

Modeling Finite Element Pengujian Tarik ASTM E8 Menggunakan Pendekatann Numerikal Dan Eksperimental

Rai Krisna Darma Putra, I Nyoman Budiarsa dan I Made Parwata
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian penting yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik dari suatu bahan. Melalui uji tarik dapat di tentukan berbagai parameter penting yang menggambarkan perilaku material ketika diberikan pembebanan. Pendekatan karakteristik bahan melalui uji tarik selama ini banyak dilakukan secara eksperimental, namun secara eksplisit belum mampu memberikan nilai data diluar nilai standar tegangan yield, tegangan optimum dan tegangan patah. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini dilakukan untuk membandingkan nilai yang didapat dari eksperimental dan pendekatan numerikal melalui pemodelan finite element menggunakan Abaqus dynamic eksplisit Model dikembangkan berdasarkan sesuai bentuk spesimen ASTM E8. Dengan menambahkan sifat bahan (material propertis) dan nilai nilai tegangan-regangan plastic hasil eksperimental serta beban (load) , mesh dan syarat batas, kemudian model finite element disimulasikan dan dianalisis. Melalui analisis akurasi diperoleh pendekatan model adalah akurat dengan akurasi error $\leq 30\%$ dimana nilai young modulus baja ST40 sebesar 41.046 Gpa, tegangan yield 346.010 MPa, tegangan ultimate 417.100 MPa. Regangan yield 0.06, regangan ultimate 0.25. Sedangkan untuk pengujian secara numerikal mendapatkan nilai tegangan yield sebesar 272.982 MPa, tegangan ultimate 416.766 MPa. Regangan yield 0.04, regangan ultimate 0.24. Pada penelitian kali ini dapat disimpulkan bahwa pengujian tarik secara numerikal telah mendekati hasil pengujian tarik secara eksperimental.

Kata kunci: Baja ST 40, Uji tarik

Abstract

Tensile testing is one of the important tests carried out to determine the characteristics and mechanical properties of a material. Through tensile tests, various important parameters can be found that describe the behavior of the material when a load is applied. The approach to materials through tensile testing has so far been carried out experimentally, but has not been able to provide precise data values beyond the standard values of yield stress, optimum stress and fracture stress. Based on this, this research was carried out to compare the values obtained from experimental and numerical approaches through finite element modeling using the Abaqus dynamic explicit model developed based on the ASTM E8 specimen shape. By adding material properties and experimental plastic stress-strain values as well as load, mesh and boundary conditions, then the finite element model is simulated and analyzed. Through accuracy analysis, the approach model is obtained to be accurate with an error accuracy of $<30\%$ where the young modulus value of ST40 steel is 41,046 Gpa, yield stress is 346,010 MPa, ultimate stress is 417,100 MPa. Yield strain 0.06, ultimate strain 0.25. Meanwhile, for numerical testing, the yield stress value was 272,982 MPa, the ultimate stress was 416,766 MPa. Yield strain 0.04, ultimate strain 0.24. In this research it can be concluded that the numerical tensile testing has approached the experimental tensile testing results.

Keywords: ST 40 Steel, Tensile test

1. Pendahuluan

Pengujian tarik adalah salah satu metode penting dalam tes mekanik untuk mengetahui sifat-sifat material. Tes ini umumnya dilakukan karena mampu memberikan gambaran representatif mengenai perilaku mekanik material, seperti kekuatan, keuletan, dan ketangguhan [1]. Dalam pengujian ini, spesimen uji berbentuk standar, sesuai ASTM E8, ditarik dengan beban kontinyu, dan perubahan panjangnya diukur untuk menghasilkan kurva tegangan-regangan. Kurva tersebut memberikan informasi penting mengenai respon material terhadap pembebanan, seperti modulus elastisitas dan tegangan leleh, yang sangat berpengaruh terhadap desain dan penggunaan material dalam aplikasi teknik [2]

Seiring perkembangan teknologi, metode eksperimental pengujian tarik memerlukan biaya besar dan waktu yang lama, terutama untuk persiapan spesimen dan pengolahan data. Selain itu, terdapat

tantangan teknis seperti kegagalan spesimen yang terjadi di lokasi yang tidak diinginkan, seperti di pangkal atau ujung spesimen, sehingga hasil pengujian tidak optimal [3]. Oleh karena itu, metode numerik seperti (FEM), telah menjadi alternatif yang semakin banyak digunakan. Melalui simulasi komputer,

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan metode elemen hingga untuk pengujian tarik semakin populer karena mampu mensimulasikan deformasi elastis dan plastis material secara lebih komprehensif. Fleksibilitas metode ini memungkinkan analisis beragam kondisi pembebanan dan geometri spesimen. Pemodelan FEM juga memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai distribusi tegangan-regangan pada material, serta memungkinkan validasi terhadap hasil uji eksperimental [4]

Teknologi simulasi berbasis FEM, seperti yang diimplementasikan melalui software ABAQUS,

terus berkembang untuk memberikan hasil yang lebih cepat dan efisien, terutama dalam penelitian material baru. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk memodelkan pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E8 menggunakan (FEM) dengan bantuan software ABAQUS. Studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang reaksi material, serta validasi yang akurat antara hasil simulasi dan pengujian eksperimental, sehingga mampu meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam karakterisasi sifat mekanik material.

2. Landasan Teori

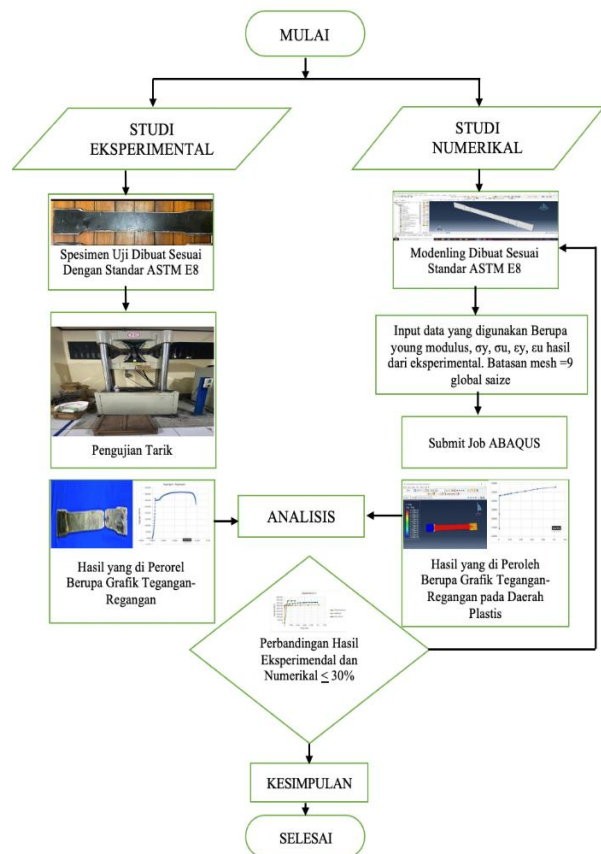
Pengujian tarik adalah tes untuk menentukan ketahanan tarik material dengan menerapkan gaya tarik pada material. Hasil yang didapat dalam tes ini adalah dalam bentuk kurva yang menunjukkan hubungan antara peningkatan panjang objek dan gaya yang diterima objek, tes ini menggunakan sampel standar ASTM E8/E8M.

Finite element method (FEM), atau metode elemen hingga adalah suatu metode analisis digital berdasarkan gagasan mengembangkan objek yang kompleks di beberapa bagian / elemen sederhana [5][6][7]. Dalam metode elemen hingga, alih-alih memecahkan seluruh masalah dalam suatu aktivitas, persamaan dilakukan untuk setiap elemen yang telah selesai dan menggabungkannya untuk mendapatkan solusi untuk semua elemen [7].

Program ABAQUS adalah salah satu program metode elemen hingga (*finite element method*) yang digunakan untuk mensimulasikan proses produksi komponen material dan untuk menganalisis resistensi material, kesimpulan dapat diambil dari hasil Perangkat lunak Abaqus menyediakan program yang dapat memodelkan objek yang dianalisis dalam CAE Program ini bertindak sebagai model desain di mana resistensi material dapat diimpor dari data material yang ada [8] [5]. Analisis lengkap FEM terdiri dari tiga langkah, yaitu: Pemrosesan, Simulasi dan Post-Prosesing.

3. Metode Penelitian

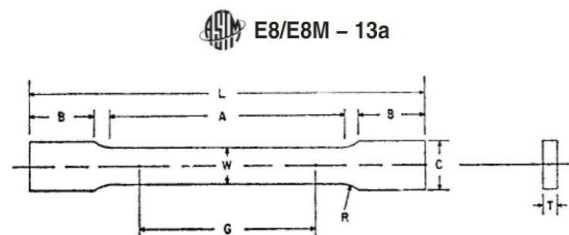
3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.1 Pengambilan Data Eksperimental

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai regangan-tegangan. Material yang digunakan merupakan baja ST40, dengan standar pemodelan menggunakan standar ASTM E8.



Gambar 3.2 Standar ASTM E 8

Tabel: 3.1 Spesifikasi Spesimen Uji

LO (mm)	A0 (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
450	225	40	5

3.2 Pemodelan Dengan Analisis Elemen Hingga (FEM)

Penelitian ini menggunakan FEM(finite elemen method) untuk menghitung nilai tegangan-regangan tarik pada spesimen dengan standar ASTM E8 dengan tipe pemodelan 3D, input nilai material

yang digunakan adalah hasil data dari pengujian tarik secara eksperimental [6] [1].

4. Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan hasil tes tarik beberapa profil baja yang dilakukan secara eksperimental dan numerik dengan Finite elemen hingga (FEM). Pengujian secara eksperimental dilakukan di laboratorium dengan mesin pengujian universal dan dibandingkan dengan hasil analisis digital dengan metode elemen hingga.

4.1 Pengujian Tarik Secara Eksperimental.

Pengujian tarik adalah salah satu tes yang dilakukan untuk mengkarakterisasi suatu material, dengan data yang di peroleh berupa tegangan dan regangan tarik.



Gambar 4.1 Spesimen Uji Tarik Baja ST 40 Standar ASTM E8



Gambar 4.2 Spesimen Uji Tarik Setelah Melakukan Pengujian

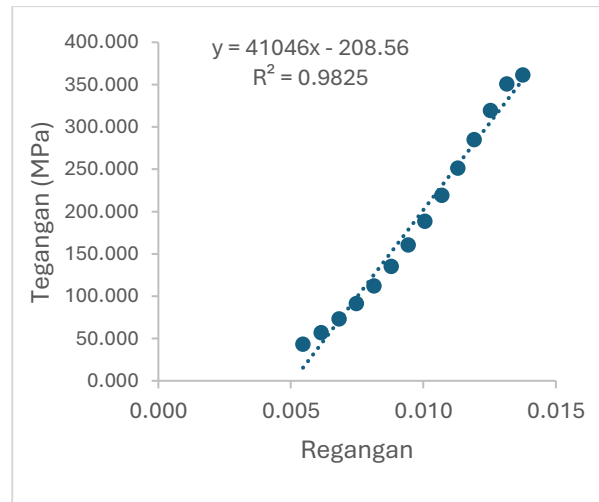
4.1.1 Young Modulus

Young modulus atau modulus elastisitas adalah kemampuan suatu material menahan deformasi elastis. Semakin besar nilai modulus ini maka semakin kecil regangan yang terjadi.

$$E = \frac{\text{tegangan } (\sigma)}{\text{regangan } (\epsilon)} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{L_0}} = \frac{F \cdot L_0}{A \cdot \Delta l}$$

$$E = 41.046 \text{ GPa}$$

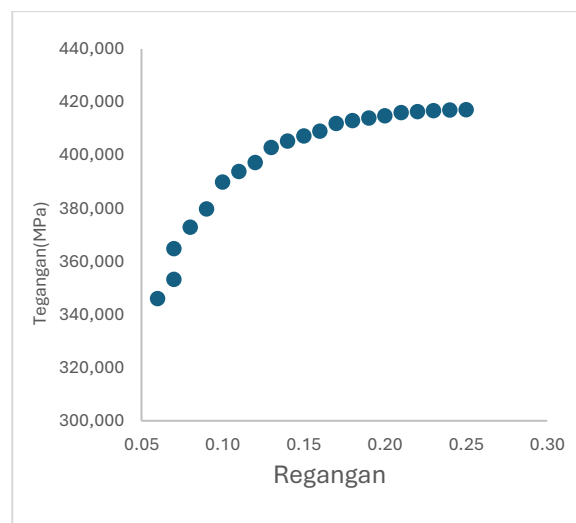
Nilai young modulus yang didapat dari hasil pengujian tarik adalah 41.046 GPa.



Gambar 4.3 Tipikal Grafik Young Modulus

4.1.2 Tegangan-Regangan

Tegangan tarik maksimum adalah tegangan maksimum yang bekerja pada suatu material sebelum terjadinya patahan. Regangan adalah perubahan panjang bahan dibagi panjang awal akibat gaya tarik ataupun gaya tekan pada bahan.

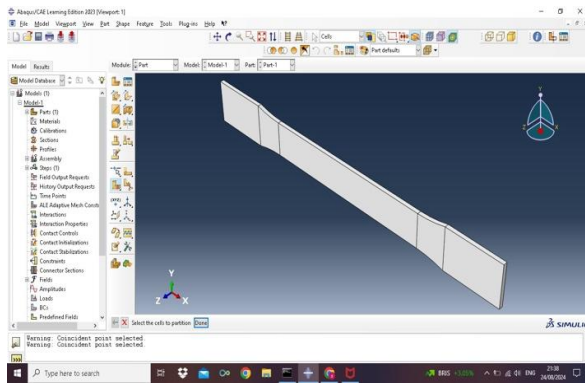


Gambar 4.4 Tipikal Grafik plastic Stress-Strain Baja ST40 Secara Eksperimental

4.2 Analisis Pengujian Tarik Secara Numerikal

4.2.1 Module Part

Pada pemodelan untuk spesimen uji yang digunakan menggunakan standar ASTM E8. Pada module part ini menggunakan Modeling space 3D, Type Deformabel, Shape Solid dengan type Extrusion.



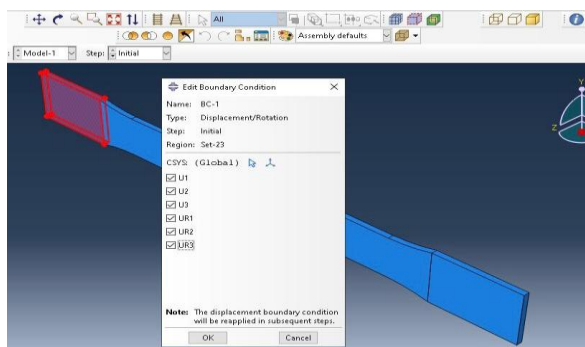
Gambar 4.5 Pemodelan 3D Spesimen Uji Dengan Standar ASTM E8

4.2.2 Module Property

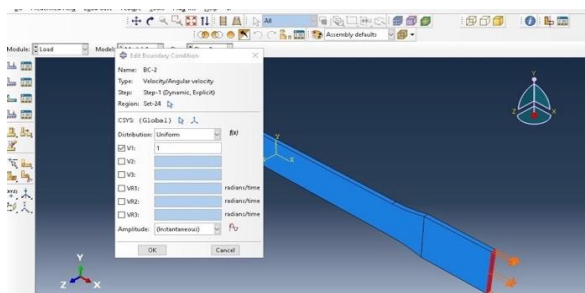
Pada module property data-data hasil analisis pengujian tarik secara eksperimental tersebut di input kedalam software untuk melakukan analisis secara numerikal. Input yang digunakan adalah young modulus 2,62 GPa, tegangan yeild 349.770 MPa, tegangan ultimate 417.100 MPa regangan yeild 0.064, regangan ultimate 0.259

4.2.3 Module Load

Pada module load ini pemilihan pembebanan sangat berpengaruh terhadap hasil yang didapat. BC 1 menggunakan Displacement/Rotation sedangkan BC 2 menggunakan Velocity/angular velocity



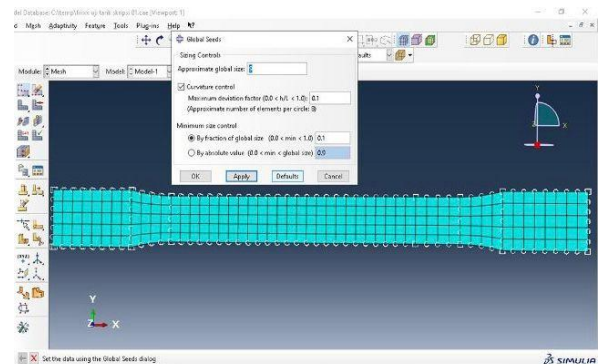
Gambar 4.6 Module Load BC 1



Gambar 4.7 Module Load BC 2

4.2.4 Module Mesh

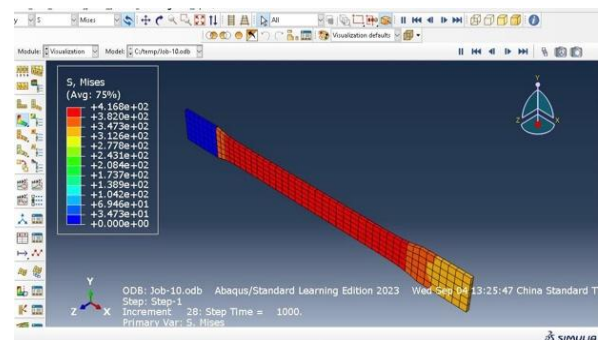
Pada module mesh ini mesh yang digunakan adalah Approximate global size yaitu 9. Dengan type Element library-Standar, Geometric Order-Linear, Family-3D Stress



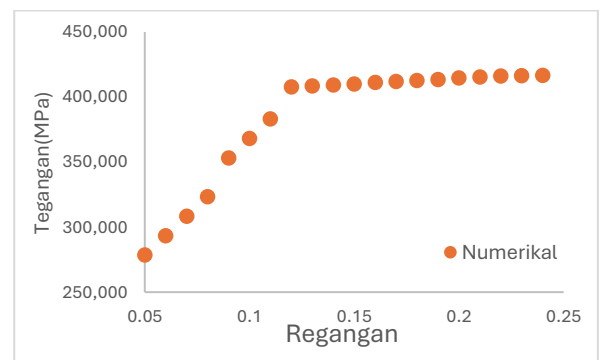
Gambar 4.8 Module Mesh

4.2.5 Hasil Pengujian Tarik

Bisa dilihat pada gambar 4.10 terlihat hasil pengujian tarik Baja ST40 mempunyai tegangan maximum nya 416.766 MPa dan regangan maksimum nya 0.24. sedangkan tegangan yelid 272.982 dan regangan yeild 0.0013.

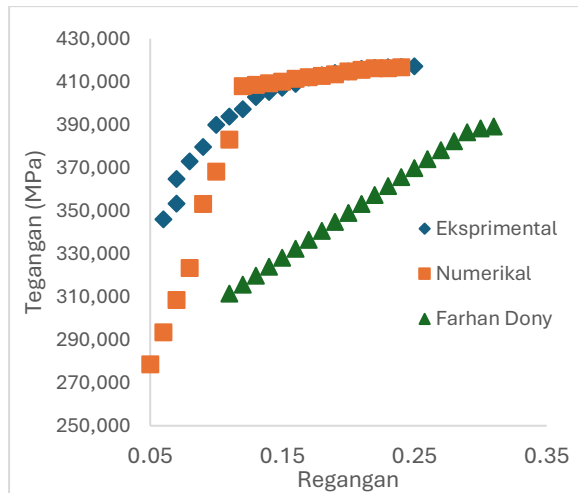


Gambar 4.9 Hasil Pengujian Tarik Secara Numerikal



Gambar 4.10 Tipikal grafik Plastic Stres-Strain Baja ST40 secara numerikal

4.3. Perbandingan Hasil Analisis Numerikal Dengan Eksperimental



Gambar 4.11 Tipikal perbandingan Grafik Stress-Strain Hasil Analisis Pengujian Secara Eksperimental, Numerikal, dan Publik Riport

Tabel 4.1 Akurasi Error Tegangan Baja ST40

	Tegangan	selisih	Akurasi Eror %
Eksperimental	417.100	334	0.08
Numerikal	416.766		
Eksperimental	417.100	27.900	6.68
Publis riport	389.200		
Numerikal	416.766	27.566	6.61

Tabel 4.2 Akurasi Error Regangan Baja ST40

	Regangan	selisih	Akurasi Erør %
Eksperimental	0.25	0.01	4
Numerikal	0.24		
Eksperimental	0.25	0.06	24
Publis riport	0.31		
Numerikal	0.24	0.07	29

Perbandingan antara hasil numerikal dan eksperimental memiliki perbedaan yang serupa, dimana keduanya memiliki tegangan-regangan yang hampir sama, bisa dilihat pada tabel 4.1 menunjukkan tegangan secara eksperimental = 417.100, numerikal = 416.766 mempunyai akurasi error = 0.08% dan tabel 4.2 menunjukkan regangan secara eksperimental = 0.25, secara numerikal = 0.24 mempunyai akurasi error = 4%. Sedangkan perbandingan antara hasil eksperimental dengan publish riport mempunyai

perbedaan yang cukup besar, bisa dilihat pada tabel 4.1 menunjukkan tegangan secara eksperimental = 417.100, publis riport = 389.200 mempunyai akurasi error = 6.68% dan tabel 4.2 menunjukkan regangan secara eksperimental = 0.25, publis riport = 0.31 mempunyai akurasi error = 24%. Perbandingan akurasi error dari hasil eksperimental dan publis riport $\geq 30\%$. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah faktor ketelitian alat uji, kegagalan spesimen uji, cara pembuatan spesimen ataupun kepadatan molekul penyusun pada baja.

Sedangkan perbandingan antara hasil uji secara numerikal dengan publis riport mempunyai perbedaan yang cukup jauh dimana bisa dilihat pada tabel 4.1 tegangan secara numerikal = 416.766, publis riport 389.200 dan mempunyai akurasi error 6.61% sedangkan pada tabel 4.2 menunjukkan regangan secara numerikal = 0.24, publis riport 0.31 dengan akurasi error 29 %. Hal ini memiliki beberapa faktor yaitu faktor mesh pada spesimen.

5. Kesimpulan

1. Metode elemen FEM digunakan untuk membangun model simulasi dari standar ASTM E8 berbentuk hexahedrons untuk mensimulasikan respon dinamis terhadap beban tarik. Variabel seperti beban tarik, karakteristik material dimasukkan dalam simulasi untuk mewakili struktur material.
2. Pemodelan dengan finite elemen modeling (FEM) dilakukan untuk mengetahui tegangan-regangan tarik pada kondisi plastis dengan menggunakan data properti baja ST40 sebagai kondisabatas dengan $E = 2.62 \text{ GPa}$, $\nu = 0.13$, $\sigma_y = 349.770 \text{ MPa}$, $\sigma_u = 417.100 \text{ MPa}$, $\epsilon_y = 0.064$, $\epsilon_u = 0.259$. Dengan menggunakan Displacement/Rotation dan Velocity/angular velocity. Mesh yang digunakan adalah Approximate global size yaitu 9 dengan type Element library-Standar, Geometric Order-Linear, Family-3D Stress. Hasil yang didapat adalah $\sigma_u = 416.766 \text{ MPa}$ dan regangan maksimum $\epsilon_u = 0.24$. sedangkan tegangan yelid $\sigma_y = 272.982$ dan regangan yelid $\epsilon_y = 0.0013$. Hasil simulasi juga dapat memberikan distribusi tegangan-regangan secara rinci, yang membantu dalam analisis material lebih lanjut.
3. Pembuatan geometri, kondisi batas, sifat material dan pemberian beban awal digunakan sebagai masukan awal simulasi FEM dan hasilnya berupa nilai tegangan-regangan tarik pada kondisi plastis sebagai perbandingan dengan hasil eksperimental, dan dinyatakan valid apabila akurasi error $\leq 30\%$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ferdiyanto David. (2011) 'Pengaruh Elemen dan Jumlah Nodal Pada Pemodelan Uji Tarik

Pelat Isotropik Dengan Pembebanan Uni-Aksial Menggunakan metode Elemen Hingga’, Skripsi Universitas Indonesia.

- [2] Optimization on strength spot welding joint trough finite element modelling indentation approach IN Budiarsa, IM Astika, ING Antara, IMG Karohika IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 539 (1), 012042
- [3] Mulyadi Santoso. (2011) ‘Analisa Tegangan-Regangan Produk Tongkat Lansia dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga’, Jurnal ROTOR, Vol.4No.1
- [4] Haris Abdul, I Nyoman Budiarta & I Made Parwata. (2015) ‘Perbandingan Uji Tarik Metode Eksperimental dan Numerik pada Baja ST37 dan SS304’ Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Available at: simdos.unud.ac.id
- [5] Abaqus Analysis User’s Manual 6.9 Dassault Systems SimuliaCorp., Providence, RI, USA.
- [6] Ahmed Ali. (2014) ‘Modeling Of a Reinforced concrete beam subjected to impact vibration using ABAQUS’, International Journal Of Civil And Structural Engineering, Vol.3 No.4.
- [7] Identification Plastic Properties of Spot Welded Joints Using the Instrumented Indentation Technique IN Budiarsa, ING Antara, IMG Karohika, IW Widhiada, NL Watiniasih IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 811 (1), 012020
- [8] Indentation Size Effect of the Vickers Indentation to Improve the Accuracy of Inverse Materials Properties Modelling Based on Hardness Value IN Budiarsa, ING Antara, IMG Karohika IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 248 (1), 012009



Prof. Ir. I Nyoman Budiarsa, M.T., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. Menyelesaikan Sarjana dan Magister di bidang Teknik Mesin di Universitas Udayana dan ITS Surabaya. Menyelesaikan Ph.D di Liverpool John Moores University. UK tahun 2013 di bidang *Mechanical engineering Materials* dan sampai sekarang aktif dalam penelitian, terutama dalam bidang *Welding engineering, FEM, Materials characterization, simulated based on instrumented indentation* serta *Corrosion inhibitor*.



Dr. I Made Parwata, ST., MT. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di ITS. Pendidikan S3 diselesaikan di ITB pada tahun 2012. Bidang riset yang ditekuni adalah bidang tribologi meliputi mekanika kontak, keausan, gesekan, *lubrication* dan *atomization spray*.



Rai Krisna Darma Putra menyelesaikan sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2025. Memiliki ketertarikan pada bidang Rekayasa Manufaktur

Judul tugas akhir Modeling Finite Element Pengujian Tarik ASTM E8 Menggunakan Pendekatan Numerikal & Eksperimental.