

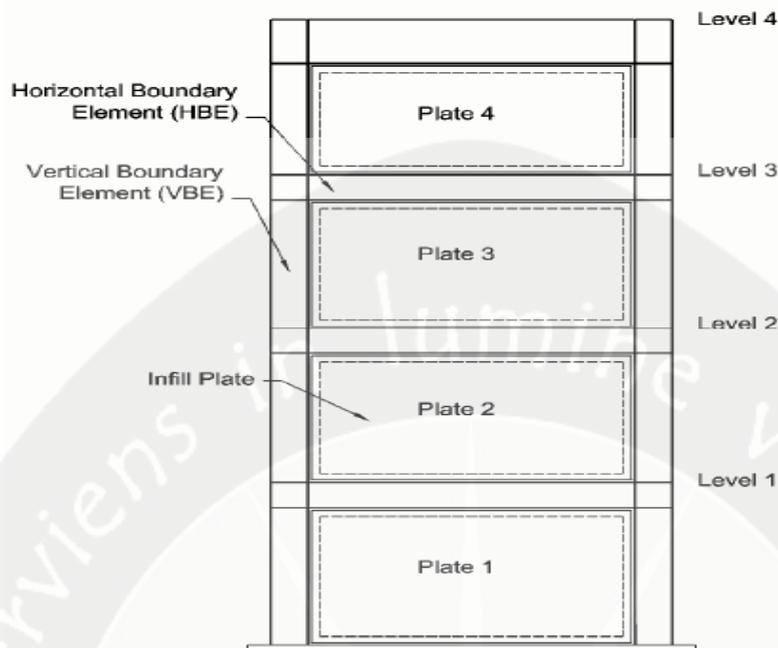
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Steel Plate Shear Walls

Steel Plate Shear Walls adalah sistem penahan beban lateral yang terdiri dari pelat baja vertikal (*infill plate*) yang tersambung pada balok dan kolom disekelilingnya. SPSW yang dikenakan beban inelastis siklik menunjukkan kekakuan, daktilitas yang tinggi, dan mendisipasi energi dalam jumlah besar. Karakter – karakter ini membuat SPSW sangat cocok digunakan untuk menahan beban seismik. Pada dasarnya, sambungan balok-kolom pada SPSW dapat menggunakan tipe sambungan sederhana, maupun sambungan penahan momen. Namun untuk memenuhi kriteria dari peraturan gempa AISC 341, dianjurkan menggunakan sambungan penahan momen.

Pada tahun 1980an, SPSW didesain dengan pengaku yang berat untuk menghindari tekuk pada *infill plate*. Diketahui kemudian melalui beberapa penelitian dan analisis oleh sejumlah pakar menggunakan metode quasistatis maupun pembebanan dinamis, bahwa kekuatas pasca tekuk dan daktilitas dari badan pelat yang langsing sangat substansial. Berdasarkan hasil penelitian ini, sejumlah peraturan termasuk *Canadian Standards Association* pada CSA S16-01 menyediakan metode desain untuk SPSW yang memperbolehkan dinding mengalami tekuk geser dan mengembangkan tegangan tarik pada badan pelat.



Gambar 2.1. Bentuk tipikal SPSW
(Sumber : Bruneau dkk, 2005)

Karena pelat yang digunakan tanpa pengaku dan langsing, maka *web-plate* dapat menanggung tegangan tarik yang sangat besar, namun tidak dapat menahan gaya tekan. Maka diasumsi bahwa panel tidak menerima beban gravitasi dan hanya mengalami deformasi akibat geser ketika menerima beban lateral. Desain SPSW pada daerah rawan gempa, diasumsi beban lateral cukup besar untuk menyebabkan terjadinya luluh tarik di sepanjang *webplate*. Maka, didapatkan beban yang seragam pada *webplate* (pada batas elastis, tidak mungkin untuk mendapatkan tegangan yang seragam sepanjang *webplate*).

Saat beban lateral diterima oleh sistem SPSW, tegangan geser akan terjadi pada *webplate* (dengan sudut 45 derajat dari sumbu vertikal) hingga melebihi kuat tekan tersedia pada pelat. Kemudian *webplate* akan mengalami tekuk dan

membentuk garis lipat diagonal. Garis lipat diagonal kemudian akan membentuk sudut tegangan tarik yang baru (semula 45derajat) yang disimbolkan dengan sudut α .

II.2. Analisis dengan metode *Modified Strip Model*

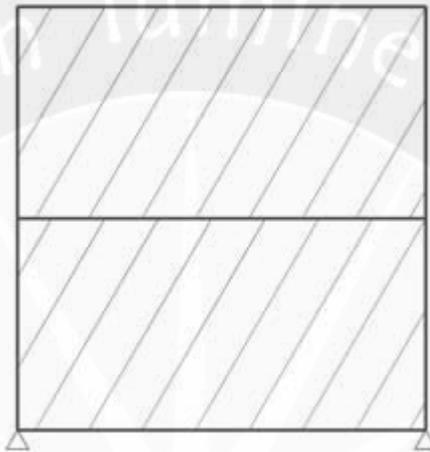
Tujuan dalam permodelan ada 2, pertama untuk mendapatkan gaya – gaya pada elemen struktur yang digunakan untuk dasar perancangan. Gaya aksial dan lentur pada balok dan kolom, serta tegangan pada *webplate* harus diketahui untuk menentukan profil tampang elemen.

Tujuan kedua adalah untuk mengestimasi *lateral displacement* yang terjadi pada rangka. Simpangan / *drift* yang berlebihan akan menghasilkan perilaku struktur yang tidak dapat diandalkan, sehingga terkadang kekakuan rangka sering menjadi nilai yang menentukan desain.

Thorburn, dkk, (1983) telah memperkenalkan metode permodelan *strip model*. Dimana ide dasarnya penggunaan sejumlah elemen yang hanya menerima tegangan tarik diagonal yang tersusun parallel sebagai pengganti pelat dinding.

Metode ini telah dicantumkan dalam CSA 2001, peraturan desain bangunan baja Canada, dan juga telah diperkenalkan dalam segmen *Commentary* pada AISC 341-2005. Peraturan CSA mengharuskan penggunaan lajur minimal sejumlah 10 lajur untuk dapat mendekati efek dari distribusi gaya pada *boundary elements*.

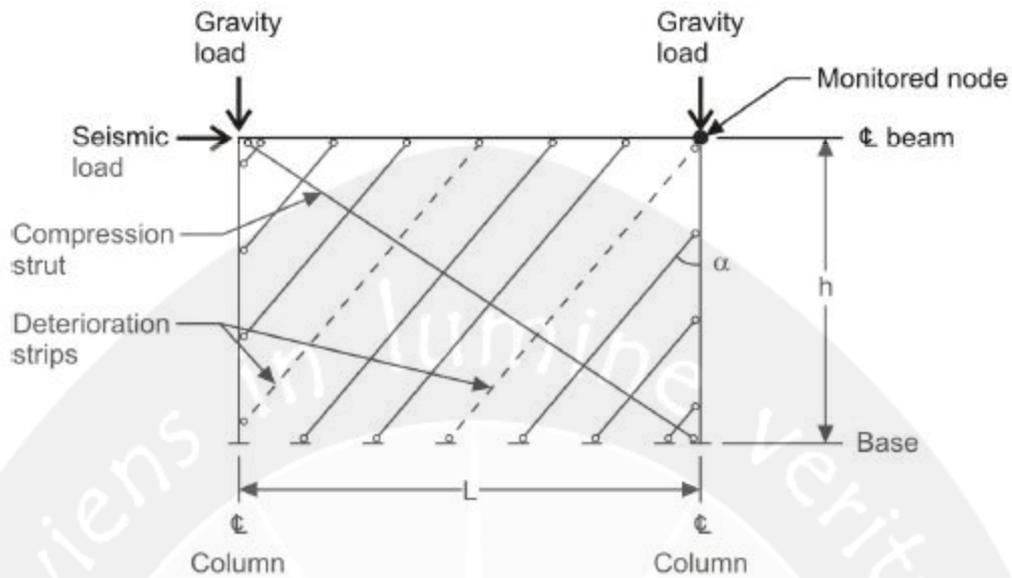
Untuk perencanaan seismik, gaya pada balok dan kolom harus ditentukan dengan asumsi pelat mengalami luluh akibat tegangan tarik yang merata di sepanjang badannya. Dengan demikian, semua elemen yang dirancang harus dapat menerima beban yang ditentukan dalam analisis.



Gambar 2.2. Bentuk tipikal *Strip Model*
(Sumber : Bruneau dkk, 2008)

Gambar di atas menunjukkan bentuk tipikal *Strip Model* dimana sudut tegangan tarik (α) adalah sudut yang terbentuk dari pertemuan lajur diagonal dengan garis vertikal. Luas tampang lajur diberikan sebesar jarak antar lajur dikali dengan tebal pelat. Sehingga akan diperoleh berat struktur yang lebih kurang sama dengan pelat dinding. Kedua ujung lajur harus dijepit kaku.

Shishkin, dkk, (2005) memperkenalkan *strip model* yang telah dimodifikasi agar dapat lebih mendekati perilaku asli sistem struktur dalam menahan beban lateral. Gambar 2.3. menunjukkan bentuk *modified strip model*.



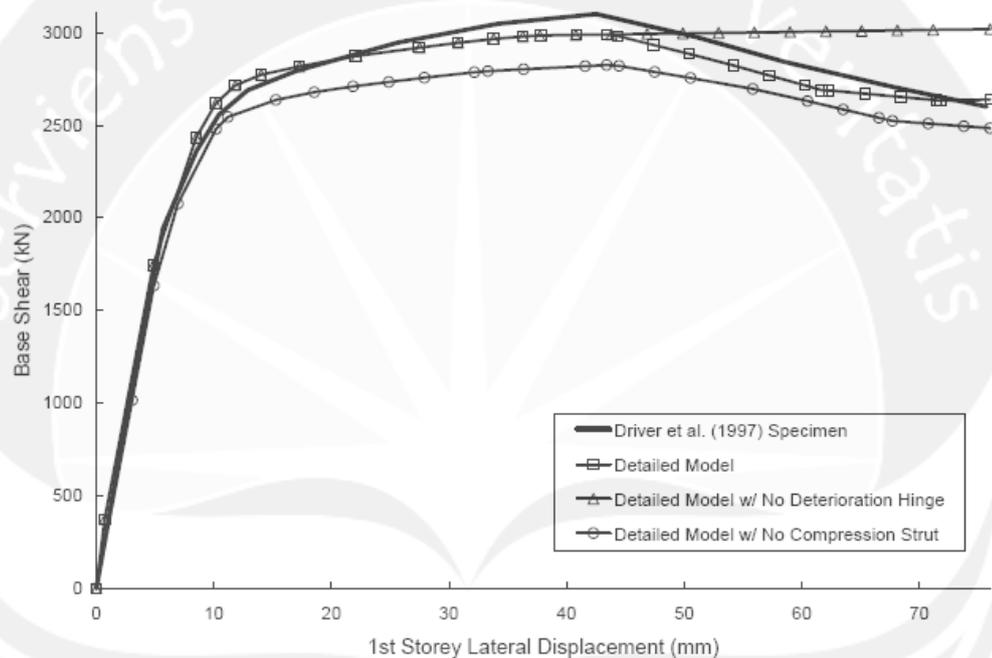
Gambar 2.3. Bentuk Tipikal *modified strip model*

(Sumber : Shishkin dkk, 2005)

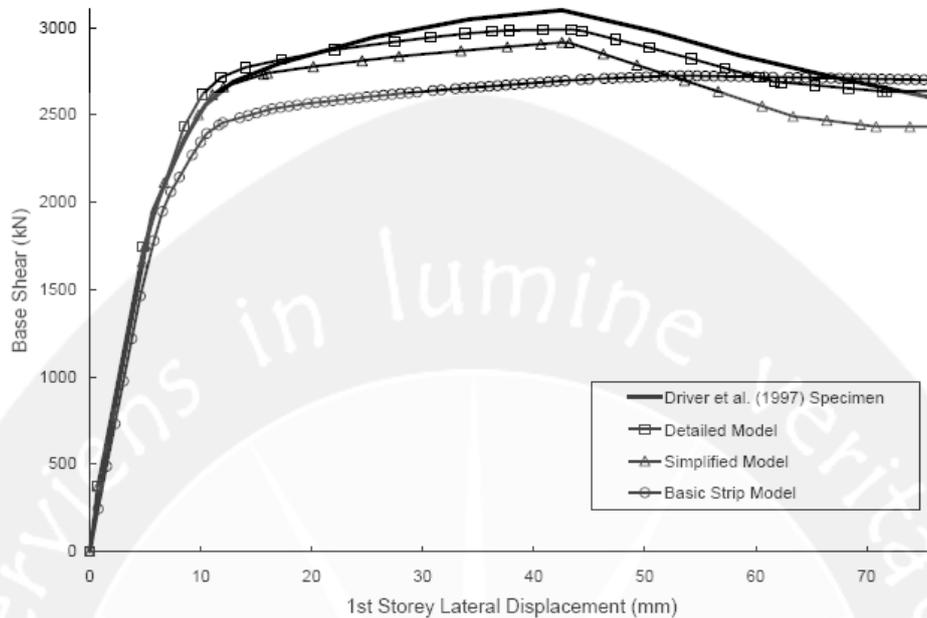
Modifikasi yang diajukan oleh shishkin dkk adalah penambahan satu lajur dengan elemen yang hanya menerima tegangan tekan yang berlawanan arah dengan *tension strip* dan menghubungkan 2 sudut rangka. Dalam penelitiannya, Shishkin dkk menunjukkan bahwa *strip model* yang tidak ditambahkan *compression strut* cenderung menghasilkan kapasitas ultimit lebih rendah dari benda uji asli (berkurang sekitar 8.3%).

Selain itu adalah diberikannya peran *deterioration* pada 2 batang *tension strip* yang mempertemukan sudut panel dengan jarak terkecil (gambar 2.3). Hasil pembelajaran menunjukkan tanpa adanya 2 *deterioration hinge*, perilaku rangka tidak cukup mendekati kenyataan. Dimana pada kenyataan setelah mencapai kekuatan ultimit, rangka akan kehilangan kekuatan perlahan, kurva akan cenderung menurun mendekati akhir. *Deterioration hinge* ini adalah metode yang digunakan untuk mendekati sifat tersebut.

Gambar 2.4. menunjukkan hasil penelitian Shishkin dkk yaitu kurva respon *base shear – displacement*, untuk memperlihatkan perbandingan permodelan *strip model* tanpa *deterioration hinge*, atau *compression strut*. Sedangkan gambar 1.6. menunjukkan hasil perbandingan *modified strip model*, dengan *strip model* orisinal terhadap pengujian rangka SPSW yang nyata.



Gambar 2.4. Kurva respons untuk perbandingan *modified strip model* dengan dan tanpa *deterioration hinge* dan *compression strut*.
(Sumber : Shishkin dkk, 2008)



Gambar 2.5. Kurva respons untuk perbandingan *strip, modified model* terhadap pengujian asli
(Sumber : Shishkin dkk, 2008)

II.3. Boundary Elements

Steel Plate Shear Walls terdiri dari *infill panels* baja yang dikelilingi oleh balok dan kolom yang mempunyai sambungan terhadap *webplate*. Kolom di kedua sisi disebut *vertical boundary elements*. Dan balok di atas maupun bawah *webplate* disebut *horizontal boundary elements*. Mengikuti prinsip desain kapasitas, *AISC Seismic Provisions for Structural Steel Building* (AISC 341-2005) mewajibkan HBE dan VBE untuk didesain agar tetap elastik saat *infill panels* mengalami tegangan luluh terkecuali untuk ujung HBE dan pada dasar VBE diperbolehkan untuk terjadi sendi plastis yang memenuhi mekanisme sifat plastis yang diharapkan pada dinding. Hal ini diharapkan terjadi saat sambungan kaku antara HBE-VBE dan antara VBE-dasar lantai digunakan.

Baik VBE dan HBE didesain untuk memikul tegangan yang terjadi pada *webplate* dengan sudut yang telah ditentukan dari geometri rangka dan ukuran – ukuran elemen yang digunakan. Kelenturan VBE dan HBE akan menahan tegangan ke arah dalam.

Untuk lebih mudah memahami mekanisme kerja VBE dan HBE pada sistem SPSW, *free body diagram* yang ditampilkan di bawah dapat memperjelas. Gambar 1.6. menunjukkan beban yang diaplikasikan ke dalam sistem SPSW dan reaksi dasar pada SPSW satu lantai. Gambar 1.7 menunjukkan gaya – gaya dalam pada elemen dalam sistem dinding akibat gaya pada gambar 1.6. Gambar 1.8. menunjukkan gaya dalam pada HBE di lantai menengah pada bangunan bertingkat tinggi.

Tegangan pada badan pelat pada HBE menyebabkan gaya tarik terhadap pelat. Untuk HBE pada lantai menengah, gaya dari pelat di atas menyeimbangkan gaya dari pelat di bawah HBE. Namun, HBE pada lantai teratas tidak memiliki gaya yang menyeimbangkan gaya yang lainnya, sehingga kelenturan yang cukup signifikan diharapkan pada balok. Karena itu, HBE pada lantai teratas biasanya mempunyai dimensi yang lebih besar dibanding HBE lainnya.

Pada dasar lantai, tegangan pada badan yang menyebabkan gaya tarik ke arah atas harus ditahan oleh fondasi. Tegangan pada badan juga menyebabkan gaya tarik ke arah dalam pada VBE, menyebabkan gaya lentur yang signifikan. VBE harus mempunyai kuat lentur dan kekakuan yang cukup untuk menahan

gaya tersebut serta mengizinkan bagian badan secara menyeluruh mengalami tegangan luluh dengan tetap bertahan pada sifat elastik elemen.

Gaya lentur ke arah dalam dari VBE ditahan oleh gaya tekan pada HBE di atas dan di bawah segmen VBE. Maka, HBE diharuskan untuk dapat menahan gaya tekan yang signifikan. Gambar 2.6 menunjukkan gaya tekan pada dasar di bagian VBE sisi kanan diseimbangkan oleh tegangan akibat VBE di sisi kiri dan dari dalam *webplate*. Hal ini menunjukkan gaya tekan akibat beban lateral pada VBE lebih besar daripada tegangan yang terjadi.

Gaya aksial pada sambungan VBE-HBE tidak simetris dari ujung yang satu dibanding ujung lainnya. Pada sambungan di sisi kanan, gaya aksial yang terjadi adalah selisih dari beban kolektor (F) dan reaksi dari VBE. Sedangkan pada sambungan di sisi kiri, gaya aksial merupakan hasil penjumlahan kedua komponen tersebut.

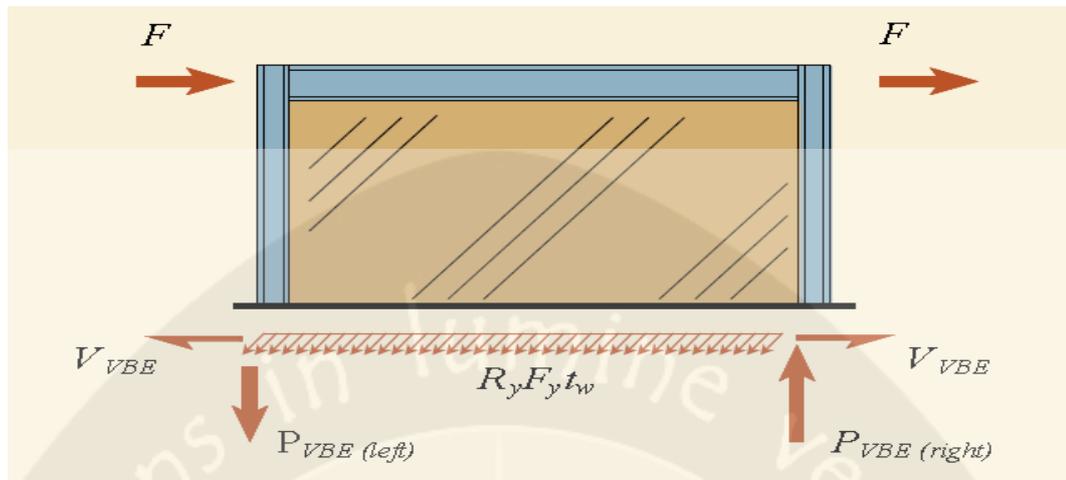
Simbol – simbol yang tercantum pada gambar.

V_{HBE} = Gaya geser dalam VBE, (N)

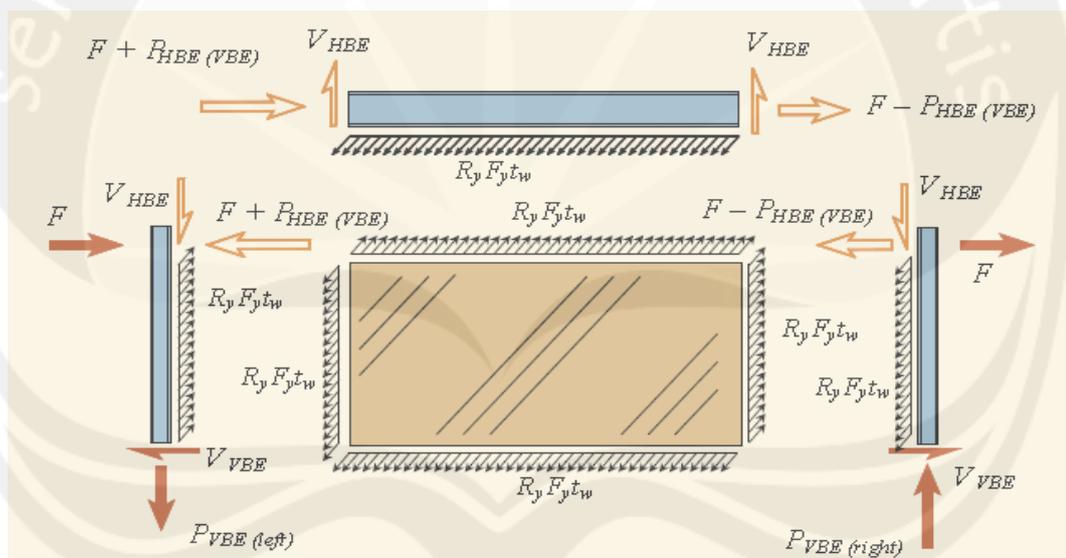
F = Beban kolektor, (N)

$P_{HBE(VBE)}$ = gaya aksial dalam HBE yang diakibatkan VBE, (N)

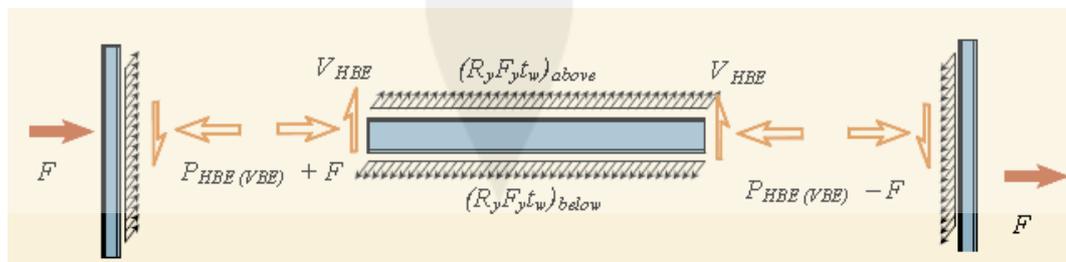
R_y = rasio dari tegangan luluh yang diharapkan dengan tegangan luluh minimum, F_y (Mpa)



Gambar 2.6. Gaya luar dan reaksi dari komponen dasar SPSW (Sumber : Ericksen dan Sabelli, 2008)



Gambar 2.7. Free Body Diagram akibat beban luar pada gambar 3 (Sumber : Ericksen dan Sabelli, 2008)



Gambar 2.8. Free Body Diagram dari boundary elements di lantai menengah (Sumber : Ericksen dan Sabelli, 2008)

F_y = tegangan luluh minimum, tergantung mutu baja yang digunakan,
(Mpa)

t_w = tebal dari *webplate*, (mm)

$P_{VBE(right,left)}$ = Gaya aksial dalam VBE pada sisi kiri atau sisi kanan dinding, (N)

V_{VBE} = gaya geser dalam VBE, (N)

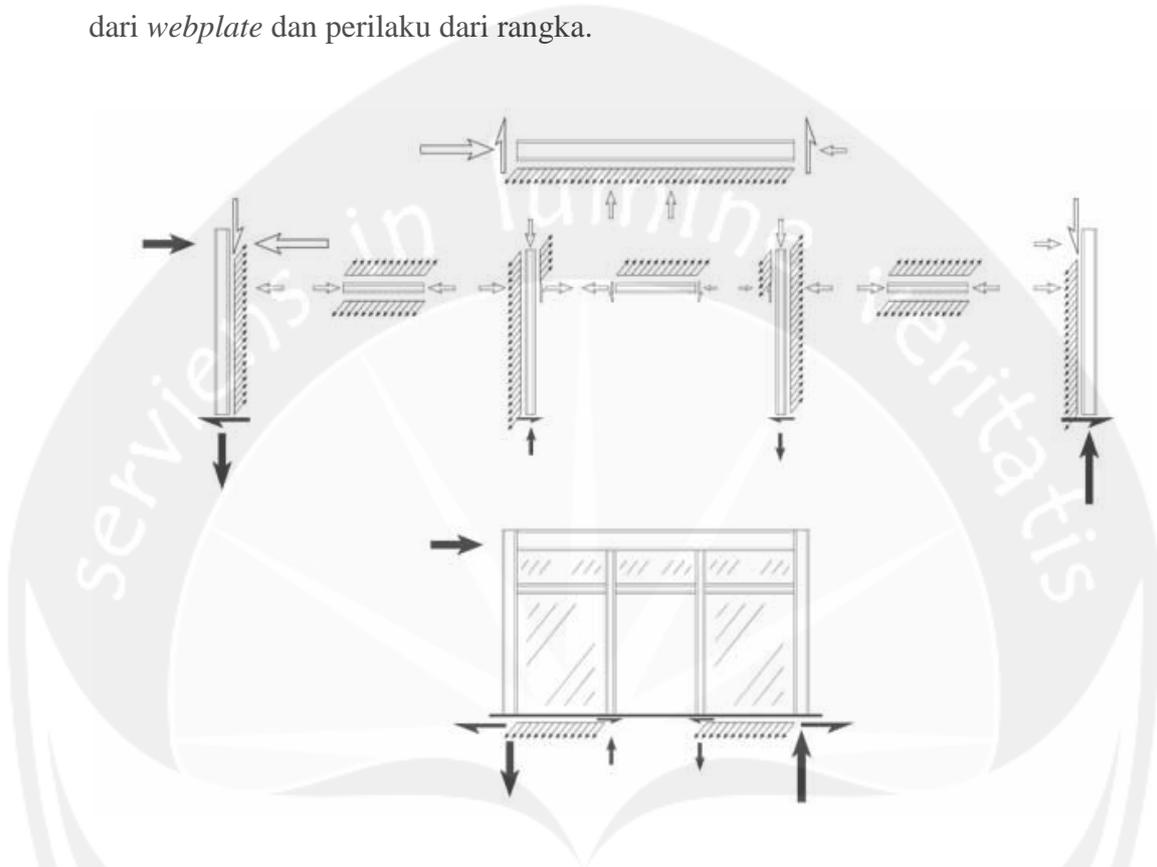
II.4. Bukaan pada SPSW

Bukaan terkadang diperlukan dalam SPSW. Dimana SPSW digunakan pada inti bangunan, bukaan diperlukan untuk memberi akses ke tangga, lift, dan bagian dari saluran.

AISC 341 mengharuskan HBE dan VBE didesain di sekitar bukaan untuk menahan tegangan *webplate* kecuali percobaan sudah dilakukan sebelumnya untuk membenarkan penggunaan bukaan tanpa dukungan. HBE dan VBE yang spesial seperti ini biasanya disebut *Local Boundary Elements* (LBE). LBE vertikal membutuhkan perpanjangan hingga setinggi lantai rencana dari HBE yang satu ke HBE yang lain. Dan LBE horizontal juga membutuhkan perpanjangan hingga selebar dinding rencana dari VBE yang satu ke VBE lainnya. LBE horizontal ini nantinya akan mengurangi kebutuhan terhadap momen inersia dan kebutuhan kuat lentur akibat tegangan dari *webplate* di VBE.

Local boundary elements pada dasarnya didesain untuk menahan gaya yang diakibatkan tegangan pada badan pelat. Gambar 2.9 di bawah menunjukkan *free body diagram* dari LBE pada suatu sistem SPSW dengan bukaan. Untuk

mempermudah, *free body diagram* dari *webplate* tidak diperlihatkan, begitu pula dengan momen ujung yang dihasilkan dari sambungan yang kaku akibat tegangan dari *webplate* dan perilaku dari rangka.



Gambar 2.9. FBD untuk gaya luar dan dalam pada SPSW dengan bukaan
(Sumber : Sabelli dan Bruneau, 2007)

Local boundary elements harus memenuhi kriteria kekakuan yang disebutkan oleh AISC *section 17.4g*. *Boundary elements* yang lentur mungkin akan mengakibatkan sudut tegangan α tidak sesuai dengan yang diperhitungkan, dan kuat geser dari *webplate* kemudian harus menyesuaikan.

II.4.1 Prosedur desain

Desain untuk SPSW dengan bukaan tidak berbeda dengan desain SPSW pada umumnya, yaitu SPSW tanpa bukaan. *Webplate* ditentukan ukurannya untuk

mendapatkan kuat geser yang diperlukan, kemudian gaya pada *boundary elements* dihitung berdasarkan kekuatan *webplate* dan sudut tegangan tarik, α . Desain mula – mula dapat dilakukan terlebih dahulu dengan mengasumsi sudut tegangan tarik, dilanjutkan dengan desain final dengan sudut yang dihitung menggunakan ukuran aktual dari *boundary elements*.

Biasanya, desain sudah dilakukan pada SPSW tanpa bukaan pada umumnya. Penggunaan bentuk bukaan dan tambahan LBE pada sistem tidak menyebabkan VBE harus didesain ulang, walaupun berkurangnya gaya lentur dapat mengizinkan penggunaan ukuran yang lebih kecil. HBE di atas maupun di bawah harus didesain ulang. Dikarenakan oleh kebutuhan *local overturning*, dan *webplate* harus didesain ulang akibat berkurangnya panjang horizontal, juga kemungkinan berubahnya sudut tegangan tarik.

Analisis *push-over* berguna untuk menentukan gaya pada LBE. Analisis *push-over* pada sistem SPSW dengan bukaan tidak berubah dari analisis pada SPSW tanpa bukaan. Untuk kebutuhan desain, metode desain kapasitas akan digunakan.

II.4.2. Sambungan antar LBE

Sambungan antara sesama LBE tidak perlu dirancang untuk memenuhi persyaratan sambungan pada HBE-VBE yang dirancang sebagai sambungan kaku. Persyaratan sambungan yang kaku pada VBE-HBE dimaksudkan untuk menyediakan kinerja histeretik yang lebih stabil pada rangka. Rangka seperti ini, dimana VBE dan HBE terletak pada level diafragma akan hadir tanpa

memperhatikan jenis sambungan yang digunakan pada LBE karena absennya diafragma.

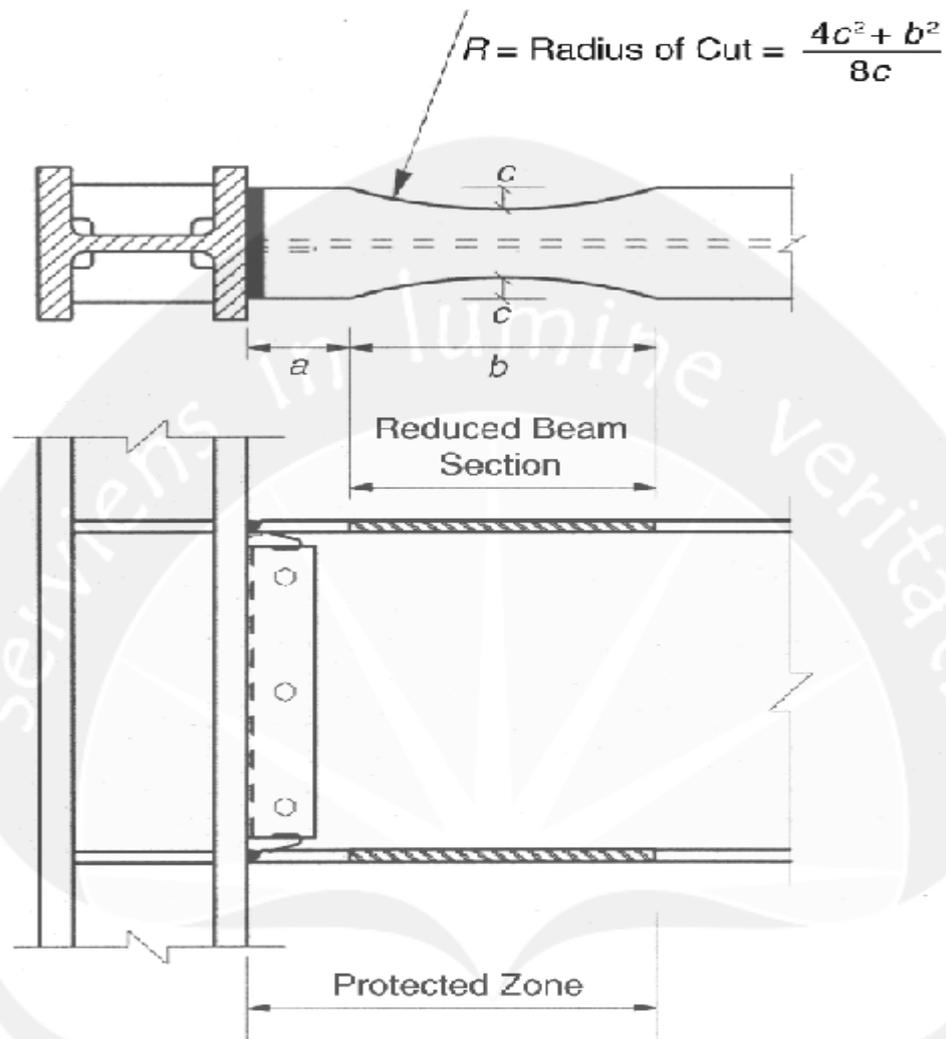
Percobaan terbatas sudah pernah dilakukan untuk bukaan tanpa LBE (Vian dan Bruneau, 2004), desainer dapat menggunakan konfigurasi yang digunakan pada percobaan tersebut. Sangat dianjurkan penggunaan bukaan tanpa dukungan LBE tidak diekstrapolasi melebihi konfigurasi yang sudah pernah diteliti dalam hal ukuran bukaan yang diizinkan, proporsi panjang horizontal yang dihilangkan atau bentuk bukaan.

II.5. Reduced Beam Section

Pada dasarnya sambungan *reduced beam section* diaplikasikan dengan mengurangi kapasitas lentur suatu elemen struktur pada lokasi yang sudah ditentukan secara strategis untuk memastikan keluluhan dan sendi plastis terjadi pada badan balok (biasanya dekat dengan muka kolom).

Sambungan ini memiliki keunikan dimana terdapat potongan radius berbentuk *circular* di sayap bagian atas dan bawah profil balok, dengan begitu akan mengurangi luas profil pada segmen kecil di kedua ujungnya. Untuk menghubungkan kolom dan sayap balok, hanya digunakan las baja. Setiap sayap balok dilas pada badan kolom menggunakan *Complete Joint Penetration Groove Welds*.

Untuk detail bentuk tipikal sambungan RBS diberikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Detail Sambungan *Reduced Beam Section*
(Sumber : AISC 358-10)