

**STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL
DISTRIBUSI TEGANGAN-REGANGAN BAJA**
*(Numerical and Experimental Study on Stress and Strain Distribution
of The Steel Materials)*

Ahmad Agus Salim, Ming Narto Wijaya, Lilya Susanti
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: agusxcn@gmail.com

RINGKASAN

Dewasa ini jumlah pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang mengalami peningkatan yang sangat pesat. Baja adalah salah satu material konstruksi yang sangat banyak digunakan di seluruh dunia untuk pembangunan infrastruktur. Dalam perencanaan suatu infrastruktur menggunakan baja seorang *engineer* harus mampu mendesain secara optimal dengan berbagai analisis yang dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian material baja untuk mengetahui karakteristiknya, sehingga perencanaan suatu struktur dapat dilakukan dengan optimal. Pengujian baja dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti halnya dilakukan pengujian secara eksperimental di laboratorium maupun dengan analisis numerik menggunakan *software*. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk analisis numerik pengujian material adalah ABAQUS CAE. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa pengujian spesimen uji baja yang dilakukan secara eksperimental di laboratorium dari hasil uji tarik dengan *Universal Testing Machine* dan data dari *strain gauge* dibandingkan dengan analisis numerik menggunakan *software* ABAQUS tidak jauh berbeda, meliputi data grafik tegangan-regangan baja yang didapat dari hasil eksperimental dan analisis numerik menggunakan ABAQUS hampir sama serta distribusi tegangan-regangan yang ditampilkan pada elemen baja hasil analisis numerik ABAQUS menunjukkan kondisi yang sama pada pengujian eksperimental dimana tegangan-regangan tertinggi pada ABAQUS menunjukkan bagian yang mengalami patah pada kondisi sebenarnya benda uji.

Kata Kunci: material konstruksi, baja, pengujian secara eksperimental, analisis numerik dengan ABAQUS

ABSTRACT

The number of infrastructure development in Indonesia is experiencing rapid growth at this time. Steel is one of the most widely used construction materials around the world for infrastructure development. In planning an infrastructure using steel an engineer must be able to design optimally with various analyzes performed. Therefore, it is necessary to test the steel material to know its characteristics, so the planning of a structure can be done optimally. Steel testing can be done in various ways, as well as experimental testing in the laboratory or by numerical analysis using software. One of the software that can be used for numerical analysis of material testing is ABAQUS CAE. From the results of this study it was found that testing specimens of steel performed experimentally in the laboratory from tensile test results with Universal Testing Machine and data from strain gauge that compared with numerical analysis using ABAQUS software is not much different, including data of steel stress-strain graph that obtained from experimental and numerical analysis using ABAQUS are almost identical, as well as stress-strain distributions shown on the steel elements from ABAQUS numerical analysis show similar conditions with experimental testing where the highest stress-strain on ABAQUS shows the fractured part on the actual condition of the specimen.

Keywords: construction material, steel, experimental testing, numerical analysis with ABAQUS

PENDAHULUAN

Dewasa ini jumlah pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang mengalami peningkatan yang sangat pesat. Pemilihan alternatif penggunaan bahan material dan teknologi sangat bergantung pada perencanaan dan pelaksanaan teknis. Baja adalah salah satu material konstruksi yang sangat banyak digunakan di seluruh dunia untuk pembangunan infrastruktur. Baja menjadi salah satu pilihan yang sangat baik dari sudut pandang keuntungan dan sifat bahan dibandingkan dengan bahan material lainnya.

Dalam perencanaan suatu infrastruktur menggunakan baja seorang *engineer* harus mampu mendesain secara optimal dengan berbagai analisis yang dilakukan. Perlu dilakukan pengujian material baja untuk mengoptimalkan perencanaan. Salah satu cara untuk mengetahui sifat mekanik baja adalah dengan dilakukannya Pengujian Tarik atau *Tensile Test*. Dari hasil pengujian tarik akan didapatkan nilai kekuatan baja sehingga dapat melakukan perencanaan infrastruktur yang sesuai dengan karakteristik material.

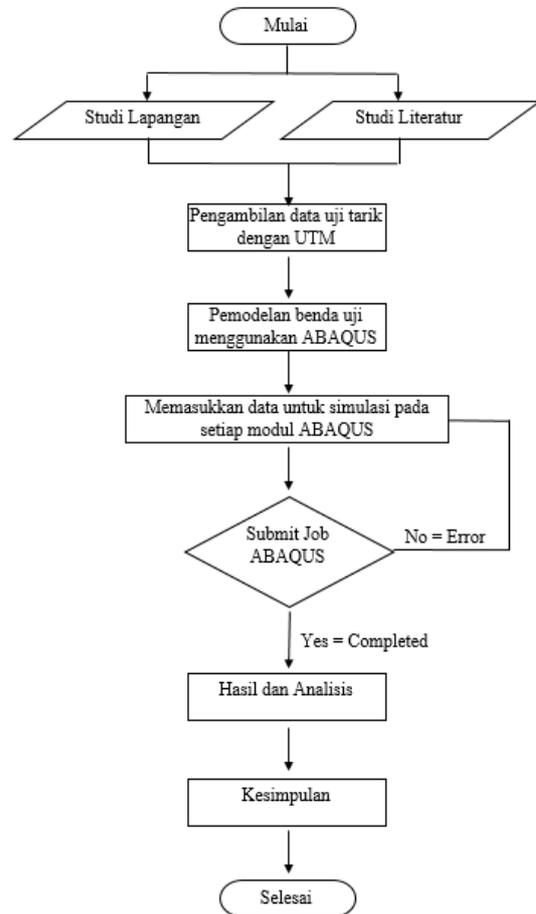
Selain itu, dari hasil pengujian tarik juga akan didapatkan diagram tegangan-regangan yang terjadi. Diagram tegangan-regangan tersebut adalah gambaran dari proses pembebanan yang diberikan pada material baja mulai dari awal penarikan hingga baja putus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibahas tentang tegangan-regangan pada beberapa titik sepanjang elemen baja dan distribusi tegangan disepanjang elemen baja akibat uji tarik.

METODE PENELITIAN

Adapun profil baja yang diuji secara eksperimental meliputi:

1. Light Lip Channels 125.50.20.2,3
2. Siku Sama Kaki 60.60.6
3. Hollow Structural Tubings 100.50.3,2
4. WF 200.100.5,5.8
5. Plat tebal 8 mm

dengan dimensi spesimen uji sesuai dengan ASTM E8/E8M-09. Studi numerik dilakukan dengan *software* ABAQUS.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian tarik secara eksperimental dari pembacaan nilai *strain gauge* didapatkan nilai elastisitas baja sebagai berikut.

Tabel 1 Nilai Elastisitas Baja

Benda Uji	Bagian	Nomor	E (N/mm ²)	
			Tengah	Tepi
Plat	Flens	1	162087	-
	Flens	2	178996	-
	Web	1	192548	185903
	Web	2	190890	258065

Benda Uji	Bagian	Nomor	E (N/mm ²)	
			Tengah	Tepi
Hollow	Flens	1	172186	-
	Flens	2	155845	-
	Flens	3	155251	-
	Flens	4	163953	-
	Web	1	145773	192901
WF	Flens	1	146067	-
	Flens	2	172843	-
	Web	1	211686	172201
	Web	2	199026	195185
Siku	Flens	1	136081	-
	Flens	2	123274	-
Canal	Web	1	199582	-
	Web	2	195133	-
	Web	3	140109	193515
	Web	4	188348	109718

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, modulus elastisitas dari baja sebesar 200000 Mpa. Dari hasil pengujian di atas, didapat nilai modulus elastisitas yang bervariasi. Namun, secara keseluruhan mendekati nilai teoritis sesuai standar SNI 03-1729-2.

Selain nilai elastisitas, didapat pula nilai kuat leleh dan kuat tarik baja yang didapat dari pembacaan grafik tegangan-regangan yang dihasilkan dari UTM.

Tabel 2 Kuat Leleh dan Kuat Tarik Baja

Benda Uji	Bagian	Nomor	Hasil Pengujian	
			Kuat Leleh (N/mm ²)	Kuat Tarik (N/mm ²)
Plat	Flens	1	293,522	425,101
	Flens	2	327,742	443,416

Benda Uji	Bagian	Nomor	Hasil Pengujian	
			Kuat Leleh (N/mm ²)	Kuat Tarik (N/mm ²)
Plat	Web	1	303,226	477,419
	Web	2	306,452	461,290
Hollow	Flens	1	312,500	368,590
	Flens	2	334,110	365,190
	Flens	3	361,068	392,465
	Flens	4	325,521	374,349
WF	Web	1	350,000	425,000
	Flens	1	371,094	444,336
	Flens	2	371,094	449,219
	Web	1	452,586	521,552
Siku	Web	2	413,793	495,690
	Flens	1	312,101	496,524
Siku	Flens	2	378,788	539,044
	Canal	Web	1	217,391
Web		2	227,273	318,182
Web		3	238,636	318,182
Web		4	244,318	329,545

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, material baja struktural dikelompokkan menjadi beberapa mutu sebagai berikut.

Tabel 3 Mutu Baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: SNI 03-1729-2002

Berdasarkan Tabel 3 di atas, dapat diketahui bahwa profil plat, hollow, WF, dan siku termasuk dalam mutu baja BJ 41 dan profil canal termasuk dalam mutu BJ 37, walaupun dari data pada Tabel 3 terlihat bahwa beberapa profil tidak

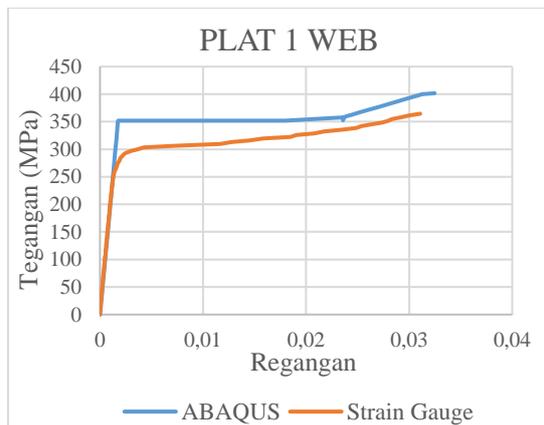
mencapai nilai tegangan putus minimum dan tegangan leleh minimum. Hal ini dikarenakan profil yang digunakan sebagai spesimen uji adalah bukan profil baru, melainkan profil yang pernah dipakai di lapangan sehingga kekuatan dari profil sudah berkurang karena berbagai faktor seperti korosi, beban yang pernah diterima, dan lain sebagainya.

Pada pemodelan spesimen uji menggunakan ABAQUS, digunakan data material seperti pada Tabel 4 berdasarkan Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal baja.

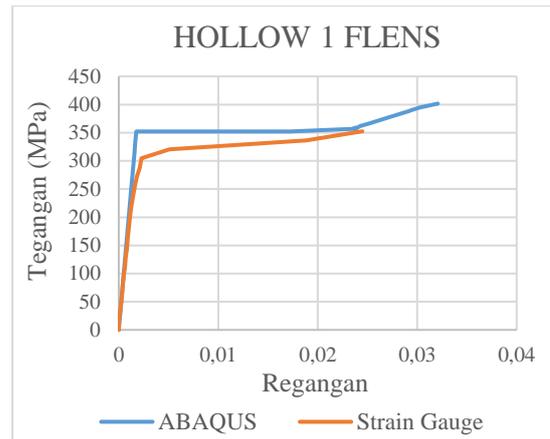
Tabel 4 True Stress dan True Strain

Mutu Baja	True Strain	True Stress
BJ 37	0,013903	243,36
	0,029559	360,5
BJ 41	0,020783	352,245
	0,029559	401,7

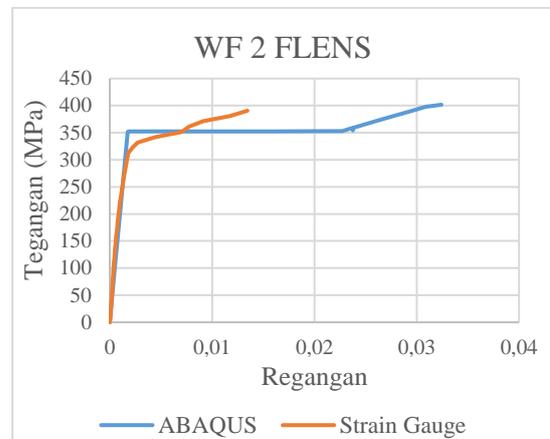
Berikut merupakan hasil analisis eksperimental dan numerik pengujian tarik dengan UTM dan ABAQUS dari beberapa profil.



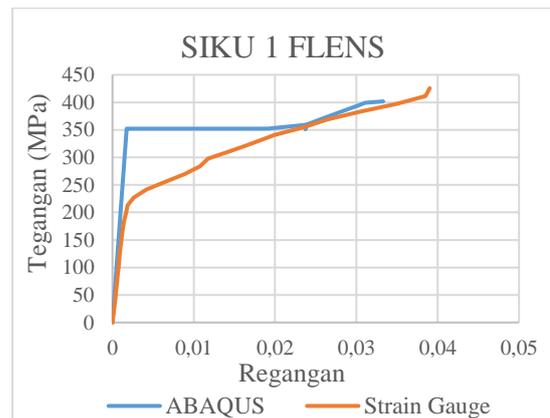
Gambar 2 Diagram Tegangan-Regangan Plat 1 Web



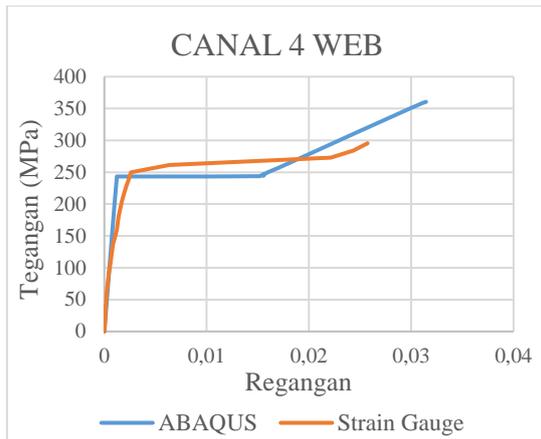
Gambar 3 Diagram Tegangan-Regangan Hollow 1 Flens



Gambar 4 Diagram Tegangan-Regangan WF 2 Flens

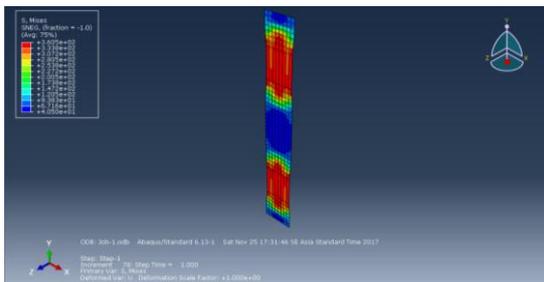


Gambar 5 Diagram Tegangan-Regangan Siku 1 Flens



Gambar 6 Diagram Tegangannya-Regangan Canal 4 Web

Dari beberapa grafik di atas, dapat dilihat bahwa hasil antara pengujian baja secara numerik menggunakan ABAQUS dan pengujian secara eksperimental menggunakan UTM dengan *strain gauge* memiliki hasil yang serupa. Beberapa diantara memiliki nilai tegangan maksimum yang dihasilkan lebih rendah dari nilai teoritis (ABAQUS) karena mutu baja memang kurang dari mutu baja teoritis. Nilai regangan yang dihasilkan dari uji tarik secara eksperimental untuk beberapa profil tidak sebesar nilai regangan teoritis, hal ini dikarenakan pemasangan *strain gauge* yang tidak tepat pada bagian yang mengalami regangan maksimum (bagian yang mengalami putus).



Gambar 7 Distribusi Tegangan-Regangan Hollow 1 Web

Spesimen uji yang digunakan sesuai standar ASTM dalam analisis abaqus dianggap sebagai elemen yang panjang, hal ini ditunjukkan pada Gambar 7 di atas bahwa bagian yang mengalami tegangan dan regangan tertinggi berada dekat

dengan tumpuan bukan terjadi pada tengah bentang.

Gambar 7 di atas menunjukkan distribusi tegangan-regangan baja yang terjadi akibat uji tarik. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa tegangan-regangan terbesar terjadi pada $\pm 1/4$ bentang. Kondisi ini menunjukkan kondisi yang sama dengan hasil uji tarik menggunakan UTM yang menyebabkan rata-rata spesimen uji mengalami putus pada $\pm 1/4$ bentang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan diagram tegangan-regangan hasil pengujian tarik spesimen uji baja untuk beberapa jenis profil sebagai berikut:

1. Grafik tegangan-regangan untuk beberapa jenis profil baja yang diuji tidak berbeda jauh dengan grafik tegangan-regangan baja teoritis.
2. Diagram tegangan-regangan baja mencakup daerah elastis, daerah leleh, daerah *strain hardening*, bagian beban puncak, daerah *necking*, dan titik putus.
3. Beberapa yang terlihat berbeda terletak pada daerah leleh. Sebagian profil baja dengan fase leleh yang cepat, dan sebagian lagi mengalami fase leleh cukup lama. Hal ini dipengaruhi oleh mutu baja, dimana mutu baja semakin tinggi memiliki sifat lebih getas sehingga fase leleh hanya terjadi sebentar saja. Dalam kasus ini dapat dikatakan bahwa setiap profil baja memiliki karakteristik diagram tegangan-regangan masing-masing.

Dari hasil uji eksperimental dengan *strain gauge* dan analisis menggunakan *software* ABAQUS didapatkan beberapa hasil sebagai berikut:

1. Perbedaan yang cukup terlihat pada grafik tegangan-regangan, dimana hasil secara numerik memiliki grafik yang cukup kasar. Hal ini

dikarenakan *input data true strain* dan *true stress* hanya 3 bagian saja yaitu awal leleh, akhir leleh, dan tegangan puncak.

2. Tegangan puncak dan regangan total yang hampir serupa, dengan catatan bahwa eksperimental dilakukan dengan baik.
3. Beberapa spesimen uji yang memiliki perbedaan yang besar antara eksperimental dan numerik disebabkan karena pada pelaksanaan pengujian secara eksperimental terjadi beberapa kesalahan, seperti *strain gauge* yang lepas sebelum beban puncak, perbedaan letak analisis di ABAQUS dengan pengambilan tegangan maksimum pada daerah $\pm 1/4$ bentang namun pada eksperimental *strain gauge* terletak di tengah bentang, dan lain sebagainya.

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat beberapa kelebihan dan kekurangan pada pengujian eksperimental dan analisis numerik sebagai berikut:

1. Pengujian secara eksperimental lebih tepat untuk mengetahui karakteristik spesimen uji karena pengujian langsung dilakukan pada keadaan sebenarnya spesimen uji, sehingga hasil pada spesimen uji yang baik ataupun dengan beberapa cacat akan terlihat dengan jelas perbedaannya. Namun, banyak faktor kesalahan yang bisa terjadi pada pengujian eksperimental, seperti *strain gauge* tidak terpasang dengan baik, kesalahan pembacaan, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, pada pengujian ini harus dilakukan dengan sangat baik dan benar untuk mendapatkan hasil yang tepat.
2. Pengujian secara numerik akan menghasilkan data yang tepat karena faktor kesalahan dapat diminimalkan, namun tidak dapat mewakili secara pasti untuk keadaan spesimen uji sebenarnya karena semua elemen

pada analisis ini dianggap dalam keadaan baik tanpa cacat sedikitpun.

Pada dimensi spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini dianggap sebagai elemen yang panjang dalam ABAQUS, dapat dilihat bahwa tegangan-regangan maksimum terjadi cukup dekat dengan tumpuan, bukan terjadi pada tengah bentang. Hal ini sesuai dengan kondisi sebenarnya dimana rata-rata spesimen uji mengalami putus pada daerah $\pm 1/4$ bentang.

Saran yang bisa diberikan sebagai berikut:

1. Penggunaan profil baja yang baru sebagai spesimen uji akan lebih efektif karena belum terpengaruh oleh korosi, beban luar, dan lain sebagainya sehingga spesimen masih sesuai dengan standar mutu yang ada.
2. Pemasangan *strain gauge* sangat berpengaruh dengan data tegangan-regangan yang dihasilkan, sehingga harus dilakukan dengan baik dan benar agar kesalahan pada pembacaan dapat diminimalkan.
3. Ketepatan pada pemasangan *strain gauge* yang sama di bagian spesimen uji dengan bagian yang akan dianalisis pada ABAQUS sangat diperlukan agar hasil pada ABAQUS mendekati kondisi sebenarnya.
4. Pengambilan nilai *Poisson's Ratio* untuk spesimen uji perlu dilakukan agar mutu dan karakteristik spesimen uji lebih diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus Analysis User's Manual 6.9.
Dassault Systems Simulia Corp.,
Providence. RI. USA
- ASTM E8/E8M – 09. 2009. “Standard
Test Methods for Tension Testing of
Metallic Materials”.
- D Cook, Robert. 1990. *Konsep dan
Aplikasi Metode Elemen Hingga*.
Terjemahan Ir. Bambang
Suryoatmono. Bandung: PT
ERESCO.
- Gere, J.M., Timoshenko. 1997. *Mekanika
Bahan – Terjemahan Jilid 1*. Jakarta:
Erlangga.
- Marciniak, Z., et al. 2002. “Mechanics of
Sheet Metal Forming”, Butterworth-
Heinemann, London.
- Mondelson. 1983. *Plasticity: Theory and
Application*. Publishing Companies,
Florida
- Rao, P.N. 1987. *Manufacturing
Technology: Foundry, Forming and
Welding*. McGraw-Hill Publishing
Company Limited, New Delhi
- Singer, F.L., dan Andre Pytel. 1995. *Ilmu
Kekuatan Bahan (Teori Kokoh -
Strength of Material)*. Alih Bahasa
Darwin Sebayang, edisi II. Jakarta:
Erlangga.
- Timoshenko, S dan Goodier J.N. 1986.
Teori Elastisitas. Jakarta: Erlangga.