

Studi Eksperimental terhadap Parameter Daktilitas Struktur Baja

Yurisman¹⁾
Muslinang Moestopo²⁾

Abstrak

Makalah ini menyajikan studi eksperimental terhadap daktilitas struktur baja berupa portal sederhana dengan tujuan meneliti parameter-parameter yang berpengaruh terhadap daktilitas struktur baja, dan melakukan validasi terhadap usulan formula daktilitas struktur yang sedang dikembangkan melalui studi numerik. Sebelum dilakukan pengujian di Laboratorium terlebih dahulu dilakukan penelusuran teori-teori serta data-data dari hasil-hasil penelitian sebelumnya. Selanjutnya dilakukan simulasi komputer dengan menggunakan paket program analisis nonlinier MSC/NASTRAN untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap daktilitas struktur portal baja sederhana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa properti penampang ($b_f/2t_f$, h/b_f), perbandingan tinggi kolom struktur dengan tinggi profil (H/h), serta tinggi kolom dengan lebar bentang struktur (H/L) merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap nilai daktilitas. Validasi terhadap formula daktilitas yang diusulkan melalui studi numerik menunjukkan bahwa hasil numerik lebih bersifat konservatif, namun hasil analisis numerik dan eksperimen menunjukkan pola kurva daktilitas yang sama.

Kata-kata kunci: daktilitas struktur, parameter daktilitas, formula daktilitas, validasi formula daktilitas.

Abstract

This paper presents experimental study of ductility parametric of steel structure. The purpose of this research to investigate the parametric influencing ductility of steel structure and to validate ductility formula obtained from numerical study. For this purpose, experimental data and modeling of specimen obtained from previous study and through simulation by nonlinear program MSC/NASTRAN. The result of investigation shows that: behavior of cross section ($b_f/2t_f$, h/b_f), ratio height and width of structure (H/L) have great influence on the available ductility of steel structure. Validation of ductility formula show that the ductility the ductility value by experimental study is higher than numerical study, but the curve of ductility ratio shows the same behavior between experimental and numerical result.

1. Latar Belakang Studi

Tiga persyaratan pokok yang harus dipenuhi dalam perencanaan struktur di daerah gempa adalah : kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffnes*) dan daktilitas (*ductility*). Tetapi dalam peraturan-peraturan (*code*) yang ada sekarang ini pada umumnya hanya menitik beratkan terhadap persyaratan kekuatan dan kekakuan saja, sementara persyaratan terhadap daktilitas hanya merupakan persyaratan tambahan saja (bukan merupakan persyaratan pokok).

Sebagai konsekuensi dari peraturan yang ada ini maka dalam beberapa kejadian gempa yang terakhir ini (Michoacan 1985, Loma Prieta 1989, Northridge 1994,

Kobe 1995, dll) banyak sekali struktur-struktur baja yang mengalami kerusakan serius. Sedangkan pada dasarnya material baja bersifat sangat daktilail dibandingkan dengan material lainnya. Dari kejadian ini menunjukkan bahwa peraturan yang ada tidak mampu memberikan persyaratan daktilitas yang baik terhadap struktur baja. Oleh karena itu perlu dikembangkan metode pengontrolan yang bersifat komprehensif dan jelas.

Beberapa penelitian tentang daktilitas telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu baik secara numerik maupun secara eksperimental seperti yang dilakukan oleh : Han Ge dan Usami meneliti daktilitas balok kolom segiempat komposit secara eksperimental.

1) Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang.

2) Staf Pengajar Depaetemen Teknik Sipil FTSP-ITB.

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 17 Oktober 2003 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 22 Oktober 2003 – 28 Oktober 2003. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 28 Oktober 2003 hingga 31 Oktober 2003.

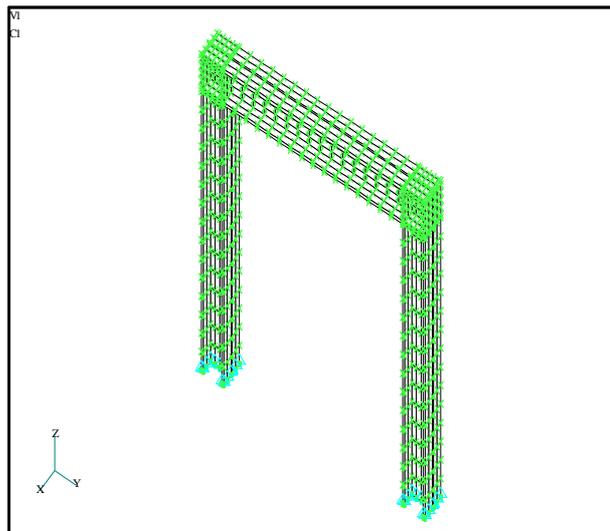
Gao, Usami dan Hanbin Ge mengevaluasi daktilitas balok kolom baja berpenampang silinder. Selanjutnya Nakhasima meneliti variasi daktilitas balok kolom berpenampang H (tanpa meninjau *instability*) dengan cara melakukan analisis dan menyusun kembali hasil-hasil penelitian eksperimental yang telah ada, tetapi dalam penelitian ini belum dihasilkan formulasi untuk daktilitas. Kemudian Atin sudarsono dan Revi Renansiva meneliti parameter daktilitas elemen struktur profil-I secara numerik dan eksperimental dan mengusulkan suatu formula pendekatan untuk menghitung daktilitas elemen struktur.

Untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi daktilitas struktur baja maka perlu dilakukan penelitian selanjutnya terhadap portal baja, yang dimulai dengan portal terbuka sederhana *Moment Resisting Frame (MRF)*.

Makalah ini menyajikan hasil penelitian secara eksperimental terhadap parameter daktilitas struktur baja dengan tujuan : untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai daktilitas struktur baja profil-I serta melakukan validasi terhadap formula daktilitas struktur yang sedang dikembangkan melalui studi numerik oleh peneliti lainnya.

2. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai daktilitas struktur baja profil-I. Studi ini dilakukan secara numerik dengan metode finite element dengan bantuan paket program komputer MSC/ NASTRAN yang mampu melakukan analisis non linier geometrik dan material. Model finite element struktur yang dianalisa ditunjukkan dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Model finite element benda uji portal sederhana

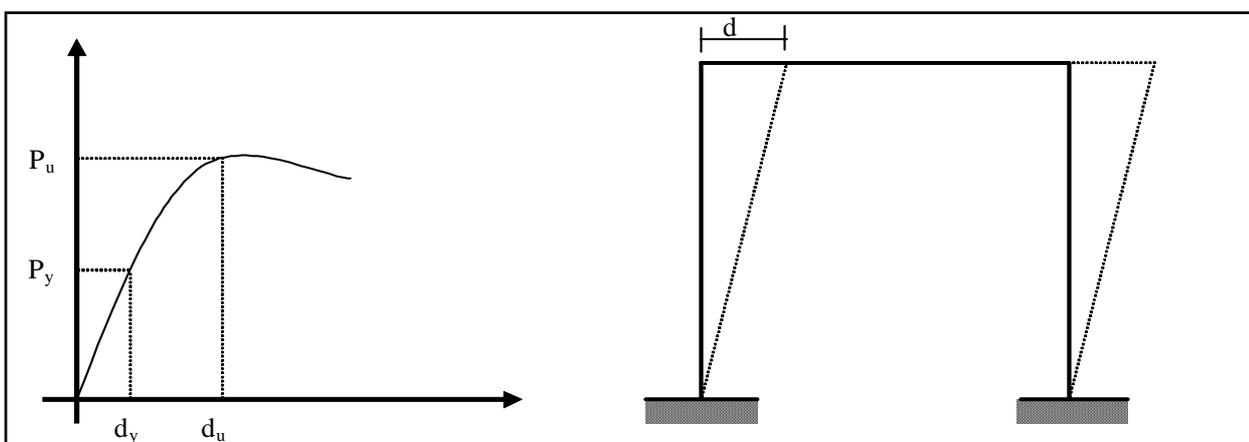
Nilai daktilitas struktur didefinisikan sebagai perbandingan antara pergeseran maksimum bagian atas struktur dengan pergeseran pada saat leleh pertama, dari hubungan beban dan perpindahan ($P-\delta$) seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2**.

Daktilitas struktur didefinisikan sebagai :

$$\mu = \frac{d_u}{d_y}$$

Berdasarkan hasil studi pendahuluan ini didapatkan bahwa parameter-parameter utama yang berpengaruh terhadap nilai daktilitas struktur baja profil-I adalah :

1. Parameter struktur secara global
2. Parameter penampang / profil



Gambar 2. Definisi daktilitas struktur

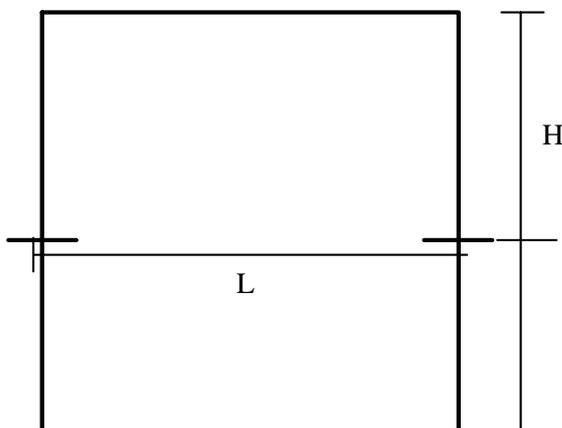
2.1 Pengaruh parameter struktur secara global

Parameter struktur secara global yang berpengaruh terhadap nilai daktilitas adalah perbandingan tinggi struktur dengan lebar bentang seperti **Gambar 3**. Parameter ini dinyatakan dengan nilai (H/L).

Berdasarkan hasil analisa dengan MSC/NASTRAN hubungan antara beban dan perpindahan ditunjukkan dalam **Gambar 4** dan **Tabel 1**.

2.2 Pengaruh parameter profil

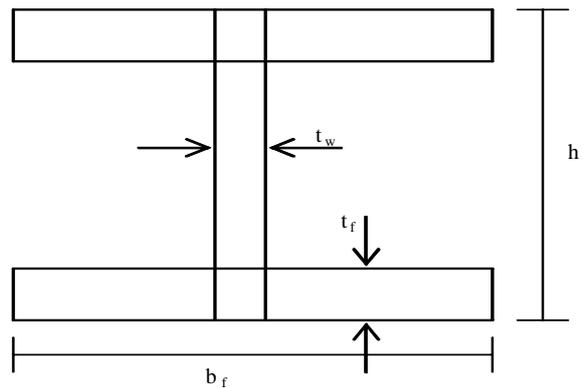
Parameter profil (penampang) yang berpengaruh terhadap nilai daktilitas struktur adalah : $(b_f/2t_f)$, (h/b_f) , (h/t_w) seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 5**.



Gambar 3. Parameter global struktur

Tabel 1. Pengaruh (H/L) terhadap nilai daktilitas

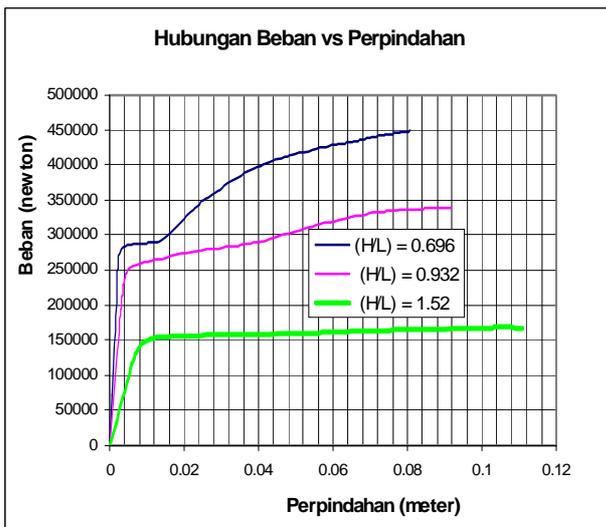
Profil	(H/L)	P _y (newton)	P _u (newton)	d _y (mm)	d _u (mm)	Daktilitas (μ)
150.150.7.10	0.696	216216	448560	1.83	80.47	43.97
	0.932	191520	337890	3.05	91.63	30.04
	1.520	104832	167488	5.37	111.12	20.69



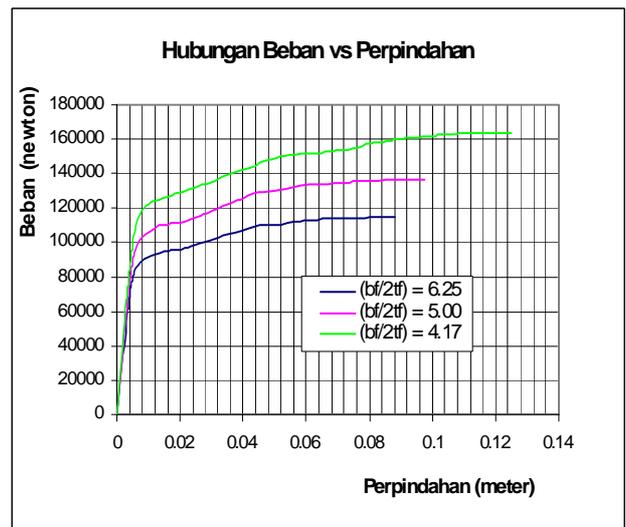
Gambar 5. Parameter profil yang menentukan

2.2.1 Pengaruh $(b_f/2t_f)$

Pengaruh lebar sayap (b_f) dan tebal sayap (t_f) terhadap nilai daktilitas struktur hasil analisis numerik ditunjukkan dalam **Gambar 6** dan **Tabel 2**.



Gambar 4. Hubungan beban dengan perpindahan untuk tiga harga (H/L)



Gambar 6. Hubungan beban dengan perpindahan untuk tiga harga $(b_f/2t_f)$

Tabel 2. Pengaruh ($B_f/2t_f$) terhadap nilai daktilitas

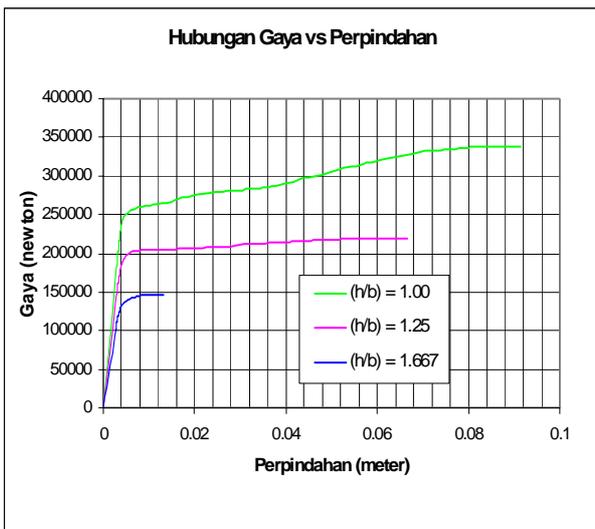
Profil	$b_f/2t_f$	P_y (newton)	P_u (newton)	d_y (mm)	d_u (mm)	Daktilitas (m)
100.100.6.8	6.25	60300	114690	3.47	88.06	25.4
100.100.6.10	5.00	63840	136706	3.29	97.79	29.43
100.100.6.12	4.17	66432	164118	3.10	124.58	40.24

2.2.2 Pengaruh (h/b_f)

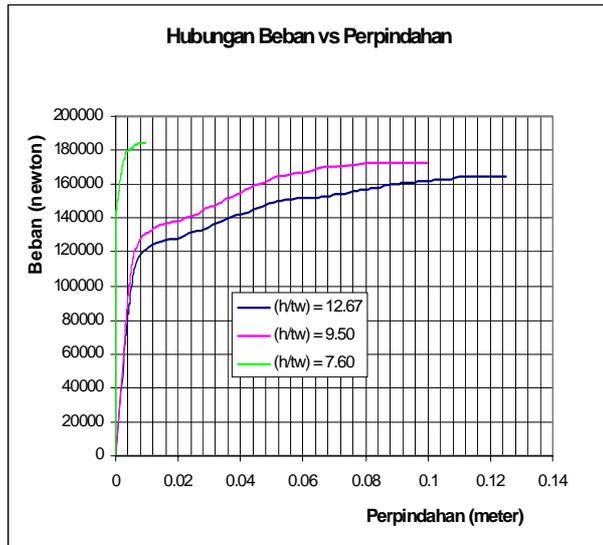
Pengaruh parameter (h/b_f) terhadap nilai daktilitas struktur ditunjukkan dalam Gambar 7 dan Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh (H/B_f) terhadap nilai daktilitas

Profil	(h/b_f)	P_y (newton)	P_u (newton)	d_y (mm)	d_u (mm)	Daktilitas (μ)
150.150.7.10	1.0	191520	337890	3.05	91.63	30.05
150.120.7.8	1.25	154054	220133	3.05	66.60	21.86
150.90.7.6	1.67	103632	146997	2.73	13.14	4.82



Gambar 7. Hubungan beban dengan perpindahan untuk tiga harga (h/b_f)



Gambar 8. Hubungan beban dengan perpindahan untuk tiga harga (h/t_w)

Tabel 4. Pengaruh (H_w/T_w) terhadap nilai daktilitas

Profil	(h_w/t_w)	P_y (newton)	P_u (newton)	d_y (mm)	d_u (mm)	Daktilitas (μ)
100.100.6.12	12.67	66432	164118	3.10	124.58	40.24
100.100.8.12	9.50	82200	173438	3.51	99.90	28.46
100.100.10.12	7.60	95976	183722	3.85	97.90	25.43

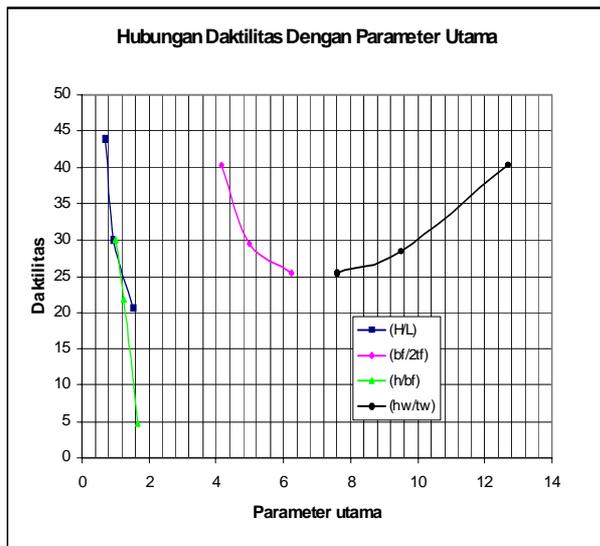
2.2.3 Pengaruh (h/t_w)

Pengaruh parameter (h/t_w) terhadap nilai daktilitas ditunjukkan dalam Tabel 4 dan Gambar 8

Dari Tabel 4, dapat ditunjukkan bahwa penambahan tebal badan akan meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan beban karena bertambahnya kekakuan struktur tersebut. Tetapi nilai daktilitasnya berkurang, hal ini disebabkan karena sebagian besar beban (momen) ditahan oleh sayap. Sayap tidak mampu menahan beban yang demikian besar sehingga terjadi tekuk atau retak secara tiba-tiba.

2.3 Hubungan daktilitas dengan beberapa parameter

Berdasarkan hasil studi pendahuluan, maka dapat disimpulkan beberapa parameter dominan yang berpengaruh terhadap nilai daktilitas struktur baja yang ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh beberapa parameter terhadap daktilitas struktur dari hasil studi pendahuluan

3. Analisis Eksperimental

Setelah tahap studi pendahuluan yang dilakukan secara numerik dengan paket program MSC/NASTRAN, dilakukan studi eksperimental untuk melihat bagaimana perilaku model struktur yang sesungguhnya dalam menerima beban.

3.1 Pemodelan benda uji

Model benda uji dibuat berupa portal terbuka sederhana statis taktentu dengan tumpuan jepit-jepit disesuaikan dengan model yang digunakan dalam studi numerik, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 10.

Benda uji dibuat sebanyak lima buah terdiri dari : (1) Portal terbuka sederhana tinggi (H) = 667 mm lebar (L) = 1000 mm profil WF 100.100.6.8 yang disebut sebagai *benda uji-I*. (2) Portal terbuka sederhana L = 1000 mm, H = 867 mm WF 100.100.6.8 disebut sebagai *benda uji- II*. (3) Portal terbuka sederhana L = 1000 mm, H = 867 mm, WF 150.75.5.7 disebut *benda uji-III* (4) Portal terbuka sederhana L = 1000 mm, H = 867 mm, WF 125.125.6,5.9 disebut *benda uji-IV*. (5) Portal terbuka sederhana L = 1000 mmm, H = 1367 mm, WF 100.100.6.8 disebut sebagai *benda uji-V*.

Setiap benda uji dibuat dengan model yang sama, sambungan antara balok dan kolom diperkuat dengan pelat pengaku dengan ketebalan disesuaikan dengan sayap benda uji tersebut. Sambungan dibuat dengan las yang direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak akan terjadi kegagalan pada sambungan selama dilakukan pengujian.

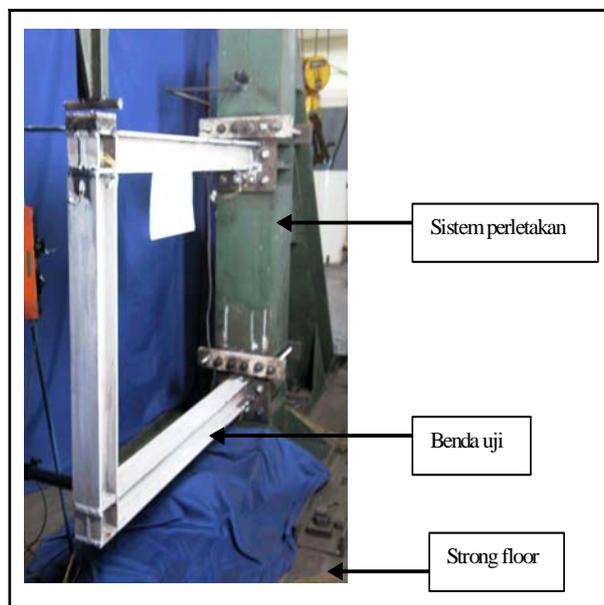
3.2 Set up eksperimental

3.2.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah (1) Loading frame. (2) Displacement Tranducer (LVDT). (3) Strain Gage. (4) Data Logger TDS-302. (5) Universal Testing Machine (UTM).

3.2.2 Pemasangan straingage

Strain gage dipasang pada daerah tumpuan dan pada tempat-tempat yang mengalami gaya dalam yang cukup besar serta pada tempat dimana kemungkinan akan terjadi tekuk lokal. Untuk mengetahui posisi pemasangan straingage terlebih dahulu dilakukan analisis dengan menggunakan paket program komputer MSC/NASTRAN untuk mengetahui bagian bagian yang tegangannya paling besar.



Gambar 10. Pemodelan benda uji dan sistem perletakan

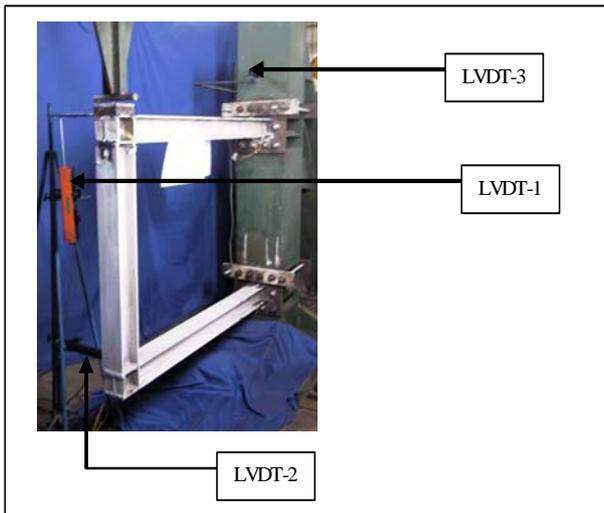
3.2.3 Pemasangan LVDT

Pembebanan pada struktur ditempatkan pada bagian sambungan balok-kolom. Lokasi tepat pada sambungan dimana tempat beban bekerja dipasang LVDT, guna mengukur besarnya perpindahan vertikal yang terjadi pada titik hubung (*joint*) tersebut. Selain itu LVDT juga dipasang pada tumpuan yang mengalami gaya tarik paling besar guna mengetahui pergeseran pada tumpuan tersebut yang seharusnya tidak terjadi. Dengan mengetahui besarnya perpindahan setiap tahap yang dikorelasikan dengan besarnya pertambahan beban akan diperoleh grafik beban vs perpindahan.

Gambar 11 menunjukkan posisi pemasangan LVDT pada benda uji.

3.2.4 Pelaksanaan pengujian

Setelah segala sesuatu yang berhubungan dengan pengujian selesai diset up sesuai dengan fungsi dan keperluannya maka dilakukan pengujian terhadap benda uji. Pengujian dilakukan dengan sistem penambahan defleksi (*stroke control*) secara bertahap.



Gambar 11. Posisi penempatan LVDT pada benda uji

4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

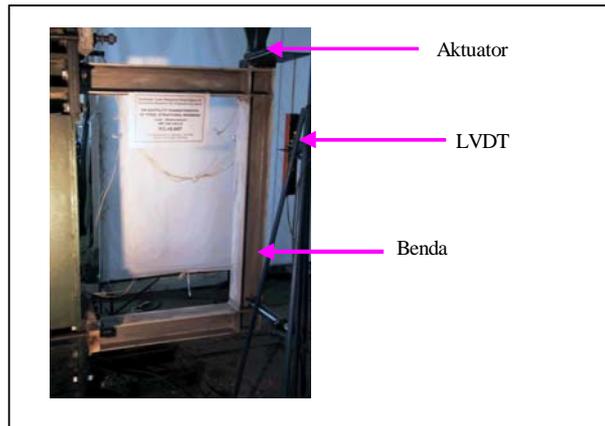
Dari hasil studi pendahuluan telah didapatkan bahwa parameter-parameter utama yang berpengaruh terhadap nilai daktilitas struktur adalah : (H/L) , $(b_f/2t_f)$, (h/t_w) , dan (h/b_f) . Hasil analisis numerik ini diteliti lagi secara eksperimental. Hasil analisis dan pembahasan secara eksperimental dijabarkan dalam uraian berikut ini.

4.1 Respons struktur (benda uji) terhadap pembebanan

Sifat pembebanan yang diberikan terhadap benda uji adalah static monotonik dengan displacement control kecepatan pembebanan 0.05 mm/detik. Dari hasil pengamatan pada setiap benda uji maka dapat disimpulkan bahwa respon atau perilaku struktur terhadap pembebanan sampai tercapainya kondisi puncak adalah : (1) Pada tahap awal pembebanan (sampai batas leleh), lendutan yang terjadi pada struktur sesuai vektor beban. (2) Terjadinya tekuk lokal (*local buckling*) pada sayap bawah di bagian tumpuan. (3) Perlahan lahan terjadi pergeseran keluar bidang gambar. (4) Terjadi retak pada sayap di bagian tumpuan sehingga mulai terjadinya penurunan beban. **Gambar 12** dan

Gambar 13 menunjukkan deformasi struktur sebelum mulai leleh dan terjadinya tekuk lokal pada bagian sayap.

Bentuk deformasi geser yang terjadi pada sambungan balok dan kolom ditunjukkan pada **Gambar 14**. Pada daerah ini telah dilakukan perkuatan dengan memasang pelat pengaku yang tebalnya sama dengan tebal sayap benda uji, dengan tujuan agar tidak terjadi kegagalan pada sistem sambungan selama dilakukan pembebanan.



Gambar 12. Deformasi struktur sebelum mulai leleh

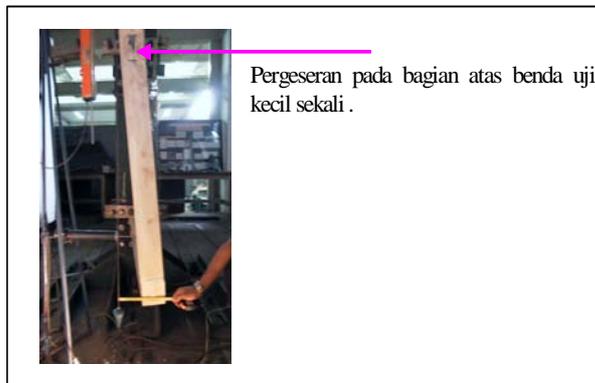


Gambar 13. Tekuk lokal pada sayap bawah



Gambar 14. Deformasi geser pada sambungan balok dan kolom

Pergeseran struktur (benda uji) keluar bidang gambar (*tensional buckling*) ditunjukkan dalam **Gambar 15**, yang berakibat regangan pada daerah sayap tambah besar dan akhirnya terjadi retak pada sayap.



Gambar 15. Pergeseran struktur keluar bidang gambar

Fenomena terakhir yang terjadi pada benda uji yang berakibat turunnya beban adalah retak pada bagian sayap atas di bagian tumpuan benda uji, seperti ditunjukkan pada **Gambar 15**.



Gambar 16. Retak pada sayap di daerah tumpuan

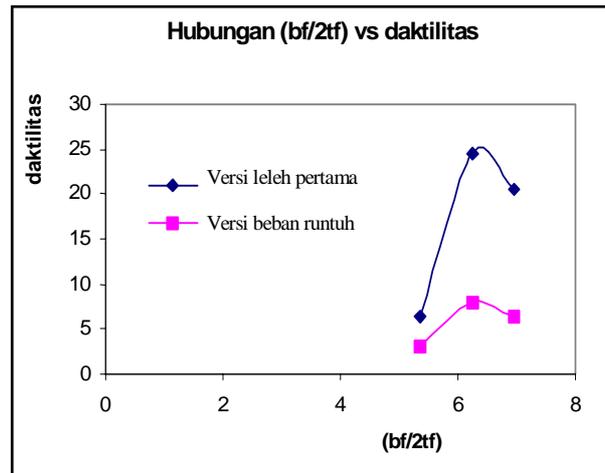
4.2 Analisis parameter daktilitas struktur

4.2.1 Parameter ($b_f/2t_f$)

Tabel 5 dan **Gambar 5** menunjukkan pengaruh parameter ($b_f/2t_f$) terhadap daktilitas struktur.

Tabel 5. Pengaruh ($b_f/2t_f$) terhadap nilai daktilitas

Profil	$(b_f/2t_f)$	P_y (kN)	P_u (kN)	d_{y1} (mm)	d_{y2} (mm)	d_u (mm)	Daktilitas (μ_1)	Daktilitas (μ_2)
150.75.5.7	5.36	73.29	150.73	5.34	10.98	33.66	6.29	3.06
100.100.6.8	6.25	38.49	119.73	4.16	12.94	101.88	24.49	7.87
125.125.6.5.9	6.94	79.25	252.30	4.44	14.13	91.54	20.62	6.48



Gambar 17. Kurva pengaruh ($b_f/2t_f$) vs daktilitas

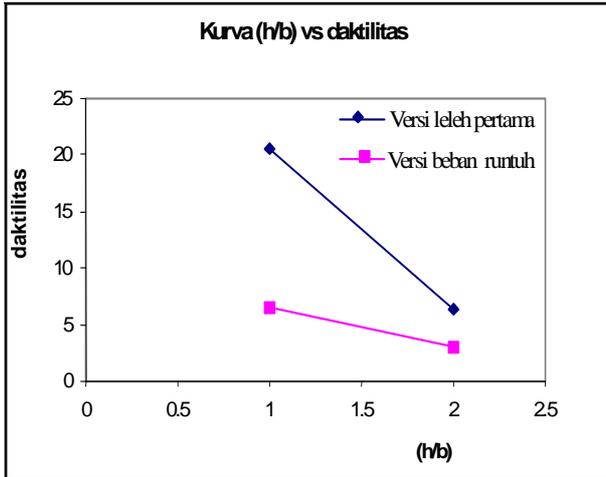
4.2.2 Parameter (h/b_f)

Parameter ini berhubungan dengan kekakuan struktur dan stabilitas struktur. Dengan peningkatan nilai (h/b_f) maka momen inersia profil menjadi lebih besar sehingga akan memperbesar kemampuan struktur dalam menahan beban. Dengan bertambahnya kemampuan struktur dalam menahan beban tanpa disertai dengan penambahan tebal sayap, maka kemampuan struktur dalam berdeformasi pasca leleh menjadi kecil. Sementara pergeseran struktur keluar bidang gambar juga berpengaruh terhadap kemampuan sayap dalam berdeformasi. Kedua fenomena ini mempercepat terjadinya retak pada sayap di bagian tumpuan sehingga beban menjadi turun seketika. Oleh karena itu parameter (h/b_f) menjadi sangat signifikan pengaruhnya terhadap nilai daktilitas.

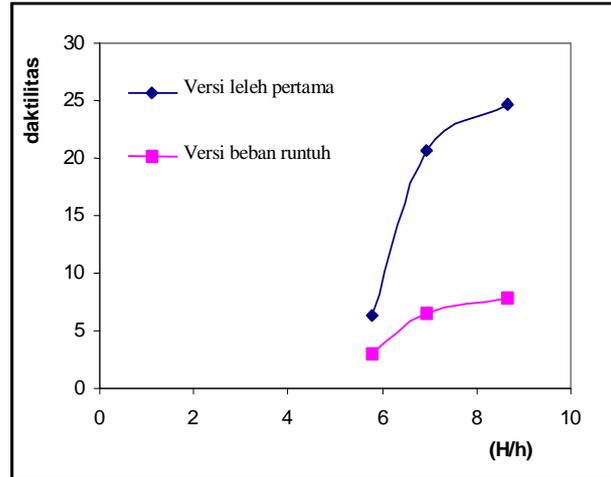
4.2.3 Parameter (H/h)

Parameter ini menyatakan perbandingan antara tinggi kolom dengan tinggi penampang profil WF yang digunakan. **Tabel 7** menunjukkan pengaruh parameter (H/h) terhadap nilai daktilitas struktur.

Untuk ketiga profil tersebut nilai daktilitas meningkat sesuai dengan peningkatan (H/h), pengaruh ini berlaku untuk dua cara penentuan daktilitas (leleh pertama dan beban runtuh). Kurva **Gambar 19** menunjukkan pengaruh (H/h) terhadap nilai daktilitas.



Gambar 18. Kurva pengaruh (h/b_f) vs daktilitas



Gambar 19. Kurva pengaruh (H/h) vs daktilitas

Tabel 6. Pengaruh (h/b_f) terhadap nilai daktilitas

Profil	(h/b _f)	P _y (kN)	P _u (kN)	d _{y1} (mm)	d _{y2} (mm)	d _u (mm)	Daktilitas (μ ₁)	Daktilitas (μ ₂)
150.75.5.7	2	73.29	150.73	5.34	10.98	33.60	6.29	3.06
125.125.6.5.9	1	79.25	252.3	4.44	14.13	91.54	20.62	6.46
100.100.6.8	1	38.49	119.73	4.16	12.94	101.88	24.49	7.87

Tabel 7. Pengaruh (h/b_f) terhadap nilai daktilitas

Profil	(H/h)	P _y (kN)	P _u (kN)	d _{y1} (mm)	d _{y2} (mm)	d _u (mm)	Daktilitas (μ ₁)	Daktilitas (μ ₂)
100.100.6.8	8.67	38.49	119.73	4.16	12.94	101.88	24.49	7.87
125.125.6.5.9	6.94	79.25	252.3	4.44	14.13	91.54	20.62	6.48
150.75.5.7	5.78	73.29	150.73	5.34	10.98	33.6	6.29	3.06

Tabel 8. Pengaruh (h/l) terhadap nilai daktilitas

Profil	(H/L)	P _y (kN)	P _u (kN)	d _{y1} (mm)	d _{y2} (mm)	d _u (mm)	Daktilitas (μ ₁)	Daktilitas (μ ₂)
100.100.6.8	0.667	70.88	153.82	6.32	12.98	97.40	15.41	7.50
	0.867	38.49	119.73	4.16	12.94	101.88	24.49	7.87
	1.367	<38.49	<119.73	<4.16	<12.94	>101.88	>24.49	>7.87

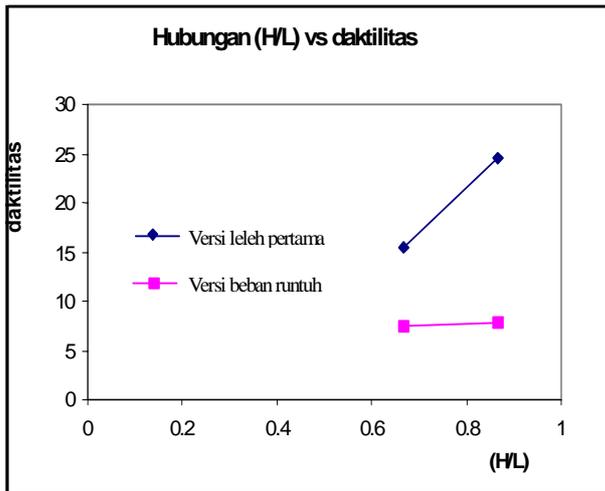
4.2.4 Parameter (H/L)

Pengaruh parameter (H/L) terhadap nilai daktilitas struktur ditunjukkan dalam **Tabel 8** dan **Gambar 20**.

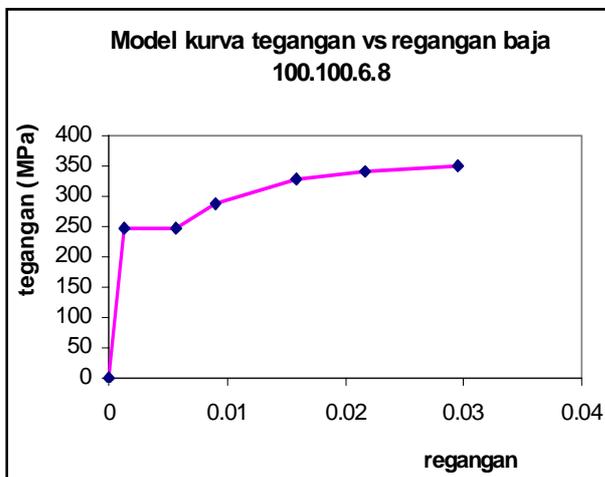
Berbeda dengan hasil analisis numerik dimana terjadi fenomena yang sebaliknya. Hal ini disebabkan karena pengaruh aktuator yang menempel pada struktur sehingga titik hubung struktur tersebut tidak bebas bergerak ke segala arah. Sedangkan pada analisis numerik dengan MSC/NASTRAN titik hubung tersebut dapat bergerak bebas ke segala arah.

5. Perbandingan Hasil Eksperiment dengan Analisis Numerik

Perbandingan nilai daktilitas hasil eksperiment dengan hasil analisis numerik, bertujuan untuk mengetahui sampai sejauh mana perbedaan nilai daktilitas struktur yang dihasilkan antara numerik dan eksperimen, serta untuk membandingkan perilaku struktur akibat pembebanan statik monotonik. Untuk perbandingan ini diambil benda uji-II. Kurva **Gambar 21** menunjukkan hubungan tegangan vs regangan hasil uji tarik. Data ini digunakan untuk analisis non linier dengan MSC/NASTRAN.



Gambar 20. Kurva pengaruh (H/L) vs daktilitas



Gambar 21. Model hubungan tegangan vs regangan untuk analisis non linier

6. Validasi Formula Daktilitas Struktur

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah melakukan validasi terhadap formula daktilitas yang diusulkan melalui studi numerik yang sedang dilakukan oleh peneliti lain (Haris 2001).

Dari hasil studi numerik yang sedang dikembangkan formula daktilitas struktur dinyatakan dengan :

$$Ratio = 0.2 + 1000 \cdot \left[\left\{ \frac{h}{b} \right\}^{2.5} \cdot \frac{b}{2 \cdot t_f} \cdot \left\{ \frac{H}{r_y} \right\}^{0.5} \cdot \left\{ \frac{H}{L} \right\} \cdot \left\{ \frac{f_y}{E} \right\}^{1.5} \right]$$

$$\mu_s = \frac{42}{Ratio} - 2$$

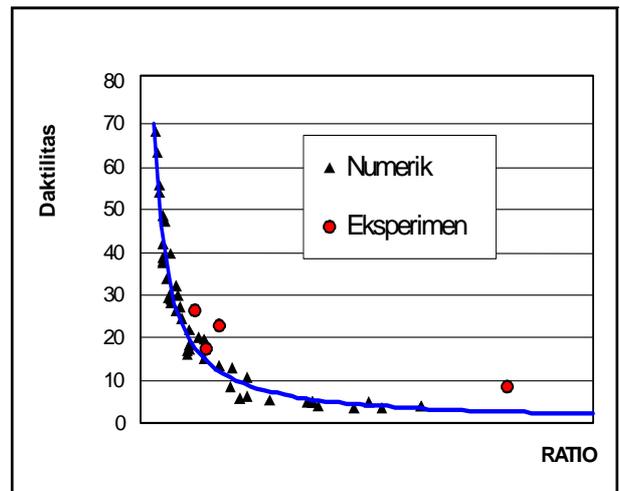
dimana :

h = tinggi profil, b = lebar profil, H = tinggi struktur, t_f

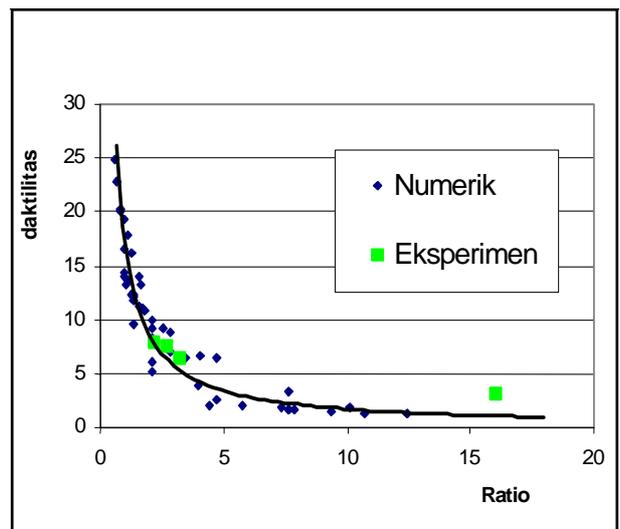
= tebal sayap, r_y = jari-jari inersia terhadap sumbu-y, E = modulus elastisitas baja, L = lebar struktur, f_y = tegangan leleh baja.

Gambar 22 dan 23 menunjukkan validasi formula daktilitas yang dihitung berdasarkan leleh pertama dan beban runtuh (*collapse load*).

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai-nilai daktilitas struktur hasil eksperimen secara konsisten tetap berada diatas nilai hasil analisis numerik dan selalu menunjukkan kecenderungan pola kurva yang sama dengan hasil analisis numerik.



Gambar 22. Validasi formula daktilitas struktur dihitung berdasarkan leleh pertama



Gambar 23. Validasi formula daktilitas struktur dihitung berdasarkan beban runtuh (*collapse load*)

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi eksperimental dengan melakukan pengujian terhadap beberapa benda uji serta validasi terhadap formula daktilitas yang sedang dikembangkan melalui studi numerik maka dapat disimpulkan :

1. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kondisi *ultimate* terjadi pada saat tercapainya beban maksimum dimana pada kondisi ini terjadi retak pada sayap di bagian tumpuan pada saat ini regangan pada lokasi retak tersebut sudah mencapai *strain hardening*. Oleh karena itu simpangan *ultimate* lebih tepat diambil pada saat tercapainya beban maksimum.
2. Parameter-parameter yang berpengaruh secara *significant* terhadap nilai daktilitas struktur terdiri dari parameter penampang dan parameter struktur secara global, yaitu :
 - Perbandingan tinggi profil dengan lebar profil (h/b_f).
 - Perbandingan lebar sayap dengan tebal sayap ($b_f/2t_f$).
 - Perbandingan tinggi struktur dengan jari-jari inersia profil (H/i_y).
 - Perbandingan tinggi struktur dengan lebar struktur (H/L).
3. Peningkatan nilai (h/b_f) secara efektif akan meningkatkan kemampuan struktur menahan beban, tetapi tanpa penambahan dimensi sayap menyebabkan nilai daktilitas semakin turun karena sayap tidak mampu menahan deformasi yang besar akibat peningkatan beban.
4. Pengurangan nilai ($b_f/2t_f$) dengan menambah tebal sayap efektif sekali untuk meningkatkan nilai daktilitas struktur, karena bagian sayap mengalami deformasi yang paling besar. Dengan penambahan tebal sayap berarti meningkatkan kemampuan sayap untuk menahan deformasi inelastis sehingga menambah nilai daktilitas.
5. Nilai-nilai daktilitas struktur hasil eksperiment menunjukkan pola kecenderungan yang sama dengan hasil numerik tetapi nilai numerik lebih bersifat konservatif bila dibandingkan dengan hasil eksperiment. Hal ini disebabkan keruntuhan struktur yang terjadi pada eksperiment diakibatkan oleh retak pada sayap di daerah tumpuan, sedangkan pada analisis numerik kegagalan pada struktur terjadi karena *instability*.

8. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Graduate Team Research Grant Batch IV-URGE Project, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan dana penelitian sehingga penelitian ini dapat berlangsung, serta kepada seluruh staf dan teknisi Laboratorium Mekanika Struktur PAU-ITB.

Daftar Pustaka

- AISC, 1997, "*Seismic Provision for Structural Steel Buildings*", American Institute of Steel Construction, Chicago.
- ASTM E8-96, "*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*".
- Bruneau, M. Uang, CM. And Whittaker, A., 1998, "*Ductile Design of Steel Structure*", McGraw-Hill, New York.
- Chen, W.F. and Lui, E.M., 1991, "*Stability Design of Steel Frames*", CRC Press, Boca Raton.
- Chen, W.F. and Han, D.J., 1991, "*Plasticity for Structural Engineers*", Springer-Verlag, Hongkong.
- Chen, W.F. and Toma, S., 1994, "*Advance Analysis of Steel Frames : Theory, Software, and Application*", CRC Press, Boca Raton,.
- Departement Pekerjaan Umum, 1987, "*Pedoman Perencanaan Bangunan Baja Untuk Gedung*", SKBI-1.3.55, Yayasan Badan Penerbit PU, 1987.
- Firmansyah, J., 1999, Usulan Reduction Factor R dan Structural Overstrength Ω_o Untuk SNI-1726-1998, "*Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan*", Bandung.
- Galambos, T.V., 1968, "*Structural Member and Frames*", Prentice-Hall.
- Gao, S., Usami, T., and Ge, H., 1998, "*Ductility of Steel Short Cylinders in Compression and Bending*", Journal of Engineering Mechanics Vol. 124 No. 2 hal 176-183.
- Gioncu, V., 1998, "*Ductility Criteria for Steel Structure*", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 46, No. 1-3.
- Gioncu, V., 2000 "*Framed Structures, Ductility and*

- Seismic Response*”, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 55, Hal. 125-154.
- Hardono, S., 2000, “*Kajian Eksperimental Terhadap Nilai Daktilitas dan Faktor Jenis Struktur Portal Terbuka*”, Tesis Magister, Bidang Rekayasa Struktur ITB, Bandung.
- Haris, S., 2001, “*Studi Numerik Terhadap Parameter Daktilitas Struktur Baja*”, Tesis Magister, Bidang Rekayasa Struktur ITB, Bandung.
- Nakashima, M., 1994, “*Variation of Ductility Capacity of Steel Beam Columns*”, Journal of Structural Engineering, Vol. 120, No. 7, Hal. 1941-1990.
- Miller, P.M., 1992, “*MSC/NASTRAN : Getting Started User’s Guide*”, 2nd Edition, The Macneal-Schwendler Corporation, Los Angeles.
- MacNeal-Schwendler, 1996, “*MSC/NASTRAN for WINDOWS : Installation and Application Manual*”, The Macneal-Schwendler Corporation, Los Angeles,.
- Mazzolani, F.M and Piluso, V., 1996, “*Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames*”, E & FN SPON, London.
- Sang, H. Lee., 1992, “*Msc/Nastran Handbook for Non Linier Analysis*”, Version 67, The Macneal-Schwendler Corporation, Los Angeles.
- Salmon and Johnson, 1996, “*Steel Structures : Design and Behavior*”, 4th Edition, Harper Collins, Newyork.
- Sudarsono, A., 2000, “*Studi Parametrik Daktilitas Balok Kolom Baja Berpenampang I*”, Tesis Magister, Bidang Rekayasa Struktur ITB, Bandung.
- White, D.W. and Chen, W.F., 1993, “*Plastic Hinged Based Method for Advanced Analysis and Design of Steel Frames : An assessment of the State-of-the art*”, SSRP Press.

