

Analisis Numerik *Vertical Shear Link* (VSL) secara *Sub-Assemblage* menggunakan Program Bantu ABAQUS

Ifarrel Rachmanda Hariyanto^{1*}, Budi Suswanto¹, Ahmad Basshofi Habieb¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: ifarrelr@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	14 Juni 2022	<i>Indonesia is a country with a relatively high level of seismicity, so earthquake events often caused casualties. To reduce casualties due to the earthquake, it is necessary to design a building that satisfies the requirements of structural performance such as strength and ductility. An Eccentrically Braced Frame (EBF) is one of the ductile steel structures that is suitable for high seismicity regions. Links on EBF that are commonly used are horizontal links with several weaknesses such as damaging heavy loads or very sensitive equipment, especially in power plant buildings, so research is carried out regarding vertical links. This study discusses the numerical analysis of the use of Vertical Shear Link (VSL) using the ABAQUS program, which then compares the results of the investigation with experimental research by Zahrai et al. (2015). Numerical analysis was carried out to verify the experimental results, including von mises stress, deformation modes, and hysteresis curves. The numerical results indicate that the link body reaches the ultimate stress at the end of the test. The peak load capacity generated by the numerical analysis is 22.723 tons, with a difference between the experiments of 1.05%.</i>
Diperbaiki	21 Juni 2022	
Disetujui	29 Juni 2022	

Keywords: eccentrically braced frame, vertical shear link, numerical analysis, ABAQUS

Abstrak
Indonesia merupakan negara dengan tingkat kegempaan yang cukup tinggi, sehingga gempa seringkali menimbulkan korban jiwa. Untuk mengurangi korban jiwa akibat gempa, perlu didesain gedung yang dapat memenuhi kebutuhan performa struktur seperti kekuatan dan daktilitas. *Eccentrically Braced Frames* (EBF) adalah salah satu struktur baja daktail yang cocok digunakan pada daerah rawan gempa. Link pada EBF yang umum digunakan adalah link horizontal yang memiliki beberapa kelemahan seperti dapat merusak beban berat atau peralatan yang sangat sensitif terutama pada gedung pembangkit listrik sehingga dilakukan penelitian terkait link vertikal. Penelitian ini membahas tentang analisis numerik penggunaan *Vertical Shear Link* (VSL) dengan menggunakan program bantu ABAQUS yang kemudian dilakukan perbandingan hasil analisis dengan penelitian eksperimental oleh Zahrai dkk. (2015). Analisis numerik dilakukan untuk memverifikasi hasil eksperimen meliputi *von mises stress*, moda deformasi, dan kurva histerisis. Hasil numerik menunjukkan bahwa badan link mencapai tegangan runtuh pada akhir pengujian. Kapasitas beban puncak yang dihasilkan oleh analisis numerik adalah 22,723 ton dengan selisih antara eksperimental sebesar 1,05%.

Kata kunci: rangka berpengaku ekstris, *vertical shear link*, analisis numerik, ABAQUS

1. Pendahuluan

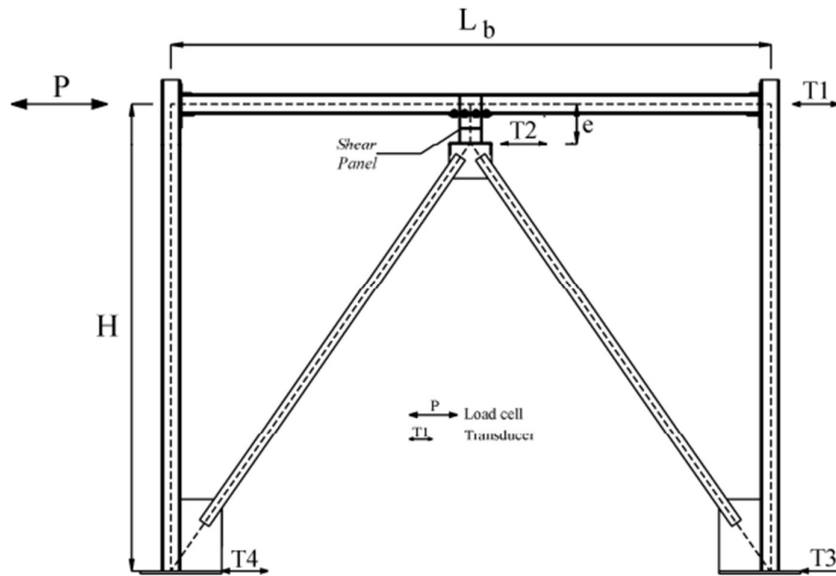
Indonesia merupakan negara dengan intensitas gempa yang cukup tinggi. Pada tahun 2018 telah terjadi 23 kali gempa bumi signifikan dan dirasakan oleh manusia [1] yang tentunya akan menimbulkan korban jiwa. Bukan gempa yang membunuh ataupun gedungnya, tetapi gedung dengan kualitas desain yang buruk yang menimbulkan korban jiwa [2]. Oleh karena itu perlu didesain struktur dengan kegempaan yang baik sehingga dapat meminimalisir timbulnya korban jiwa.

Salah satu konsep desain tahan gempa adalah sistem *Eccentrically Braced Frames* (EBF) yang merupakan gabungan dari MRF dan CBF (telah banyak diterapkan pada struktur bangunan gedung di daratan. Sistem ini merupakan

pengembangan gabungan dari MRF dan CBF [3]. Selain itu, EBF merupakan struktur penahan gempa paling cocok untuk digunakan pada daerah gempa yang cukup berat [4].

Dalam rangka untuk mencapai kinerja terbaik dari EBF, terdapat link dimana selama respon elastik terjadi, link mengembangkan deformasi geser yang signifikan [5]. Link yang umum digunakan antara lain Link Pendek, Link Menengah, dan Link Panjang. Dan dari ketiga jenis link tersebut, link pendek memiliki kelebihan dari kedua link lain dikarenakan respon struktur yang dihasilkan lebih baik [6].

Namun, link horizontal yang digunakan tersebut tentu memiliki kelemahan, antara lain pada penggunaan gedung pembangkit listrik, balok terkadang digunakan untuk menopang beban berat dan peralatan yang sangat sensitif.



Gambar 1. Model eksperimental *vertical shear link* [12]

Tabel 2. Spesifikasi penampang pemodelan eksperimental [12]

Specimen	Frame Properties					Shear Panel Properties				
	Column Section	Column Height (cm)	Beam Section	Beam Length (cm)	Brace Section	Brace Length (cm)	Shear Panel Section	Link Length (cm)	Stiffener Thickness (mm)	Stiffener Distance (cm)
SPS1	IPB120	300	IPE140	420	2UNP80	345	IPE160	20	10	10
SPS2	IPB120	300	IPE140	420	2UNP80	345	IPE140	20	10	10
SPS3	IPB120	300	IPE140	420	2UNP100	345	IPE140	20	-	-
SPS4	2IPE140	300	IPE140	420	2UNP80	337	IPE140	30	10	10
SPS5	2IPE140	300	CPE180	420	2UNP100	337	IPE160	30	10	10

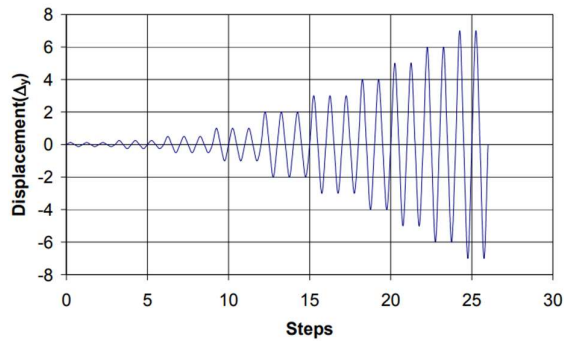
Dalam kasus-kasus ini, untuk memastikan akurasi kerja peralatan, komponen penahan beban seperti balok dan kolom harus tetap dalam keadaan elastis [7]. Salah satu jenis link yang saat ini sedang diteliti adalah penggunaan VSL (*Vertical Shear link*), dimana memiliki kelebihan yaitu tidak merusak struktur yang ada di atasnya [8]. Selain itu juga, kurva histerisis yang dihasilkan oleh struktur bersifat stabil dan tidak menyebabkan konsentrasi tegangan. [9]

VSL memiliki daktilitas tinggi dan juga memiliki kekakuan yang cukup besar apabila dibandingkan dengan EBF dengan balok penghubung horizontal [10]. Selain itu, VSL tidak terletak pada struktur dalam dan dapat dengan mudah diganti. Sehingga, setelah terjadi gempa, apabila diasumsikan struktur lain sudah bersifat elastis, hanya VSL (*Vertical Shear Link*) yang harus diganti, dan pada akhirnya struktur kembali pada fungsi semula [9]. Sehingga *link*

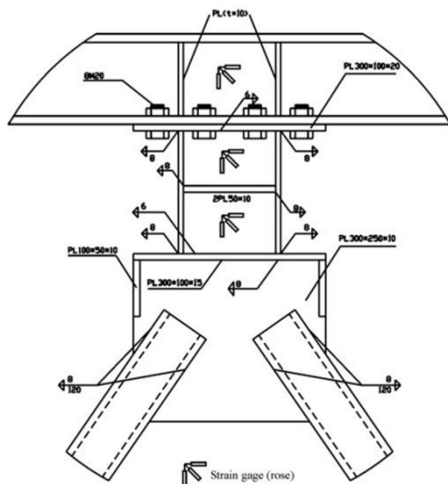
vertikal memungkinkan untuk perbaikan bangunan *existing* dengan perubahan kecil pada struktur utama. [11] Performa *Vertical Shear Link* pernah diuji coba dalam penelitian [7] [9], pada EBF tipe *Inverted Y*. Dan didapatkan hasil performa struktur yang baik.

Lima model *vertical shear link* secara eksperimental pernah diuji [12], seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Dengan spesifikasi penampang yang dapat dilihat pada **Tabel 1**, Model eksperimental diuji dengan protokol beban siklik yang mengacu kepada *AISC Seismic Provision LRFD 2010* [13] yang disajikan pada **Gambar 2**.

Sambungan *vertical shear link* digunakan konfigurasi kombinasi sambungan las pada pelat simpul di bawahnya, dan sambungan baut pada sambungan link dengan balok di atasnya. Untuk detail sambungan, detail penampang, dan detail pemasangan *strain-gauge* disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Protokol pembebanan yang digunakan dalam pengujian spesimen [12]



Gambar 3. Detail sambungan link, detail penampang, dan detail pemasangan *strain gauge* [12]

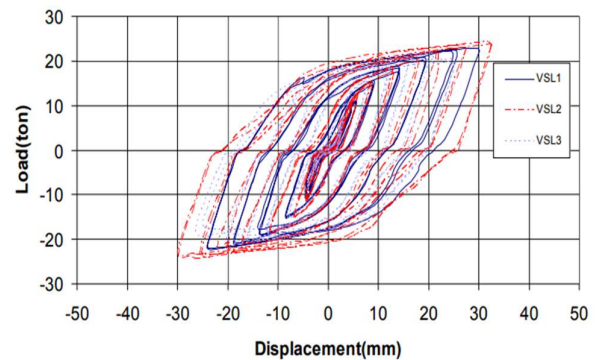
Pengujian diawali dengan melapisi kapur pada kelima spesimen dimana kapur tersebut mulai terjadi keretakan saat spesimen mencapai batas leleh. Setelah terjadi leleh pada badan, kekakuan lateral portal berkurang. Dengan bertambahnya beban pada spesimen, link secara perlahan memasuki fase plastis.

Hasil pengujian spesimen menunjukkan terjadinya beberapa kemiripan dimana terjadi pelepasan pada *web* link, dan pada spesimen 3 (SPS3) terjadi *buckling* dikarenakan tidak adanya pengaku sehingga terjadi *rupture* secara diagonal. Kurva histerisis *force-displacement* semua spesimen menunjukkan perilaku yang baik dimana dapat melewati semua siklus sebelum keruntuhan dari pengujian spesimen. Pada spesimen 1-3 digunakan *link* sepanjang 20 cm dan pada spesimen 4-5 digunakan *link* sepanjang 30 cm sehingga hasil yang didapatkan tidak berbeda jauh satu sama lain.

Untuk SPS1, pelepasan mulai terjadi pada *web* dengan gaya lateral berkisar 100 kN pada *displacement* bersih sebesar 4,5 mm. Dari kurva beban-*displacement* dilakukan perpotongan dengan garis sejajar dengan kekakuan awal yang ditarik pada regangan 0.2%. Pada siklus ke 23 dimana lateral *displacement* mencapai 18 mm atau $3\Delta_y$, link berubah bentuk menjadi jajar genjang dikarenakan distorsi geser inelastis yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pada pengujian dikarenakan pada perletakkan terjadi slip, sehingga untuk mencapai defleksi yang diinginkan sangat sulit. Oleh karena itu pada pembebanan sebelum tahap pelepasan spesimen, pengujian dilakukan dengan *force-controlled* yang diterapkan dalam 3 siklus. Setelah spesimen mengalami pelepasan dilakukan pembebanan dengan *displacement controlled*. Kurva histerisis SPS1 hingga SPS3 dapat dilihat pada **Gambar 5**.

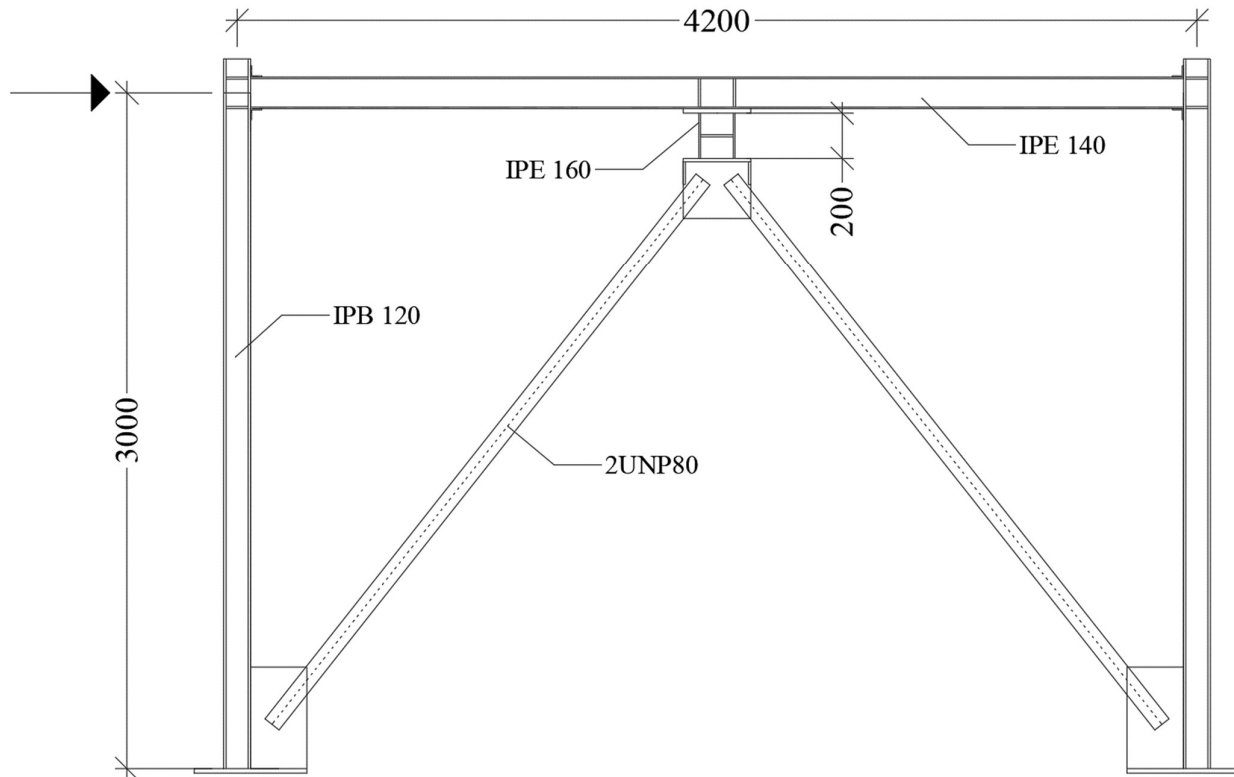


Gambar 4. Hilangnya lapisan kapur dan deformasi *link* pada spesimen SPS1 [12]



Gambar 5. Kurva histerisis SPS1 (garis biru) hingga SPS3 [12]

Hasil yang didapatkan setelah pengujian spesimen SPS1 didapatkan V_{max} sebesar 22494 kg, daktilitas sebesar 6,0



Gambar 6. Model numerik *vertical shear link*

dimana menunjukkan daktilitas yang cukup tinggi. Semua spesimen *vertical shear link* (VSL) memberikan kontribusi lebih dari 95% terhadap penahan gaya lateral. Berdasarkan pengujian, daktilitas struktur meningkat dengan penggunaan VSL yang mendisipasi energi sebagai fusi daktil sehingga menghindari terjadinya leleh pada elemen lain seperti balok, kolom, dan bracing.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi spesimen SPS1 yang telah diuji oleh Zahrai, 2015 [12] dengan dilakukan pendekatan analisis numerik menggunakan program bantu ABAQUS. Dalam pengujian secara *finite element* ini digunakan beberapa material yang sesuai secara pengujian eksperimental dimana digunakan baja dengan spesifikasi $f_y = 280$ MPa (2855,205 kg/cm²) dan $f_u = 420$ MPa (4282,808 kg/cm²) pada semua penampang. Dikarenakan pada jurnal penelitian tidak diketahui mutu baja untuk balok, kolom, bresing, dan komponen lainnya, maka digunakan mutu baja spesimen tertinggi yaitu SPS4 dengan spesifikasi $f_y = 364$ MPa (3711,767 kg/cm²) dan $f_u = 517$ MPa (5271,932 kg/cm²). Modulus elastisitas yang diambil untuk analisis numerik ini digunakan 200.000 MPa (2039432,43 kg/cm²). Sedangkan *elongation* maksimum untuk baja

diambil 18%. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan *Ramberg-Osgood* untuk menentukan koefisien yang disajikan pada persamaan 1 dan persamaan 2.

$$\varepsilon_{us} = 100. \left(\varepsilon_r - \frac{F_{tu}}{E} \right) \quad (1)$$

$$n = \frac{\text{Ln} \left(\frac{\varepsilon_{us}}{0.2} \right)}{\text{Ln} \left(\frac{F_{tu}}{F_{ty}} \right)} \quad (2)$$

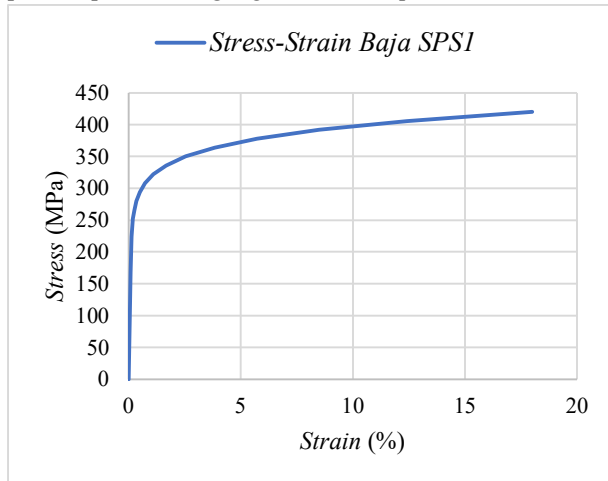
Dari persamaan 1 dan 2, didapatkan nilai koefisien *ramberg-osgood* sebesar 11,07. Yang selanjutnya untuk perhitungan *engineering stress-strain* digunakan persamaan 3 sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002. \left(\frac{\sigma}{F_{ty}} \right)^n \quad (3)$$

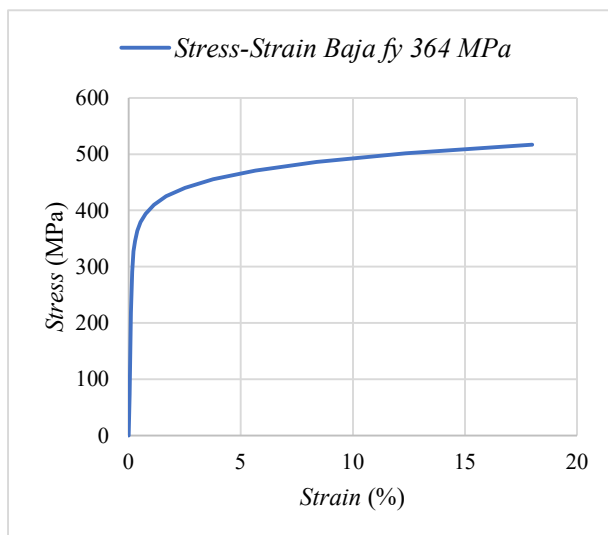
Dari persamaan 3 tersebut kemudian ditarik kurva hubungan tegangan dan regangan. Sehingga jika diakumulasikan didapat grafik yang disajikan pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**. Setelah mendefinisikan material, pemodelan dilakukan menggunakan sistem portal *sub-assembly* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dimana pembebanan dilakukan sesuai dengan model spesimen awal yaitu di ujung kolom.

Pemodelan pada ABAQUS dimulai dengan memodelkan *part*/bagian yang diperlukan. Pada pemodelan ini digunakan *modelling space 3D* dengan *deformable type* dan *base feature*

solid extrusion. Kemudian memasukkan *material properties* mulai dari massa jenis, perilaku elastis, dan perilaku plastis. Dimana massa jenis baja digunakan 7.850 kg/m^3 . Lalu elastis dengan *modulus young* 200.000 MPa ($2039432,43 \text{ kg/cm}^2$), dan *poisson ratio* $0,3$. Disusul dengan *plasticity* yang dimasukkan sesuai pada **Gambar 7**. Pada perilaku elastis dan plastis tipe *hardening* digunakan *Isotropic*.



Gambar 7. Kurva tegangan-regangan baja SPS1



Gambar 8. Kurva tegangan-regangan baja komponen selain SPS1

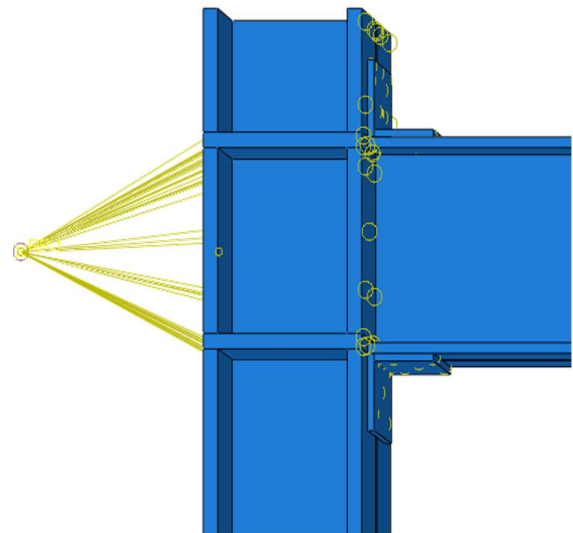
Selanjutnya setelah material didefinisikan, dilakukan *assembly* dari pemodelan tersebut, dimana *assembly* disesuaikan mengikuti dengan spesimen asli dengan *translate instance* dan *rotate instance*. Hasil akhir dari *assembly* dapat dilihat pada **Gambar 9**. Selanjutnya, dilakukan penginputan *step* dengan tipe *static-general*, *time period* sebesar 88 dengan *nlgeom* menyala. *Increment size* digunakan *initial*

(0,1), minimum ($1E-015$), dan *maximum* (105) sesuai dengan *time period*. Setelah itu dibuat *output request manager* sebesar 0,1 yang berarti ABAQUS akan mencatat hasil setiap *time period* sebesar 0,1.

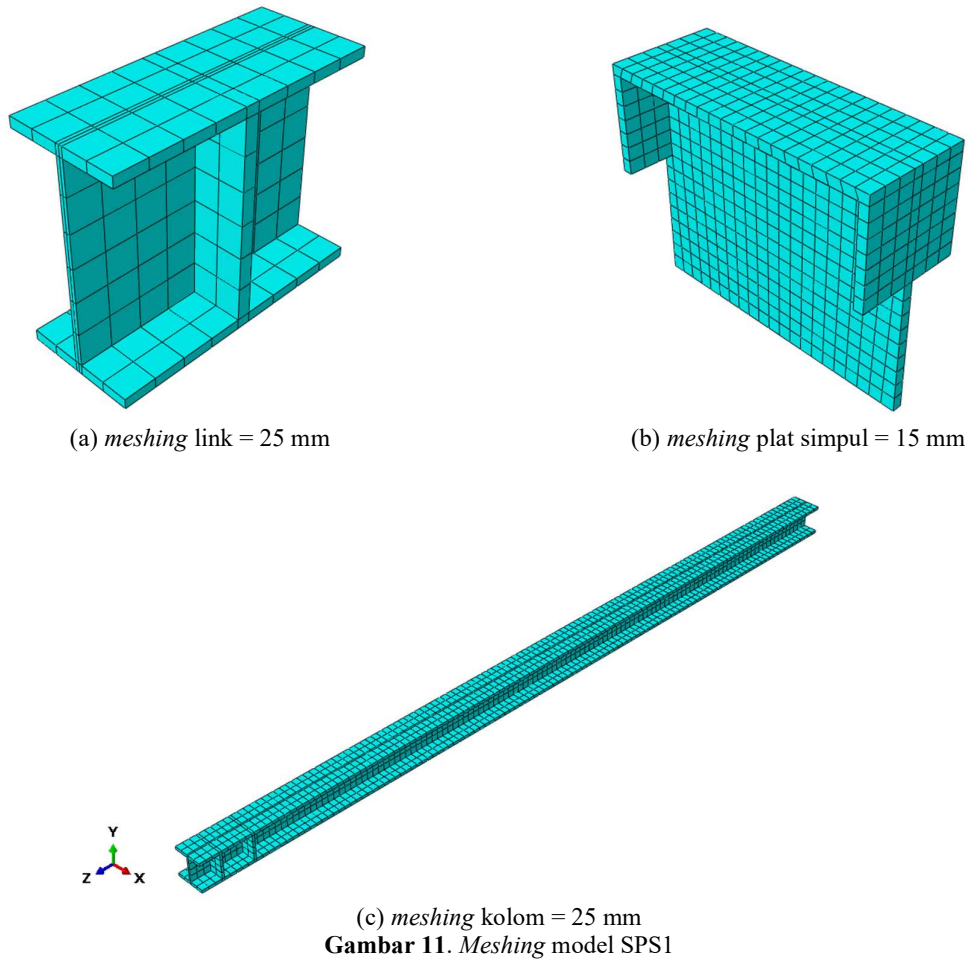
Langkah selanjutnya ialah pemodelan *interaction*, dimana pada langkah ini dimasukkan hubungan antara *part*. Beban dimasukkan dengan *constraint* tipe *coupling* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10**. Spesifikasi *constraint coupling* sebagai *input load* pemodelan ditabelkan pada **Tabel 3**.



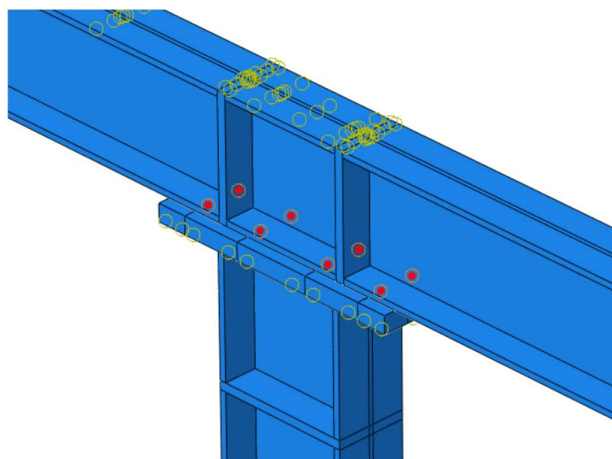
Gambar 9. *Assembly* pemodelan spesimen secara numerik



Gambar 10. *Constraint coupling* sebagai *input load* pemodelan



Gambar 11. *Meshing* model SPS1



Gambar 12. *Tie constraint node to node*

Sedangkan untuk hubungan antara *part* digunakan *tie constraint surface to surface* terkecuali pada sambungan plat

diatas link dengan balok. Sambungan ini disederhanakan dengan menggunakan *tie constraint surface to surface* dimana pada balok dibuat partisi sebagai representasi dari balok, dan pertemuan dari dua partisi akan membentuk sebuah noda yang disambung pada noda pelat penyambung di atas link. **Gambar 12** menunjukkan *tie constraint node to node* sebagai representasi dari baut.

Tabel 2. Spesifikasi *constraint coupling* pada pembebanan

<i>Mode</i>	<i>Type</i>
<i>Coupling type</i>	<i>Kinematic</i>
<i>Constrained Degree of Freedom</i>	All (U1, U2, U3, UR1, UR2, UR3)
<i>Influence Radius</i>	<i>To Outermost Point</i>

Setelah pemodelan *interaction*, langkah selanjutnya adalah memasukkan beban siklik sesuai pada eksperimental yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Beban ini dimasukkan pada *boundary condition* tipe *displacement/rotation* sesuai dengan arah pergerakan beban yaitu U1.

Pada *boundary condition* ini juga dimasukkan pada *base* pemodelan dan balok untuk membatasi gerak pemodelan agar hanya bergerak di sisi U1 saja. Terakhir sebelum dijalankan, mesh dibuat sebesar 25 mm untuk part besar seperti kolom, balok, dan *bracing*. Selanjutnya sebesar 15 mm untuk pelat buhul yang menyambungkan *bracing* dengan *link*, dan 5 mm untuk pelat siku yang memperkuat balok dengan kolom. Semua mesh dibentuk secara *hex* dengan *structured technique*, apabila part tidak bisa dibentuk maka dilakukan partisi dengan *define cutting plane*. Contoh meshing pada pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 11**.

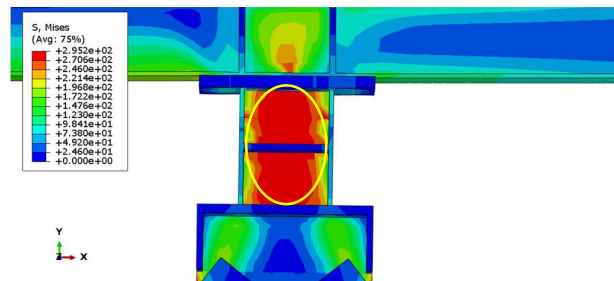
3. Hasil dan Pembahasan

Dari pemodelan ABAQUS, didapatkan hasil berupa kontur tegangan *von mises* dan kurva histerisis yang disesuaikan dengan penelitian eksperimental yaitu *force-displacement*.

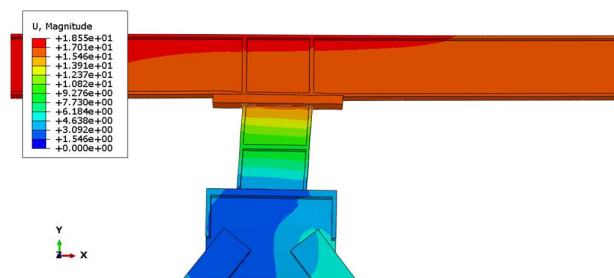
a. Distribusi tegangan dan model fisik

Dapat dilihat pada **Gambar 13**, dimana pelelehan terjadi pertama kali pada badan link dan balok di sisi atas link pada *step time* ke - 37 atau pada displacement sebesar 6 mm seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran merah. Besaran tegangan yang terjadi saat pelelehan pada step tersebut adalah 281,159 MPa (2867,023 kg/cm²).

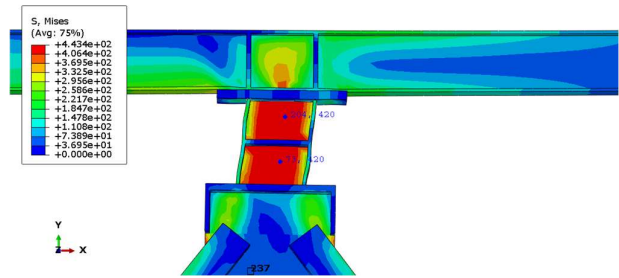
Sedangkan pada *step time* ke 61 atau *displacement* mencapai 18 mm seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 14**, link mulai mengalami deformasi sehingga bebentuk seperti jajar genjang sesuai dengan **Gambar 4**.



Gambar 13. Kontur tegangan saat leleh pertama



Gambar 14. Kondisi link saat *step* - 61

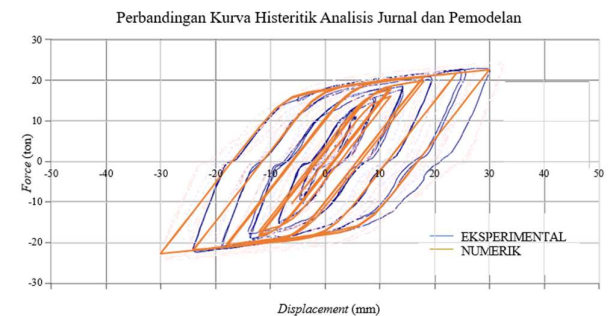


Gambar 15. Kontur tegangan saat *displacement* 30 mm

Pada **Gambar 15**, dimana pada puncak pemodelan dengan simpangan sebesar 30 mm, dapat dilihat bahwa sebagian besar badan link sudah mengalami tegangan ultimate yang ditunjukkan dengan lingkaran kuning dengan tegangan *von-mises* sebesar 420 MPa (4282,808 kg/cm²). Dapat dilihat pada sayap link yang sudah tidak memiliki bentuk lurus sempurna. Hal ini dikarenakan sayap link juga sudah mengalami pelelehan dimana pada simpangan maksimum, tegangan *von-mises* yang terjadi maksimum adalah sebesar 228,86 MPa (2333,722 kg/cm²)

b. Hasil kurva histerisis model numerik dengan eksperimental

Untuk membandingkan pemodelan eksperimental dan numerik, digunakan grafik yang disatukan dan disajikan pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Perbandingan Kurva histerisis model eksperimental dengan program bantu ABAQUS

Pada pemodelan numerik, seperti yang disajikan pada **Gambar 16**, menunjukkan bahwa grafik yang dihasilkan cenderung lurus dan tidak mengalami pelengkungan, hal ini dikarenakan pada ABAQUS, tipe *hardening* digunakan *Isotropic* sedangkan pada eksperimental digunakan gabungan antara *isotropic* dan *kinematic*. Terlihat pada pemodelan dihasilkan grafik yang lurus, hal ini dikarenakan pada pemodelan tidak terjadi slip pada perletakkan seperti yang terjadi pada model eksperimental.

Kapasitas gaya maksimal saat terjadi pada pemodelan dan eksperimental berdasarkan kurva histeritik masing masing

disajikan pada **Tabel 3**, dan pada **Tabel 4** disajikan perbandingan disipasi energi yang dihitung menggunakan persamaan 4.

$$L = \int_a^b f(x) dx \quad (4)$$

Dimana:

- L : Luasan area yang perlu dihitung
 a : Batas bawah luasan dalam sumbu x
 b : Batas atas luasan dalam sumbu x
 $f(x)$: Persamaan grafik dalam variabel x

Disipasi energi dihitung berdasarkan grafik terluar yang terjadi pada pemodelan dan eksperimental, dikarenakan pada eksperimental tidak ada nilai saat simpangan -30 cm, maka pada perhitungan disipasi energi pada pemodelan juga tidak dihitung nilai saat -30 cm sehingga dapat dibandingkan dan disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 3. Perbandingan *reacton force* maksimum SPS1 pemodelan dan eksperimental

Tipe	Base Shear (kg)	Selisih (%)
Pemodelan	22723	1,018
Eksperimental	22494	

Tabel 4. Perbandingan disipasi energi maksimum SPS1 pemodelan dan eksperimental

Tipe	Disipasi Energi (kg.mm)	Selisih (%)
Pemodelan	11368321	23,442
Eksperimental	14849295	

Dari **Tabel 3** didapatkan kapasitas gaya maksimal yang terjadi pada pemodelan dan eksperimental berturut turut adalah 22723 kg dan 22494 kg yang memiliki selisih sebesar 1,018%. Sedangkan pada daerah tekan pemodelan numerik menghasilkan puncak dan perpindahan yang lebih tinggi daripada pemodelan eksperimental. Hal ini kemungkinan terjadi akibat adanya gangguan atau kesalahan pembacaan pada alat ukur. Dikarenakan berdasarkan eksperimental, penelitian masih dilanjutkan hingga mencapai simpangan sebesar 36 mm namun tidak tergambar pada kurva histerisis eksperimental. Sedangkan pada **Tabel 4** didapatkan disipasi energi maksimal pemodelan adalah sebesar 11368321 kg.mm dan disipasi energi maksimal pemodelan adalah sebesar 14849295 kg.mm. Hal ini dikarenakan tipe *hardening* yang digunakan berbeda, dimana pada pemodelan digunakan isotropik, sedangkan pada eksperimental digunakan kombinasi dari isotropik dan kinematic [14].

Berdasarkan selisih gaya puncak yang terjadi pada pemodelan dan eksperimental, dapat diambil kesimpulan

bahwa validasi sudah mendekati dengan selisih sebesar 1,018% di bawah 5%. Sehingga, pemodelan menggunakan program bantu ABAQUS sudah sesuai dengan pemodelan eksperimental yang ada.

4. Simpulan

Pemodelan analisis menggunakan *finite element method* atau numerik dilakukan untuk memvalidasi hasil eksperimen berupa gaya maksimum pada puncak, kondisi fisik, dan memverifikasi tegangan yang terjadi. Dari hasil verifikasi, pemodelan numerik sudah cukup mendekati dengan model eksperimen dari kurva histerisis. Namun pada pemodelan eksperimen terjadi ketidaksempurnaan yang tidak bisa dimasukkan dalam pemodelan seperti terjadinya slip pada perletakkan saat eksperimen, part yang kurang terperinci baik dari dimensi dan jarak, dan foto spesimen kondisi sebenarnya yang kurang. Kapasitas gaya maksimum yang dihasilkan oleh kurva histerisis pemodelan numerik dan eksperimen masing masing adalah 22723 kg dan 22494 kg dengan selisih sebesar 1,018%.

Daftar Pustaka

- [1] BMKG, Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821 - 2018, Jakarta: Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedepatian Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019.
- [2] N. Madutujuh, "Aspek Penting dan Petunjuk Praktis Dalam Perencanaan Struktur Gedung di Dekat Pusat Gempa," in *Seminar dan Pameran HAKI 2010*, 2004.
- [3] A. K. Sina and C. Topkaya, "A review of research on steel eccentrically braced frames," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 128, no. 2017, pp. 53-73, 2017.
- [4] J. J. S. Pah and Y. E. Oematan, "Energy Dissipation of Eccentrically Braced Frame (EBF) With Different Level of Eccentricity," pp. 1-14, 2011.
- [5] J. M. Ricles and E. P. Popov, "Inelastic Link Element for EBF Seismic Analysis," *J. Struct. Eng.*, vol. 120, no. 2, pp. 441-463, 1994.
- [6] J. W. M. Rafael and B. Suswanto, "Studi Perilaku Link Pendek, Link Menengah dan Link Panjang pada Struktur Baja Sistem EBF," *J. Civ. Eng.*, vol. 32, no. 1, pp. 25-31, 2017.
- [7] J. Bouwkamp, M. G. Vetr and A. Ghamari, "An analytical model for inelastic cyclic response of eccentrically braced frame with vertical shear link (V-EBF)," *Case Stud. Struct. Eng.*, no. 6, pp. 31-44, 2016.
- [8] D. F. Muhammad, "Studi Numerik Performa Rangka Bresiing Eksentrik Link Vertikal Profil Tubular," *Jur. Apl. Tek. Sip.*, vol. 18, no. 1, pp. 95-106, 2020.

- [9] M. R. Baradaran, "The Effect of Vertical Shear-Link in Improving the Seismic Performance of Structures with Eccentrically Bracing Systems," *Int. J. Civ. Environ. Eng.*, vol. 9, no. 8, pp. 1086-1090, 2015.
- [10] M. A. Shayanfar, M. A. Barkhordari, A. R. Rezaeian, "Experimental study of cyclic behavior of composite vertical shear link in eccentrically braced frames", *Steel. Compos. Struct.* vol. 12 pp. 13 ,2012
- [11] R. Montuori, E. Nistri and V. Piluso, 'Theory of plastic mechanism control for the seismic design of braced frames equipped with friction dampers', *Mech. Res. Commun.* vol. 58 pp. 112–123 ,2014
- [12] S. M. Zahrai, "Cyclic testing of chevron braced steel frames with IPE shear panels," *Steel Compos. Struct.*, vol. 19, no. 5, pp. 1167-1184, 2015.
- [13] AISC, *Seismic Provisions for Structural Buildings*, Chicago, 2010.
- [14] E. M. Paneda and N. A. Fleck, "Crack growth resistance in metallic alloys: the role of isotropic versus kinematic hardening," *J. Appl. Mech.*, vol. 85, , pp. 111002-1 - 111002-6, 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan