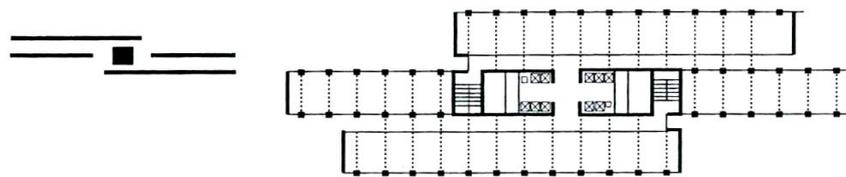
Bangunan apartemen solo paragon adalah bangunan gedung dengan bentuk memanjang. Komfigurasi inti bangunan untuk bangunan dengan bentuk memanjang dapat ditemui pada bangunan- bangunan hotel, ataupun perkantoran. Denah letak inti bangunan untuk bangunan dengan bentuk memanjang dapat dilihat pada gambar 2.2, 2.3, 2.4 dan 2.5 (Juwana, Jimmy s., 2005).



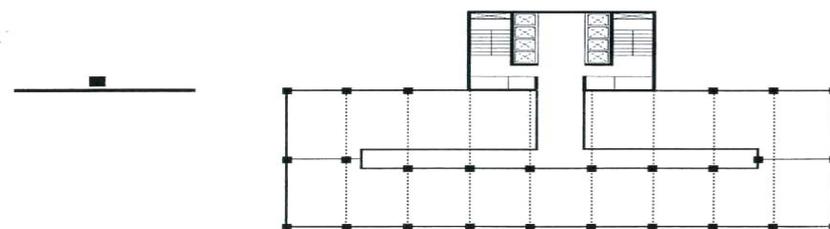
Gambar 2.3 Inti Diapit oleh Dua Sayap Bangunan-Dua Jalur Koridor



Gambar 2.4 Inti di Tengah Bangunan-Koridor mengelilingi Inti



Gambar 2.5 Inti di Tengah Bangunan – Dua Jalur Koridor



Gambar 2.5 Inti di Luar Bangunan – Satu Jalur Koridor

2.4 Perbedaan SRPMM dan SRPMK

Dalam perencanaan struktur gedung beton bertulang dapat digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) atau Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Pemilihan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) disesuaikan dengan wilayah gempa di daerah dimana struktur gedung didirikan.

Perbedaan-perbedaan persyaratan SRPMM dan SRPMK dijelaskan pada tabel 2.1, tabel 2.2, dan tabel 2.3 (Purwono, Rachmat 2006).

Tabel 2.1 Persyaratan Komponen Lentur SRPM

No	SRPMK	SRPMM
1	Pasal 23.3 (1)	Pasal 23.8 (2)
2	Pasal 23.3 (2(1))	Pasal 12.5 Pasal 12.3 (3) Pasal 9.13
3	Pasal 23.3 (2(2))	Pasal 23.10 (4(1))
4	Pasal 23.2 (2(3)) dan Pasal 23.2 (2(4))	Pasal 9.11
5	Pasal 23.3 (3(1)) dan Pasal 23.3 (3(2))	Pasal 23.10 (4(2))
7	Pasal 23.3 (3(3))	Pasal 9.13
8	Pasal 23.3 (4)	Pasal 23.8 (4(3)) dan Pasal 23.10 (3)

Tabel 2.2 Hubungan Balok Kolom

NO	SRPMK	SRPMM
1	Pasal 23.5 (1(3)) Pasal 23.5 (1(4))	Tidak ditentukan secara khusus
2	Pasal 23.5 (1(1))	Tidak ditentukan secara khusus
3	Pasal 23.5 (2(1))	Tidak ditentukan secara khusus
4	Pasal 23.5 (3)	Tidak ditentukan secara khusus

Tabel 2.3 Komponen Kena Beban Lentur dan Aksial

No	SRPMK	SRPMM
1	Pasal 23.4 (1)	Pasal 23.10 (2)
2	Pasal 23.4 (2)	Tidak ditentukan secara khusus
3	Pasal 23.4 (3(1))	Pasal 12.9
4	Pasal 23.4 (3(2))	Tidak ditentukan secara khusus
5	Pasal 23.4 (4(4)) Pasal 23.4 (4(2))	Pasal 23.10 (5)
6	Pasal 23.4 (4(1))	Pasal 12.9 (3) Pasal 9.10 (5) Pasal 13.1
7	Pasal 23.4 (4(3))	Pasal 9.10 (5(3))
8	Pasal 23.4 (4(6))	Pasal 23.10 (5(4))
9	Pasal 23.4 (5)	Pasal 13.5 (4)
10	Pasal 23.4 (4(5))	Tidak ditentukan secara khusus

Tabel 2.4 Dinding Struktural

NO	SRPMK	SRPMM
1	Pasal 23.6 (2(1))	Pasal 16.3
2	Pasal 23.6 (2(2))	Pasal 16.3 (4)
3	Pasal 23.6 (2(3))	Pasal 21.12 Pasal 21.14 Pasal 21.15
4	Pasal 23.6 (6(1))	Tidak disyaratkan secara khusus
5	Pasal 23.6 (6(2))	Tidak ditentukan secara khusus
6	Pasal 23 (6(3))	Tidak ditentukan secara khusus
7	Pasal 23.6 (6(4)) a dan b	Tidak ditentukan secara khusus
8	Pasal 23.6 (6(4)) c dan b	Tidak ditentukan secara khusus
9	Pasal 23.6 (6(4)) e dan f	Tidak ditentukan secara khusus
10	Pasal 23.6 (6(5)) a dan b	Tidak ditentukan secara khusus
11	Pasal 23.6 (7(1))	Tidak ditentukan secara khusus
12	Pasal 23.6 (7(2))	Tidak ditentukan secara khusus
13	Pasal 23.6 (7(3))	Tidak ditentukan secara khusus
14	Pasal 23.6 (7(4))	Tidak ditentukan secara khusus