

SIMULASI NUMERIK UJI TARIK BAJA

Leary Pakiding

Leary Pakiding, Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, pakiding.leary@gmail.com

ABSTRAK

Artikel ini memaparkan prosedur untuk memodelkan dan menganalisa uji tarik baja dengan kekuatan leleh 1100 MPa secara numerik dengan metode elemen hingga. Permodelan dilakukan menggunakan tipe elemen tiga dimensi dan analisa dilakukan hingga bahan uji baja mengalami keruntuhan yang ditandai oleh fenomena “necking”. Perbandingan hasil-hasil antara analisa numerik dan teori dalam bentuk kurva tegangan-regangan sangat konsisten satu sama lain.

Kata kunci : uji tarik baja, simulasi numerik, elemen hingga, necking

1. PENDAHULUAN

Uji tarik spesimen baja merupakan salah satu bentuk pengujian yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa kekuatan baja yang digunakan dalam desain telah sesuai dengan yang dipakai pada saat konstruksi di lapangan. Standar yang menjadi acuan dalam pengujian ini adalah ASTM E8/E8M [1]. Termasuk dalam pengujian ini adalah bahan-bahan baja (baja struktur dan las) yang digunakan untuk membuat sambungan.

Pengujian ini dapat juga disimulasikan secara numerik dengan menggunakan metode elemen hingga. Kelebihan simulasi numerik dengan metode elemen hingga seperti dapat digunakan untuk memodelkan geometri yang kompleks, dapat digunakan untuk menerapkan kondisi batas yang rumit pada model, serta dapat digunakan untuk memodelkan pembebanan yang rumit [2]. Oleh karena itu, simulasi numerik dengan metode elemen hingga untuk uji tarik baja pada sambungan las digunakan dalam artikel ini.

Tujuan

Artikel ini dimaksudkan untuk menjadi sebuah referensi bagi mahasiswa dan peneliti yang tertarik dengan permodelan dan analisa numerik uji tarik baja pada sambungan las baja mutu tinggi.

2. METODE PENELITIAN

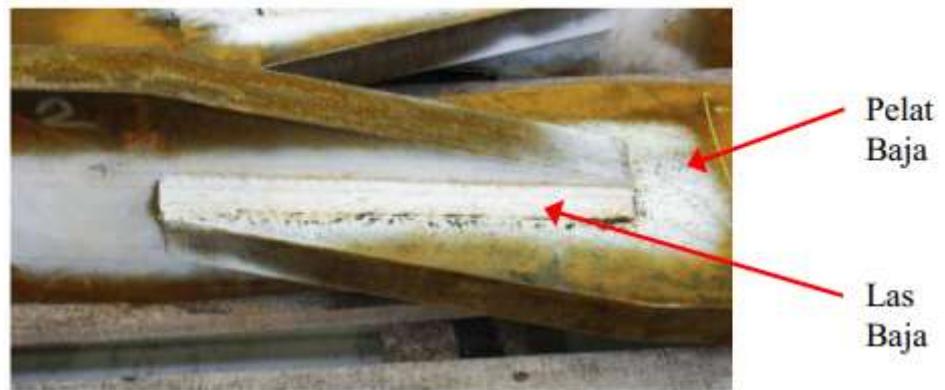
Berikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan dalam memodelkan uji tarik baja dari bahan- bahan baja yang disambung dengan las yang meliputi

1. Menentukan karakteristik kekuatan bahan-bahan sambungan (pelat dan las baja),
2. Membuat kurva tegangan-regangan teoritis,
3. Memodelkan geometri bahan-bahan penyusun sambungan,
4. Menerapkan asumsi-asumsi yang dipakai dalam analisis numerik,
5. Melakukan analisa numerik,
6. Membandingkan kurva tegangan-regangan dari hasil analisa numerik dan teori,
7. Membuat kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva-kurva Tegangan Teoritis

Tipe sambungan baja yang bahan-bahan penyusunnya (pelat dan las baja) digunakan untuk mensimulasikan uji tarik baja ditunjukkan dalam Gambar 1. Tabel 1 menunjukkan karakteristik kekuatan pelat dan las baja yang digunakan pada sambungan [3].



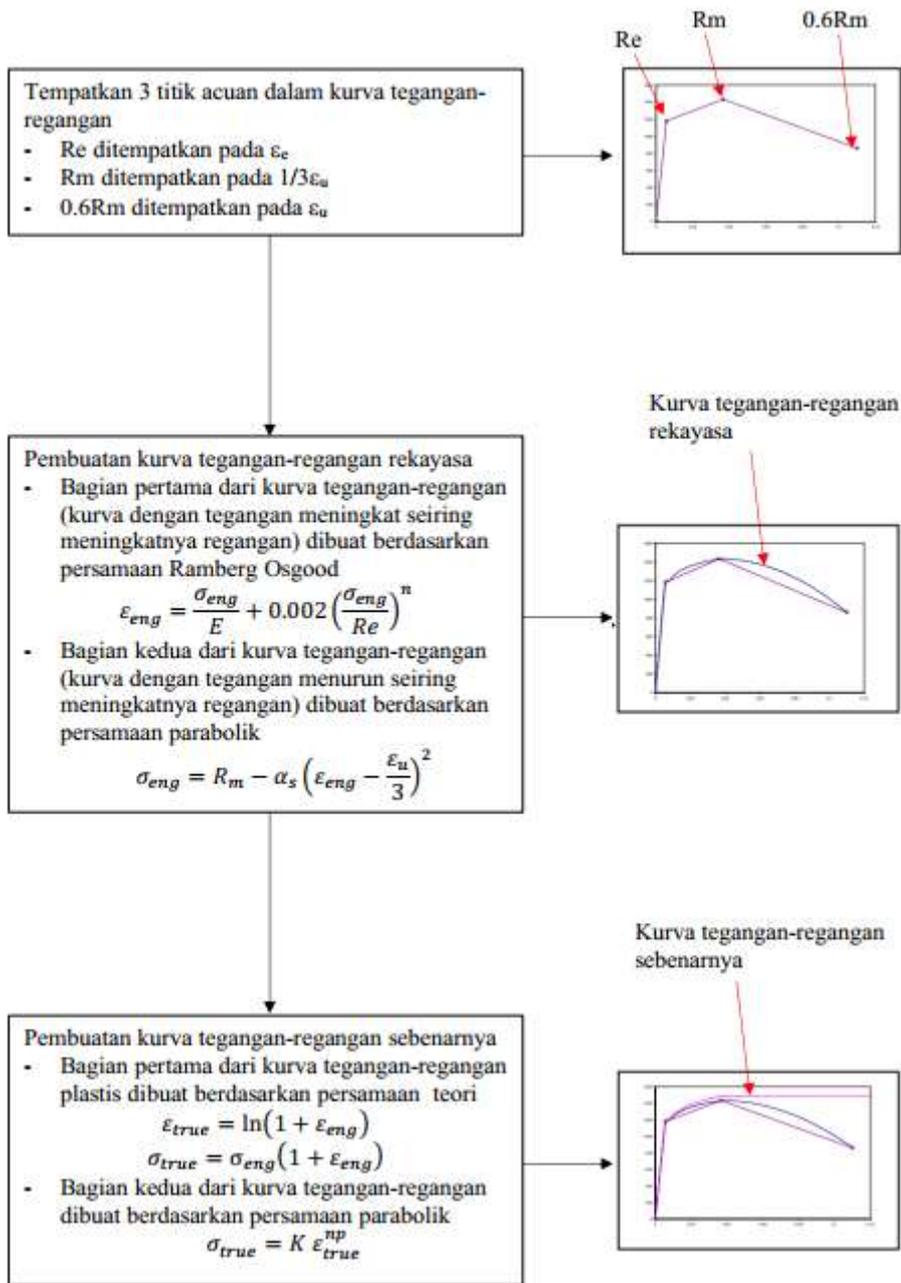
Gambar 1. Sambungan Las Pelat Baja (diadopsi dari [3])

Tabel 1. Karakteristik Kekuatan Pelat Dan Las Baja

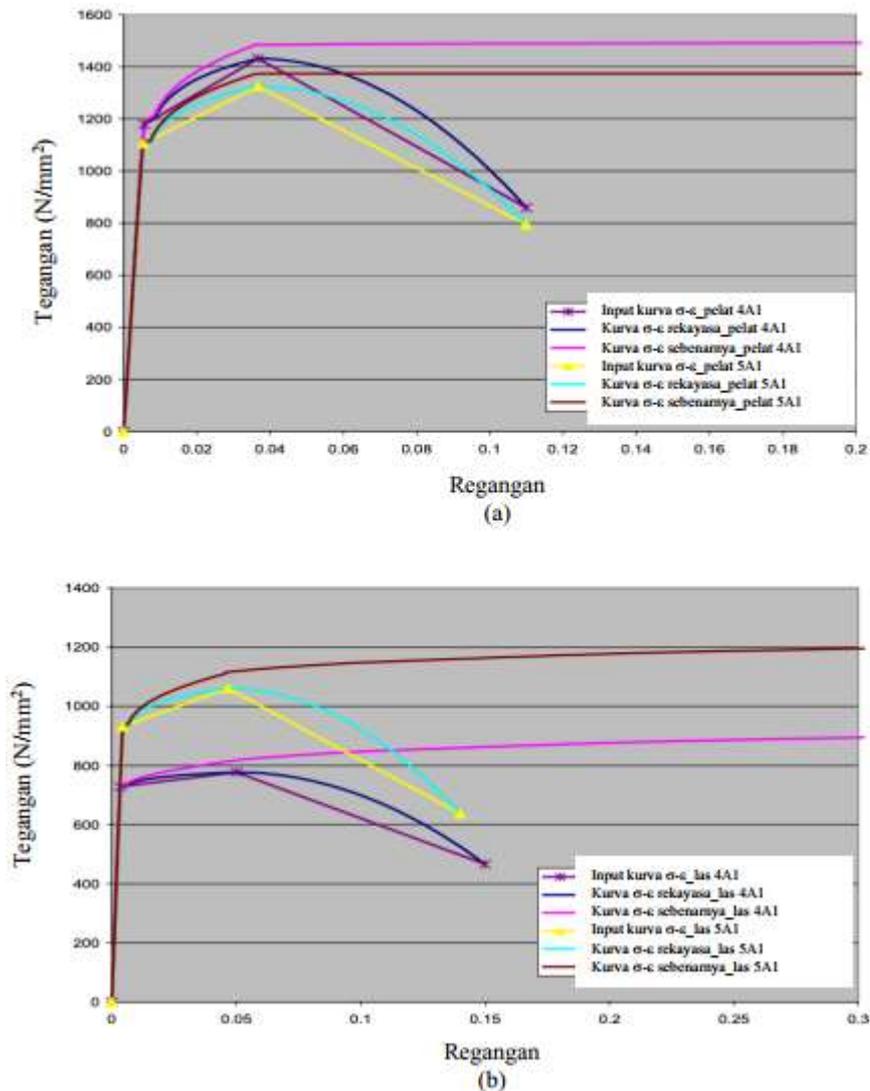
Spesimen Sambungan	Pelat/Las	Tebal, T (mm)	Tipe Baja, S (MPa)	Re (MPa)	Rm (MPa)	eu (MPa)	K (MPa)	np
4A1	Pelat	10	1100	1179	1432	11%	1500	0.0030
	Las	Kekuatan lebih rendah dari pelat		728	777	15%	950	0.0500
5A1	Pelat	40	1100	1106	1325	11%	1375	0.0001
	Las	Kekuatan lebih rendah dari pelat		931	1061	14%	1250	0.0370

Data-data dalam Tabel 1 dipakai untuk membuat kurva-kurva tegangan-regangan untuk pelat dan las baja. Prosedur dan asumsi-asumsi yang sama dalam [3] digunakan dalam pembuatan kurva-kurva yang dimaksud. Modulus elastisitas baja yang digunakan adalah 210,000 Nmm².

Gambar 2 menunjukkan langkah-langkah pembuatan kurva-kurva tegangan-regangan teoritis dari pelat dan las baja. Kurva-kurva tegangan-regangan teoritis yang dibuat dengan metode dalam Gambar 2 nantinya akan dibandingkan dengan kurva-kurva tegangan-regangan yang dihasilkan dari simulasi numerik.



Gambar 2. Langkah-Langkah Pembuatan Kurva-Kurva Tegangan-Regangan Teoritis



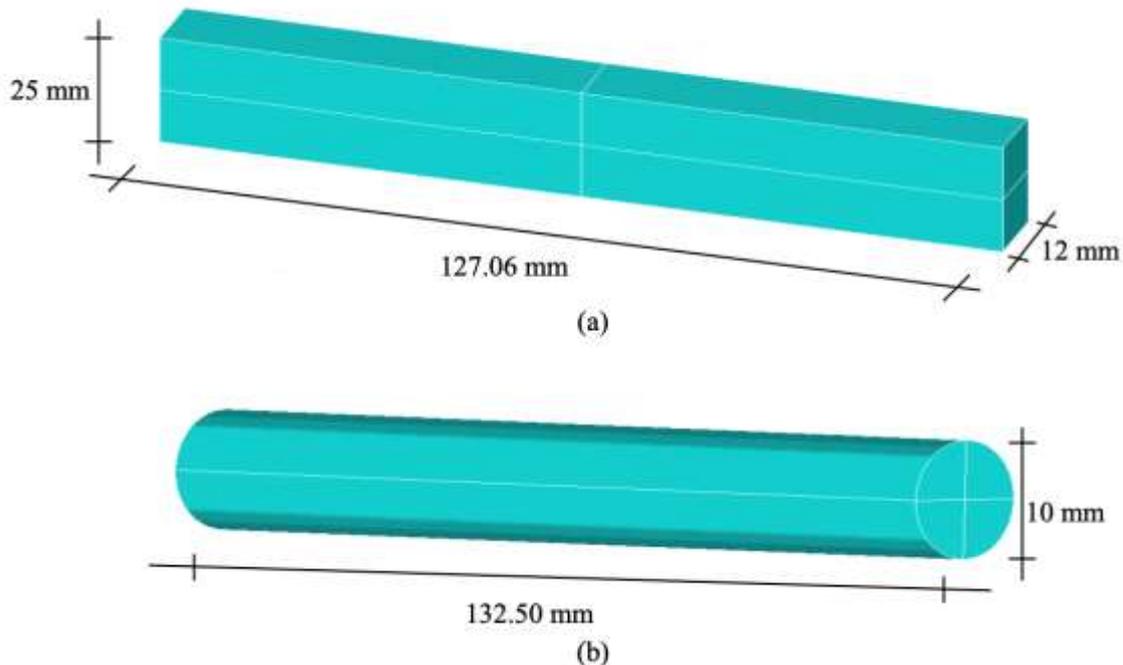
Gambar 3. Kurva-Kurva Tegangan-Regangan Teoritis: (A) Pelat Baja dan (B) Las Baja

Gambar 3 menunjukkan kurva-kurva tegangan-regangan untuk bahan-bahan penyusun spesimen sambungan 4A1 dan 5A1 yang dihasilkan dari prosedur dalam Gambar 2.

Simulasi Uji Tarik Baja

Kurva-kurva tegangan-regangan teoritis pelat dan las baja yang telah dibuat sebelumnya akan dibandingkan dengan kurva-kurva tegangan-regangan untuk bahan baja yang sama yang diperoleh dari simulasi uji tarik. Simulasi uji tarik baja dilakukan dengan menggunakan bantuan program ANSYS [4]. Hal pertama yang dilakukan dalam membuat simulasi adalah memodelkan geometri dari sampel pelat dan las baja. Gambar 4 menunjukkan geometri dari sampel pelat dan las baja. Penampang persegi digunakan untuk sampel pelat baja dan penampang lingkaran digunakan untuk sampel las. Sebagai catatan, untuk sampel las dipilih penampang lingkaran karena dalam praktek di lapangan terkadang dijumpai ukuran las yang terlalu kecil sehingga tidak memungkinkan untuk membuat

sampel dengan penampang persegi.

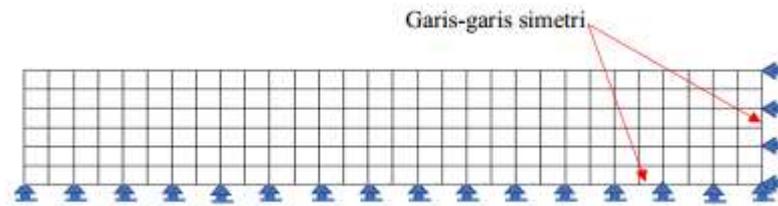


Gambar 4. Geometri Sampel Uji Tarik: (a) Pelat Baja dan (b) Las Baja

Sebagaimana terlihat dalam Gambar 4, karena alasan simetri di mungkin untuk memodelkan hanya seperempat bagian dari penampang pelat baja dan seperdelapan bagian dari penampang las baja. Sebagai catatan, pada bagian geometri sampel dimana fenomena “necking” diharapkan terjadi, dilakukan pengurangan tinggi sampel sebanyak 2% dari tinggi seharusnya. Setelah geometri sampel dimodelkan, hal kedua yang dilakukan adalah mendefinisikan karakteristik bahan-bahan yang akan diuji.

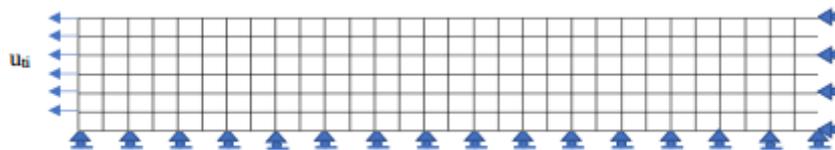
Modulus elastisitas baja yang digunakan adalah 210,000 MPa dengan perbandingan Poisson sebesar 0.3. Sampel pelat dan las baja diasumsikan memiliki modulus elastisitas dan perbandingan Poisson yang sama.

Hal ketiga yang dilakukan setelah pembuatan geometri dan penentuan karakteristik bahan adalah pemilihan tipe elemen hingga yang akan digunakan kemudian mengaplikasikan elemen tersebut pada geometri sampel dan dilanjutkan dengan proses pembagian elemen-elemen menjadi lebih kecil (meshing). Tipe elemen hingga yang digunakan adalah elemen tiga dimensi (3D) berbentuk persegi panjang dengan delapan (8) jumlah titik. Di dalam program ANSYS, elemen ini disebut SOLID185. Jenis integrasi numerik yang digunakan untuk elemen SOLID185 adalah “reduced selective integration.” Setelah proses pembagian elemen dilakukan, kondisi batas dapat diterapkan pada model. Gambar 5 menunjukkan hasil pembagian elemen dan penerapan kondisi batas pada model. Kondisi batas (perpindahan dan perputaran) hanya diterapkan pada garis-garis simetri.



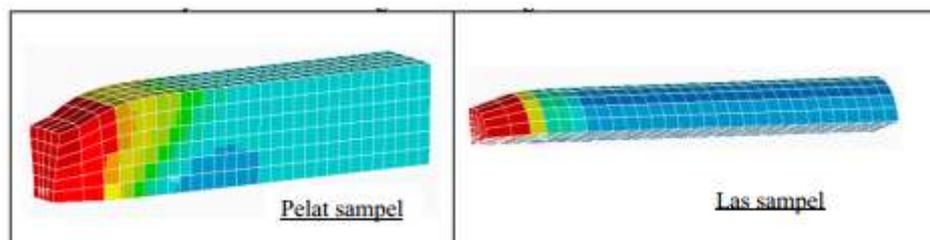
Gambar 5. Geometri dan Kondisi Batas yang Dipakai Dalam Permodelan

Langkah selanjutnya dalam permodelan adalah mengaplikasikan asumsi-asumsi untuk analisis dan penerapan beban pada sampel yang akan diuji. Untuk memodelkan ketidaklinieran bahan baja, digunakan kurva tegangan-regangan sebenarnya yang ditambah dengan pengerasan isotropik dan plastisitas “Von Mises” [5]. Untuk memodelkan ketidaklinieran dari geometri, dipakai analisis dengan perpindahan dan regangan yang besar. Metode integrasi numerik yang digunakan adalah metode iterasi “Newton Raphson” dengan penambahan waktu yang meningkat secara otomatis [6]. Untuk pembebanan, metode yang dipakai adalah “displacement control” di mana perpindahan diaplikasikan secara bertahap pada elemen-elemen hingga. Lokasi pembebanan pada sampel uji tarik ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Aplikasi Beban Dalam Permodelan

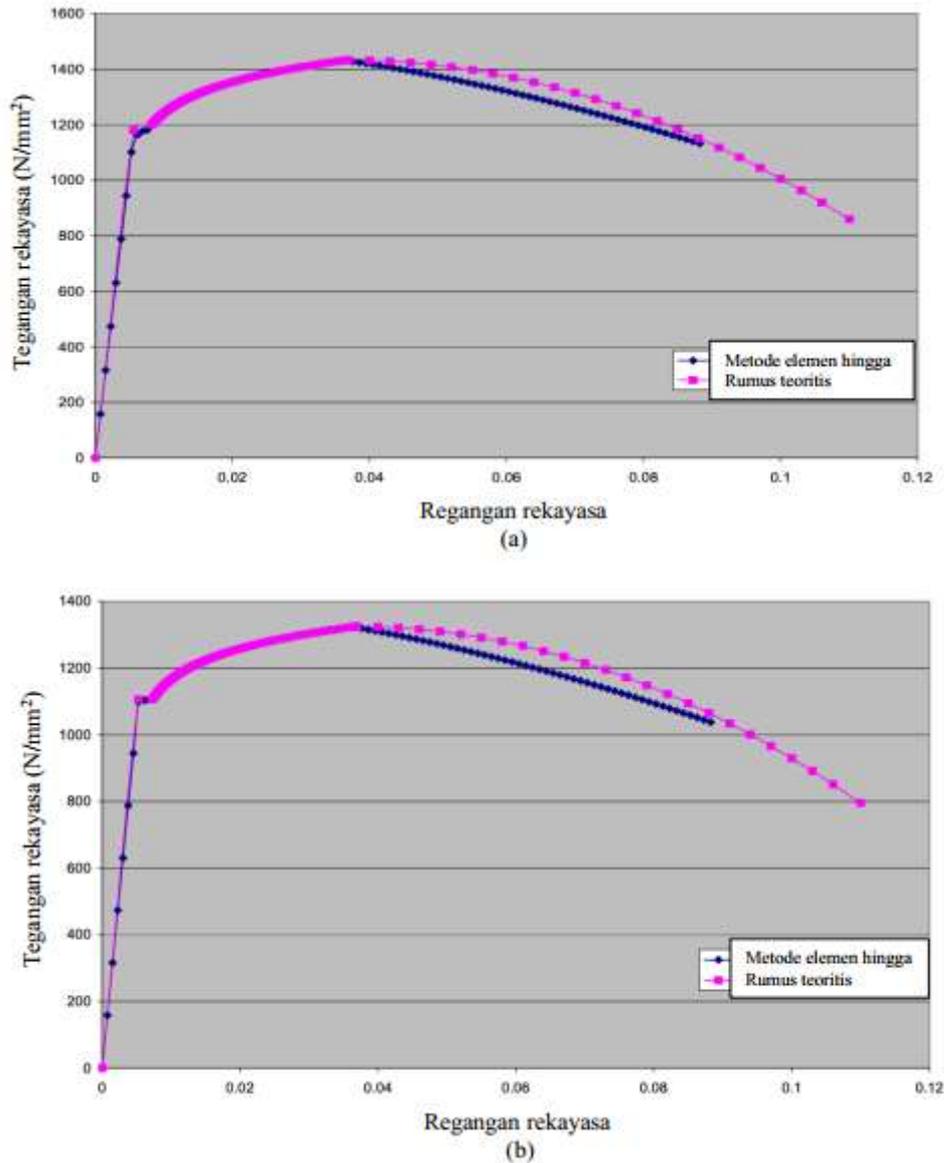
Setelah langkah-langkah diatas dilakukan, selanjutnya analisis numerik dapat dilakukan. Gambar 7 menunjukkan hasil perubahan geometri dan peta tegangan pada sampel uji tarik setelah analisis. Dapat terlihat dalam Gambar 7, fenomena “necking” yang terjadi pada salah satu ujung sampel baja. Sebagaimana diharapkan dari uji tarik baja, terlihat dengan jelas dalam Gambar 7 dimana bagian-bagian sampel disekitar “necking” memiliki tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan bagian-bagian sampel yang jauh dari lokasi tersebut.



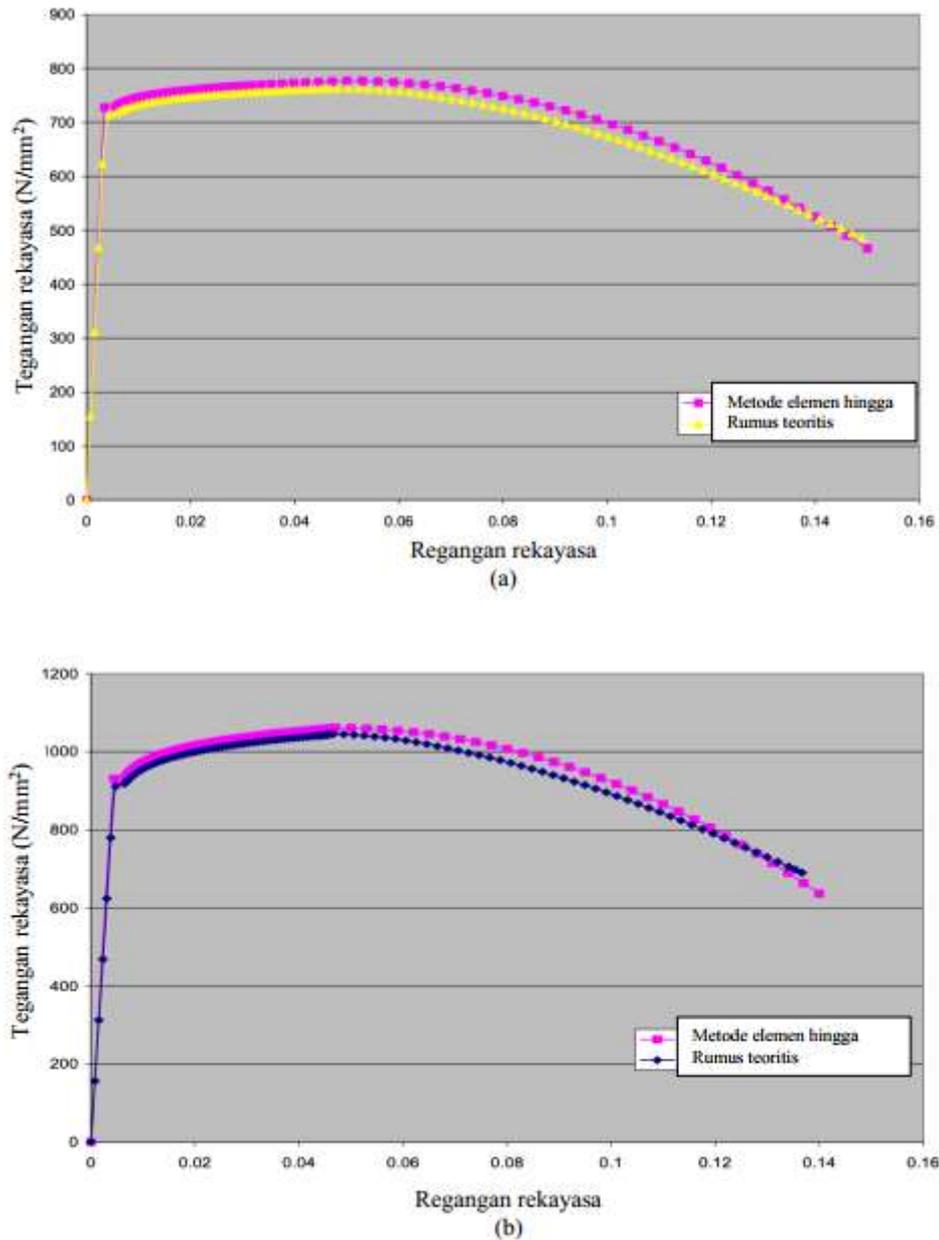
Gambar 7. “Necking Fenomena” Pada Sampel Pelat Baja dan Las Baja

Dari hasil analisis numerik, kurva-kurva tegangan-regangan rekayasa dapat digambarkan dan dibandingkan dengan kurva-kurva yang diperoleh dari persamaan teoritis. Gambar 8 dan 9 menunjukkan perbandingan antara kurva-kurva tegangan-regangan rekayasa dari hasil analisis numerik dan persamaan teoritis untuk sampel pelat dan las baja. Dari kedua gambar

tersebut, dapat dilihat adanya perbedaan yang sangat kecil antara kurva-kurva tersebut khususnya pada bagian elastis and bagian pengerasan regangan. Pada bagian yang menurun dari kurva-kurva tegangan-regangan dapat dilihat tegangan yang diperoleh dari analisis numerik lebih kecil dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan berdasarkan rumus teoritis namun perbedaan ini tidak terlalu penting.



Gambar 8. Perbandingan Kurva-Kurva Tegangan-Regangan Rekayasa: (a) Pelat Baja Dari Specimen Sambungan 4A1 dan (b) Pelat Baja Dari Spesimen Sambungan 5A1



Gambar 9. Perbandingan kurva-kurva tegangan-regangan rekayasa: (a) Las baja dari specimen sambungan 4A1 dan (b) Las baja dari spesimen sambungan 5A1

5. PENUTUP

Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil analisa numerik uji tarik baja dengan mutu 1100 MPa adalah sebagai berikut:

1. Indikasi mode kegagalan dalam uji tarik (“fenomena necking”) baja dapat disimulasikan dengan baik menggunakan analisa numerik dengan menggunakan elemen hingga tiga dimensi (3D).

2. Kurva-kurva tegangan-regangan sampel baja yang dihasilkan melalui analisa numerik sebanding dengan yang dihasilkan dari rumus teoritis.
3. Prosedur permodelan dan numerik analisis dalam artikel ini cukup mudah untuk dapat diterapkan dalam simulasi uji tarik baja dengan mutu yang berbeda-beda dan hasilnya dapat dikalibrasi dengan hasil eksperimen.
4. Artikel ini dapat dikembangkan untuk mempelajari sensitivitas dari penggunaan jumlah elemen hingga yang berbeda dan penggunaan tipe-tipe lain dari elemen hingga (elemenelemen dua dan tiga dimensi) terhadap kurva tegangan-regangan dan fenomena "necking".

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Standard, A. S. T. M. "E8/E8M, 2013." *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, DOI 10.*
- [2] Logan, Daryl L. *A first course in the finite element method.* Cengage Learning, 2011.
- [3] *Integrity of High Strength Steel Structures-Validation FEM analyses.* TNO Report 2005-BCS-R0446, February 2006.
- [4] Solutions, A. N. S. Y. S. "ANSYS Release 8. 1 Documentation."
- [5] Ugural, Ansel C., and Saul K. Fenster. *Advanced mechanics of materials and applied elasticity.* Pearson Education, 2011.
- [6] Byrne, Charles L. *Applied iterative methods.* Ak Peters/CRC Press, 2007.

Notasi

α_s	▪ koefisien yang digunakan dalam persamaan parabolic dari tegangan-regangan rekayasa berdasarkan posisi dari tegangan ultimit dan tegangan pada saat elemen mengalami kegagalan [].
ϵ	▪ regangan
ϵ_e	▪ regangan elastik
ϵ_{eng}	▪ regangan rekayasa
ϵ_{true}	▪ regangan sebenarnya
ϵ_u	▪ regangan ultimit
σ	▪ tegangan
σ_{eng}	▪ tegangan rekayasa
σ_{true}	▪ tegangan sebenarnya
np	▪ eksponen dalam rumus "power law"
u_i	▪ beban dalam bentuk perpindahan yang yang ditingkatkan perlahan-lahan pada saat simulasi uji tarik
K	▪ koefisien dalam rumus "power law"
R_e	▪ kuat leleh
R_m	▪ kuat ultimit