

SKRIPSI

**ANALISIS KEKUATAN MEKANIS BESI HOLLOW BAJA
RINGAN C-4130**



OLEH:

JOHANES MICHAEL

D021171516

DAPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**ANALISIS KEKUATAN MEKANIS BESI HOLLOW BAJA
RINGAN C-4130**

Disusun dan diajukan oleh

JOHANES MICHAEL

D021171516

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**DEPARTEMEN TEKNIK
MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KEKUATAN MEKANIS BESI HOLLOW BAJA RINGAN C-
4130**

Disusun dan diajukan oleh:

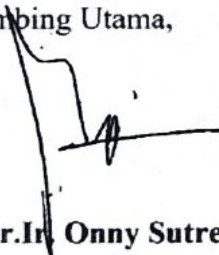
JOHANES MICHAEL WIJAYA

D021171516

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal Juni 2022

Menyetujui,

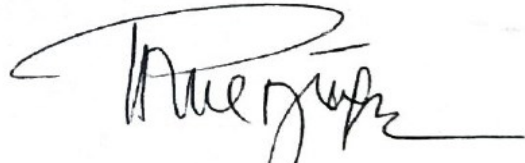
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT

NIP. 19520706 197812 1 001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. Zukifli Djafar, MT

NIP. 19650630 199103 1 004



Kemahasiswaan Departemen Teknik Mesin,

Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Johanes Michael

Nim : D021171516

Judul Skripsi : Analisis Kekuatan Mekanis Besi Hollow Baja Ringan C-4130

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari saya sendiri. Saya tidak mencampurkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, Juni 2022

Yang membuat pernyataan



Johanes Michael

ABSTRAK

Johanes Michael Wijaya, Analisis Kekuatan Mekanis Besi Hollow Baja Ringan C-4130 (Dibimbing oleh Prof.Dr.Ir. Onny Sutresman, MT dan Prof. Dr.Ir. Zulkifli Djafar, M.T.). Penelitian berlokasi di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tepatnya di Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Teknik Mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban kritis pada besi hollow baja ringan dengan melakukan pengujian uji bending dan uji buckling. Dimana pada pengujian kali ini penulis menggunakan dukungan jepit jepit pada kedua ujung besi hollow baja ringan. Pada saat pengujian bending hollow baja ringan dengan ukuran 2x4 cm yang berdasarkan SNI 07-0410-1989, penulis mendapatkan lendutan secara praktek yaitu 0,0344 mm , 0,0817 mm, 0,11 mm, 0,15 mm dan 0,18 mm dan pada hollow 4x4 cm sebesar 0,0357 mm, 0,0714 mm, 0,1 mm, 0,142 mm dan 0,173 mm. Pada penelitian kali ini juga penulis meneliti tentang kekuatan buckling besi hollow sebagai pembandingan dari kekuatan bendingnya, dimana beban kritis pada pengujian batang hollow sepanjang 160 mm berukuran 2x4 cm tersebut sebesar 540 N dan pada hollow 4x4 cm sebesar 915 N dimana kita ketahui bahwa besaran buckling dipengaruhi oleh nilai inersia yang diperoleh dari bentuk specimen. Serta pada pengujian bending hollow 2x4 cm penulis mendapatkan lendutan sebesar 0,02 mm, 0,03 mm, 0,04 mm, 0,07 mm dan 0,08 mm dan pada hollow 4x4 cm yaitu sebesar 0,01 mm, 0,03 mm, 0,05 mm, 0,08 mm, 0,09 mm dan 0,1 mm.

Kata kunci: bending, buckling, hollow

ABSTRACT

Johanes Michael Wijaya, *APL C-4130 Mild Steel Hollow Strength Mechanical Analysis (Supervised by Prof.Dr.Ir. Onny Sutresman, MT and Prof.Dr.Ir. Zulkifli Djafar, M.T.)*. The research is located at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University, precisely in the Physical Metallurgy Laboratory of the Department of Mechanical Engineering. This study aims to determine the critical load on mild steel hollow steel by testing the bending test and buckling test. Where in this test the author uses a clamp holder on both ends of the mild steel hollow iron. When testing lightweight steel hollow bending with a size of 2x4 cm based on SNI 07-0410-1989, the authors get a practical lendutan of 0,344 mm, 0,0817 mm, 0,11 mm, 0,15 mm dan 0,18 mm dan pada hollow 4x4 cm sebesar 0,0357 mm, 0,0714 mm, 0,1 mm, 0,142 mm dan 0,173 mm. In this study, the author also examines the buckling strength of hollow iron as a comparison of its bending strength, where the critical load on the 160 mm long hollow rod measuring 2x4 cm is 540 N and the 4x4 cm hollow is 915 N where we know that the amount of buckling is affected by the value of inertia obtained from the shape of the specimen. And in the 2x4 cm hollow bending test, the authors get a lendutan of 0.02 mm, 0.03 mm, 0.04 mm, 0.07 mm and 0.08 mm and on a 4x4 cm hollow that is 0.01 mm, 0.03 mm, 0.05 mm, 0.08 mm, 0.09 mm and 0.1 mm.

Keywords: bending, buckling, hollow

KATA PENGANTAR

Puji syukur pada Tuhan YME oleh karena Anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan, berkat, serta pertolongan-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Maka berbagai hal telah ditempuh dalam usaha menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul, “**ANALISIS KEKUATAN MEKANIS BESI HOLLOW BAJA RINGAN C-4130**”. Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik untuk mengumpulkan data pengujian. Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya terdapat kekurangan yang mungkin tidak disadari oleh penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan masukan yang membangun dari berbagai pihak.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak **Prof.Dr.Ir.Onny Sutresman, MT** selaku pembimbing utama dan Bapak **Prof. Dr.Ir. Zulkifli Djafar, M.T** selaku pembimbing pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Josef Rudy Wijaya dan Ibu Teresia Tahier yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Yth Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.

5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sudah dibagikan terhadap penulis. Ilmu dan pengetahuan yang membuat penulis semakin mengerti fenomena-fenomena dalam bidang teknik terutama bidang teknik mesin.
6. Staf Departemen Teknik Mesin, yang telah banyak membantu.
7. Teman-teman Laboratorium Metalurgi Fisik yang menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
8. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin ZYNCROMEZH 2017 yang telah memberi bantuan, dukungan, Kerjasama yang sudah dijalani selama ini dan kiranya kesuksesan selalu menyertai temanteman sekalian.
9. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Semua kebaikan berasal dari Tuhan semata, segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian penelitian selanjutnya.

Gowa, Maret 2022

Johanes Michael Wijaya

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Besi Hollow.....	6
2.2 Jenis – Jenis Besi Hollow	8
1. <i>Hollow Galvanise</i>	9
2. <i>Hollow Galvalume</i>	10
3. <i>Hollow Hitam</i>	10
2.3 Fungsi besi hollow.....	11
Cara Menyambung Besi <i>Hollow</i> :.....	12
2.4 Kelebihan dan Kekurangan Besi Hollow	12
Kelebihan Besi <i>Hollow</i> :.....	12
Kekurangan Besi <i>Hollow</i> :.....	13
2.5 Jenis – Jenis tumpuan	14
2.6 Uji Buckling	16

2.7 Uji Bending	19
2.9 Tegangan dan regangan	30
2.9.1 Tegangan.....	30
2.9.2 Regangan	31
BAB III	35
METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	35
3.2 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	35
3.3 ALAT DAN BAHAN	36
3.4 FLOWCHART PENELITIAN	40
BAB IV	43
DATA DAN PERHITUNGAN	43
4.1 Pengujian Bending	42
4.2 Pengujian Buckling	47
BAB V	53
PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rencana Penelitian.....	35
Tabel 4.1 Data Hasil Antara Beban dengan Lendutan Hollow 4x4.....	42
Tabel 4.2 Data Hasil Antara Beban dengan Lendutan Hollow 2x4.....	44
Tabel 4.3 Data Hasil Antara Beban dengan Lendutan Hollow 4x4.....	47
Tabel 4.4 Data Hasil Antara Beban dengan Lendutan Hollow 2x4.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Besi Hollow	8
Gambar 2.2 Besi Hollow Galvanis	10
Gambar 2.3 Besi Hollow Galvalume.....	10
Gambar 2.4 Besi Hollow Hitam	11
Gambar 2.5 Hollow Baja Ringan	11
Gambar 2.6 Pengaplikasian Tumpuan Sendi.....	14
Gambar 2.7 Pengaplikasian Tumpuan Rol Pada Jembatan	15
Gambar 2.8 Pengaplikasian Tumpuan Jepit Pada Bangunan Berlantai	15
Gambar 2.9 Gambar Kc Untuk Kolom Dengan Ujung-Ujung Ideal.....	17
Gambar 2.10 Grafik Tegangan Regangan Untuk Baja.....	23
Gambar 2.11 SNI Uji Bending	29
Gambar 2.12 Tegangan Normal Pada Sebuah Kubus	31
Gambar 2.13 Grafik Tegangan Regangan Pada Baja.....	32
Gambar 3.1 Komputer	36
Gambar 3.2 <i>Traveling Beam</i>	37
Gambar 3.3 <i>Dial Gauge Magnetic</i>	37
Gambar 3.4 Penggaris.....	38
Gambar 3.5 Besi <i>Hollow</i>	38
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Beban dan Lendutan	43
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Beban dan Lendutan	45
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Beban dan Lendutan	48
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Beban dan Lendutan	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia meningkat seiring dengan perkembangan zaman, pembangunan terjadi di segala bidang ikut meningkat untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Terutama pembangunan infrastruktur dengan segala macam penggunaannya. Limbrunner dan Speigel (1999) menyebutkan, baja konstruksi adalah *alloy steels* (baja paduan), yang umumnya mengandung lebih dari 98% besi dan biasanya kurang dari 1% karbon. Sekalipun komposisi aktual kimiawi sangat bervariasi untuk sifat-sifat yang diinginkan, seperti kekuatannya dan ketahanannya terhadap korosi, baja dapat juga mengandung elemen paduan lainnya, seperti silikon, *magnesium*, *sulfur*, *fosfor*, tembaga, krom, *nikel*, dalam berbagai jumlah.

Untuk jenis hollow terbagi menjadi 3 macam yaitu besi *hollow galvanise*, besi *hollow galvalume*, serta besi *hollow* baja ringan. Salah satu jenis besi *hollow* yang umum digunakan adalah besi *hollow* baja ringan. Besi *hollow* baja ringan memiliki ketebelan yang lebih tipis dibandingkan dengan besi *hollow galvanise* dan besi *hollow galvalume*.

Besi *Hollow Galvanise* adalah besi dengan lapisan *finishing* yang terdiri dari *zink coating* sebesar 97% dan *aluminum coating* sebesar 1% dan unsur lain sebesar 2%. Pada penggunaannya di lapangan, besi *hollow galvanise* perlu diberi lapisan anti karat dan cat supaya lebih tahan lama. Sedangkan besi *Hollow Galvalume* adalah besi dengan lapisan *finishing* yang mengandung unsur aluminum sebesar 55%, unsur besi sebesar 43,5% dan silikon sebesar 1,5%. Kandungan unsur-unsur ini menambah daya tahan dari besi *hollow galvalume* dari karat. Harga besi *hollow* baja ringan relatif lebih murah dibandingkan jenis lainnya, sehingga besi *hollow* baja ringan sering digunakan.

Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhannya, dengan semakin langkanya material kayu untuk konstruksi bangunan, diiringi semakin berkembangnya produk baja, kini telah banyak konstruksi bangunan khususnya rangka atap, partisi dan plafon memakai material *cold formed steel* (CFS) atau istilah umumnya baja ringan. Di Indonesia, pemakaian CFS untuk struktur kuda-kuda atap mulai berkembang pesat semenjak tahun 2000. Dipilihnya material baja ringan tersebut karena costnya yang berimbang dan bahkan bisa lebih murah dari menggunakan kayu kualitas bagus. Selain dari itu keawetannya juga lebih baik dan umur dari konstruksinya lebih lama dibandingkan dengan konstruksi kayu. Sepertihalnya dengan baja biasa, baja ringan juga memiliki berbagai jenis penampang yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan. Namun perbedaan yang utama dari baja ringan ini adalah ketebalannya yang kecil yaitu $\pm 0.8\text{mm}$, jauh lebih kecil dari penampang baja biasa sehingga membuat dia lebih ringan (Putu & Deskarta,2018) .

Struktur kolom yang biasa digunakan untuk menahan suatu beban tekan tertentu juga sering dirancang dengan penampang yang berbeda, atau seringkali disebut sebagai suatu kolom bertingkat. Sebagai contoh, struktur kolom yang digunakan untuk menopang beban lantai pada bangunan multistorey. Kadang kala lantai paling atas dirancang hanya untuk menahan beban yang sangat kecil. Sehingga akan sangat boros jika kolom tetap menggunakan penampang yang sama dengan penampang kolom bagian bawah yang memang dirancang untuk menahan beban lantai yang besar (Arif,2013).

Untuk membangun sebuah konstruksi baja ringan, pemilik bangunan, perencana atau kontraktor utama umumnya hanya bisa membeli produk jadi, tidak dapat terlibat dalam perencanaan strukturnya. Perusahaan-perusahaan agen dari produsen material baja ringan sudah menentukan disain strukturnya berdasarkan perhitungan yang mereka buat tanpa kita dapat melakukan verifikasi. Hal ini diakibatkan karena informasi tentang perilaku dari elemen batang baja ringan tidak bisa diketahui secara umum seperti halnya dengan produk baja biasa, informasi tersebut merupakan rahasia dari perusahaan.

Untuk pengujian suatu produk hasil industri biasanya membutuhkan biaya yang mahal, sehingga tidak semua perusahaan industri menguji produknya. Produk yang ada di pasaran tidak semuanya telah lulus uji bahkan mungkin tidak di uji. Sehingga terkadang jika kita membeli suatu produk, sebagai contoh: logam plat, kita tidak tahu kekuatan dari logam plat tersebut. Jika logam plat yang kita beli akan digunakan untuk membuat suatu benda ataupun alat yang membutuhkan perhitungan kekuatan tertentu maka tanpa kita mengetahui kekuatan dari logam tersebut kita akan membuat suatu alat atau benda yang sia-sia karena mungkin saja alat yang kita buat akan mudah rusak bahkan mungkin tidak jadi. Hal ini tentunya akan merugikan kita sebagai konsumen.

Kasus seperti diatas membuat saya berpikir dan terinspirasi untuk membuat penelitian tentang uji lengkung yang sederhana. Saya memilih salah satu cara pengujian yaitu uji lengkung, sehingga saya berharap dengan uji lengkung ini saya dapat mengetahui kekuatan lengkung produk-produk yang ada dipasaran walaupun mungkin tidak sepenuhnya. (Khamid,2011).

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis bermaksud meneliti dengan judul:

“ANALISIS KEKUATAN MEKANIS BESI HOLLOW BAJA RINGAN C-4130”

1.2 Rumusan Masalah

Melalui topik studi analisis kekuatan besi *hollow* dapat disimpulkan menjadi beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Berapa kekuatan besi *hollow* baja ringan ukuran 4 x 4 cm dan 4 x 2 cm bila diuji *buckling* dan uji *bending*.
2. Bagaimana spesifikasi dari besi *hollow* 4 x 4 cm dan 4 x 2 cm.

1.3 Tujuan Penelitian

Melalui topik studi analisis kekuatan pada besi *hollow* maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1 Untuk mengidentifikasi nilai kekuatan *bending* pada besi *hollow* baja ringan dengan ukuran 4 x 4 cm dan 4 x 2 cm untuk mengetahui beban maksimalnya.
- 2 Untuk mengidentifikasi nilai kekuatan *buckling* pada besi *hollow* baja ringan dengan ukuran 4 x 4 cm dan 4 x 2 cm untuk mengetahui beban maksimalnya.
- 3 Untuk mengetahui nilai kekuatan uji *buckling* dan uji *bending* dari besi *hollow* baja ringan.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui topik studi analisis kekuatan pada besi *hollow*, adapun manfaat penelitian ini ditujukan untuk:

1. Menambah wawasan pada ilmu mekanikal khususnya dalam bidang material dan struktur.
2. Menjadi bahan studi pemerintah untuk pemanfaatan besi *hollow* ukuran 4 x 2 cm dan 4 x 4 cm sebagai alternatif penggunaan besi *hollow*.
3. Menambah wawasan masyarakat untuk mengefisiensikan penggunaan besi *hollow* sesuai dengan kebutuhan.
4. Mengurangi pemakaian berlebih pada bahan baku baja ringan.

1.5 Batasan masalah

Batasan masalah pada uji *buckling* dan uji *bending* besi *hollow* baja ringan ukuran 4 x 4 cm dan 4 x 2 cm bermerek Apl.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan ini dilakukan dengan menggunakan metode pengkajian teori-teori pada studi kepustakaan. Kajian tersebut lalu dihubungkan dengan hasil uji laboratorium yang dilakukan dan selanjutnya akan dianalisis sehingga dapat menghasilkan kesimpulan.

- Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang penulisan, permasalahan, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

- Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori besi *hollow*, jenis jenis besi *hollow*, fungsi besi *hollow*, kelebihan dan kekurangan besi *hollow*, uji *buckling*, uji *bending*, deformasi serta jenis- jenis tumpuan,serta tegangan dan regangan.

- Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang penjelasan studi kasus yang berupa tinjauan pengamatan secara umum. Pembahasannya yakni mengenai jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan,prosedur penelitian serta *flowchat* penelitian.

- Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini menyajikan data-data hasil analisis uji kuat *bending* dan uji kuat *buckling* untuk mendapatkan beban kritis dari besi *hollow*.

- Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini akan memberikan kesimpulan dari hasil analisis masalah serta saran-saran yang diusulkan penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Hollow

Besi *hollow* sudah menjadi primadona dikalangan para pekerja konstruksi, khususnya bagi orang-orang yang sedang berencana hendak membuat bangunan. Penggunaan besi untuk bahan penunjang bangunan memang bukanlah hal baru. Setelah sebelumnya penggunaan kayu mulai pudar, kini besi mulai menguasai pasaran karena dinilai lebih praktis dan juga lebih mampu membuat bangunan menjadi tahan lama. Memang tak dapat dipungkiri, dibandingkan kayu yang bisa keropos maupun mudah rusak, besi dinilai lebih kuat dan aman untuk digunakan. Jika Anda sedang memiliki rencana membangun bangunan tertentu atau misalnya pagar rumah, maka menggunakan besi *hollow* adalah salah satu solusi yang tepat.

Struktur komposit sandwich baja-beton-baja (SCS) terdiri dari dua pelat baja dan inti beton pusat. Konektor mekanis (seperti stud berkepala, batang pengikat, dan J-hook) atau bahan perekat (seperti epoksi) digunakan dalam antarmuka baja-beton untuk membentuk unit integral untuk menahan beban eksternal. Aplikasi serbaguna dari struktur komposit SCS dalam inti bangunan, struktur pelindung anti-ledakan dan benturan, dek jalan dan jembatan, terowongan pelindung dan terendam, dinding nuklir, struktur lepas pantai lepas pantai dan Arktik, penahanan cairan, dan penyimpanan minyak dilakukan karena karakteristik mekanis (seperti kapasitas tinggi, kekakuan, ketahanan ledakan dan benturan, dan kinerja yang baik dalam efisiensi konstruksi dan pencegahan kebocoran) dari dinding komposit SCS (Chunwei & Zhang, 2019).

Besi *hollow* adalah besi berongga (pipa) berbentuk kotak atau disebut juga SHS (*Square Hollow Section*) dan berbentuk persegi panjang atau RHS (*Rectangular Hollow Section*). Umumnya digunakan dalam konstruksi bangunan, seperti pagar, milling, atap kanopi dan pintu gerbang. Besi *hollow* juga sering digunakan untuk support pada pemasangan plafon, besi *hollow* biasanya terbuat dari material *carbon steel* ataupun *stainless steel*. Berdasarkan lapisan *finishing*

pada bahan besi *hollow*, besi *hollow* dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu besi *hollow* biasa (standar), *hollow galvalume* dan *hollow Galvanis*.

Galvalume merupakan sebutan untuk pelapisan yang mengandung unsur Aluminium dan *Zinc* atau disebut *Zinc-Alume*. Untuk bahan *Galvalume* yang paling baik terdiri dari 55% unsur *coatingnya* Aluminium, 43.5%, unsur seng/*zink* dan 1.5% unsur silikon. *Galvanis* merupakan sebutan untuk pelapisan *finishing* yang terdiri dari 98% unsur *coating* seng/*zink* dan 2% lapisan unsur aluminium. Beberapa produsen besi *hollow* dan rangka atap baja ringan yang menggunakan bahan *galvalume* dan bahan galvanis, mengklaim bahwa ketebalan pelapisan *coatingnya* sama, ternyata yang beredar di pasaran sangat berbeda dan ini sangat merugikan konsumen. Bahan *galvalume* memiliki ketahanan lebih baik terhadap karat dibandingkan bahan galvanis atau bahan besi biasa.

Untuk menghindari karat pada bahan galvanis, lapisan *coating* harus lebih tebal dan kelemahannya pada bahan galvanis saat dipotong atau tergesek pada permukaannya atau di sekrup, akan menimbulkan korosi dan karatan. Hal ini kurang baik bila dipergunakan untuk bahan material rangka *hollow* atau rangka atap baja ringan dan pagar. Seperti juga produk material lainnya, dipasaran beredar berbagai macam kelas material. Besi *hollow galvalume* bersertifikat Standard Nasional Indonesia (SNI) terbuat dari bahan *Zinc-Alum* SNI, bermutu tinggi dengan kualitas bahan pilihan yang sangat kuat terhadap perubahan cuaca, tahan akan keropos atau korosi, anti karat, bebas dari rayap, serangga, kutu, binatang pengerat dan tidak perlu di cat ulang serta bebas perawatan. Besi *hollow galvalume* SNI banyak dipergunakan untuk pemasangan rangka plafon dan rangka dinding partisi yang lebih mementingkan kekuatan dan ketahanan bangunan.

Material yang dapat digunakan untuk kolom merupakan material yang memiliki sifat kokoh dan kaku, serta memiliki bentuk memanjang dan dapat digabungkan dengan mudah dengan material sejenis. Dalam hal ini, material besi *hollow* merupakan material yang cocok digunakan sebagai kolom pada bangunan instan (Martiningrum & Noverti, 2014).



Gambar 2.1 Besi Hollow

2.2 Jenis – Jenis Besi Hollow

Besi *Hollow* banyak digunakan sebagai bahan pembuatan rangka dinding partisi dan rangka plafon. Kualitas besi ini sangat bagus karena bahannya yang kokoh sehingga sangat menguntungkan untuk penggunaan dalam jangka panjang. Besi ini juga sifatnya sangat tahan terhadap api dan rayap, juga bebas dari karat akibat cuaca yang ekstrim. Proses pemasangannya pun terbilang sangat cepat dibandingkan dengan kayu sehingga biaya tenaga kerja untuk pemasangan bisa dihemat.

Saat ini hampir seluruh konstruksi bangunan menggunakan besi *hollow*. Bukan hanya mengutamakan kualitasnya yang kokoh, tapi saat ini konstruksi juga memperhatikan unsur estetika sebuah material bangunannya. Besi ini cukup populer karena memiliki banyak kegunaan, baik untuk kanopi, pintu pagar, teralis modern, sampai pemasangan plafon gypsum dan plafon *GRC board*. Besi *hollow* umumnya terbuat dari besi galvanis, stainless, atau besi baja. Besi *hollow* atau yang kadang-kadang disebut juga dengan ‘besi holow’ adalah besi berbentuk batangan yang berongga. Besi ini berupa pipa berbentuk kotak ini banyak digunakan dalam konstruksi, baik sebagai rangka besi plafon maupun rangka dinding partisi untuk rumah maupun gedung. Besi *hollow* yang kokoh sudah banyak digunakan sebagai material untuk menggantikan rangka kayu karena lebih kokoh dan kualitasnya homogen karena diproduksi di pabrik. Saat ini ada banyak macam-macam besi *hollow* sesuai dengan ukuran serta lapisan coating-nya.

Besi *hollow* pun dapat dipasang dengan cepat karena material ini sifatnya praktis. Tukang pun tidak memerlukan keahlian yang tinggi untuk memasang besi holo sebagai rangka pada plafon maupun dinding. Selain itu, material ini juga tahan terhadap serangan rayap, tahan serangan binatang pengerat, serta lebih tahan api. Material besi *hollow* juga terbuat dari bahan yang kokoh dan dapat digunakan untuk jangka waktu yang panjang. Oleh karena itu, besi holo lebih awet dan tahan lama dibandingkan kayu yang sering juga dipakai sebagai material untuk rangka plafon maupun dinding.

Tidak hanya dipakai pada area indoor, besi *hollow* juga banyak digunakan sebagai material bangunan untuk area outdoor. Besi holo dapat dipakai sebagai material untuk membuat kanopi *carport*, pintu pagar, hingga teralis *modern* pada fasad rumah. Material ini semakin populer seiring dengan meningkatnya minat masyarakat terhadap rumah minimalis karena bentuknya yang lurus dan kotak sesuai dengan konsep rumah-rumah minimalis.

Macam-macam besi *hollow* biasanya ditentukan oleh jenis *coating* yang digunakan untuk melapisi besi. Jenis *coating* yang dipakai juga menentukan harga jual pasaran dari besi *hollow* tersebut. *Coating* yang baik akan melindungi besi holo dari korosi serta karat akibat terpaan panas maupun pengaruh kelembaban. Berikut macam-macam jenis besi holo yang tersedia di pasaran:

1. *Hollow Galvanise.*

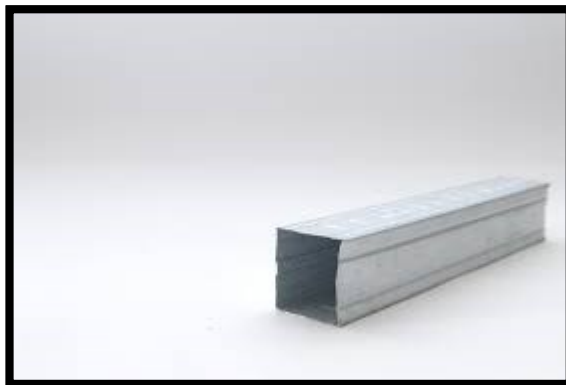
Jenis besi *hollow Galvanise* di dalamnya terdapat lapisan *finishing* yang mengandung *zinc coating* 97% . Tak hanya *zinc coating*, jenis ini memiliki kadar aluminium serta beberapa zat-zat lainnya yang jika di total ada sekitar 3%. Jenis ini biasanya banyak digunakan untuk pembuatan pagar, kanopi, dan beberapa hasil bangunan lainnya. Namun, jika ingin mendapatkan hasil yang lebih baik maka sebelum menggunakan jenis *hollow* satu ini terlebih dahulu lapisi dengan zat *coating* agar nantinya tidak mudah berkarat.



Gambar 2.2 Besi Hollow Galvanis

2. Hollow Galvalume.

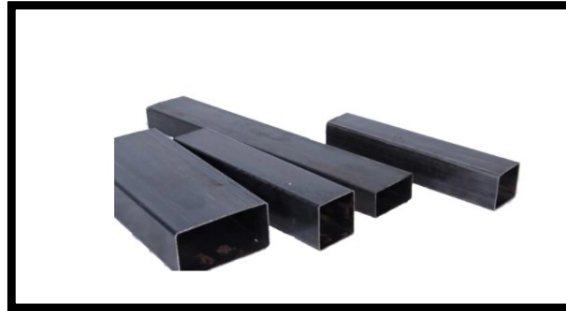
Jenis besi hollow Galvalume memiliki lapisan aluminium yang lebih besar dibandingkan jenis galvanise. Terdapat sekitar 55% kandungan aluminium, yang ditambah dengan kandungan unsur besi sebanyak 43.5%. Untuk lapisan sebesar 1.5% diisi oleh silicon agar besi ini tidak mudah berkarat jika terkena air biasa maupun air hujan. Kelebihan yang dimiliki hollow jenis galvalume ini memiliki ketebalan yang bermacam-macam bisa dipilih sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2.3 Besi Hollow Galvalume

3. *Hollow* Hitam.

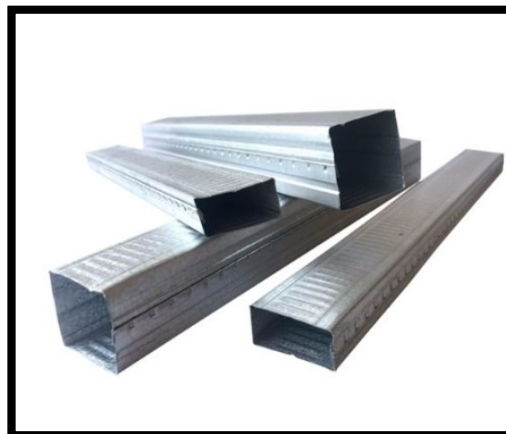
Jenis Besi *Hollow* hitam adalah salah satu jenis besi yang ukuran panjangnya sudah di standarisasi, karena memang penggunaannya biasanya cocok digunakan untuk pembuatan pagar. Berbahan dasar baja hitam membuat besi ini memiliki tekstur yang sangat tebal dan kuat saat digunakan.



Gambar 2.4 Besi Hollow Hitam

4. *Hollow* Baja Ringan

Hollow baja ringan merupakan *hollow* yang paling tipis diantara semua *hollow* dan hanya dapat digunakan untuk menopang benda benda ringan, namun *hollow* baja ringan tetap banyak diminati karena biayanya yang relatif murah.



Gambar 2.5 Hollow Baja Ringan

2.3 Fungsi besi hollow

Orang-orang yang bekerja dalam bidang konstruksi kebanyakan mengaplikasikan *hollow* ini menjadi beberapa kegunaan, diantaranya:

- Kebanyakan orang-orang kerap kali memilih besi ini untuk bahan pembuatan plafon maupun *railing*. Hal tersebut dikarenakan jenis *hollow* ini memiliki penampang yang sangat cocok jika diaplikasikan pada dua rangka tersebut.

- Pagar.

Saat ini tidak trend lagi apabila membuat pagar menggunakan kayu, meskipun sebenarnya hasilnya akan lebih estetik. Namun, saat ini demi keamanan dan keawetan, banyak yang sudah beralih menggunakan bahan besi, dan salah satu jenis yang paling cocok adalah *hollow*.

- *Furniture industrial*.

Warna dari besi ini yang hitam keabu-abuan ini sangat cocok dengan konsep furnitur industrial yang sedang marak akhir-akhir ini. Dengan warna-warna tersebut maka akan menghasilkan kesan produk yang elegan. Biasanya untuk produk ini dikombinasikan dengan besi siku agar mendapatkan produk yang memuaskan.

Cara Menyambung Besi *Hollow* :

Dalam prakteknya, terdapat beberapa cara untuk menyambung *hollow* yaitu dengan mesin las dan sambungan mekanik, berikut ini lebih detailnya.

- Untuk material tebal lebih dari 1 mm lebih baik menggunakan sambungan las, karena pengelasan merupakan jenis sambungan yang paling kuat dibanding dengan sambungan mekanik lainnya.
- Menggunakan sambungan mekanik. Untuk jenis sambungan ini Anda bisa menggunakan skrup baut yang juga terdapat karet di bagian kepala baut yang berfungsi sebagai penahan dari baut dan air tidak masuk. Cara penggunaannya skrup langsung di masukkan ke bagian mesin bor yang sudah diganti tempat baut. Setelah itu arahkan pada besi yang akan disambung dan tekan tombol untuk memutar bautnya.

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Besi Hollow

Kelebihan Besi *Hollow*:

Bukan tanpa alasan yang jelas jika ada banyak masyarakat yang memilih beralih menggunakan jenis besi hollow ini. Tentunya ada alasan yang jelas dibalik

pemilihannya, yakni yang berkaitan dengan kelebihan maupun keunggulan produk. Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh *hollow* diantaranya adalah:

- Memiliki kualitas yang lebih baik. Jika membahas mengenai kualitas besi tentu tidak bisa terlepas dari yang namanya *hollow*. Berbagai lapisan yang ada dalam jenis-jenis besi ini sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Biasanya tak banyak besi yang bisa tahan dari serangan api maupun rayap, namun besi ini mampu menahannya karena memiliki lapisan yang *solid*.
- Pemasangan relatif cepat dan mudah. Kelebihan satu ini memang yang paling banyak menarik minat para pekerja konstruksi. Hal tersebut karena jika pemasangannya yang mudah dan relatif cepat tentunya tidak akan memakan waktu yang banyak sehingga bisa dialihkan untuk kegiatan selanjutnya. Tekstur yang dimiliki oleh *hollow* memang memungkinkan untuk mudah dibentuk serta diaplikasikan, dan itu semua karena kandungan bahan yang ada pada produk tersebut.
- Perawatan awet. Karena pada dasarnya sudah diperkaya dengan beberapa lapisan seperti zat *coating*, membuat *hollow* tidak terlalu sulit dari segi perawatannya. Bahkan besi jenis ini tidak rentan terkena rayap maupun api, serta tidak mudah berkarat.
- Tidak mudah mengalami korosi. Kebanyakan masalah besar besi adalah mengalami korosi, dan hal itu memang akan membuat performa besi menjadi tidak menarik dan juga mudah rusak. Oleh karena itu jika Anda memakai *hollow* jenis *galvalume* maka peluang mengalami korosi akan lebih sedikit karena lapisan aluminium dan juga *silicon* yang terkandung di dalamnya.

Kekurangan Besi *Hollow* :

Tentunya tidak ada produk yang memiliki tingkat kesempurnaan hingga 100%, pasti masih ada sedikit celah maupun kekurangan yang dimiliki, begitu pula dengan

besi jenis ini. Diantara beberapa kelebihan yang dimiliki, besi ini memiliki kekurangan, seperti:

- Jika hendak membuat rancangan yang menanggung beban sangat banyak, maka tidak terlalu disarankan menggunakan besi jenis ini. Sebab, sebenarnya jenis besi ini tidak terlalu mampu menanggung beban berat terlalu besar. Hal tersebut karena adanya beberapa lapisan yang terkandung di dalamnya.
- Ukuran yang dimiliki oleh besi ini tidak terlalu panjang, hanya sekitar 6 meter saja. Memang, besi ini biasanya hanya difungsikan untuk pembuatan pagar atau plafon yang memiliki ukuran tidak terlalu panjang. Namun, jika Anda hendak membuat rancangan seperti atap atau yang membutuhkan ukuran panjang maka bisa menggunakan jenis lainnya. Sebenarnya memang bisa saja disambung menggunakan las namun akan tetap kurang memuaskan.

2.5 Jenis – Jenis tumpuan

Tumpuan adalah tempat bersandarnya suatu konstruksi & tempat bekerjanya reaksi. Masing-masing jenis tumpuan mempunyai karakteristik berbeda. Oleh karena itu, berikut merupakan jenis – jenis tumpuan (Gresik & Umg, 2020):

1. Tumpuan sendi:

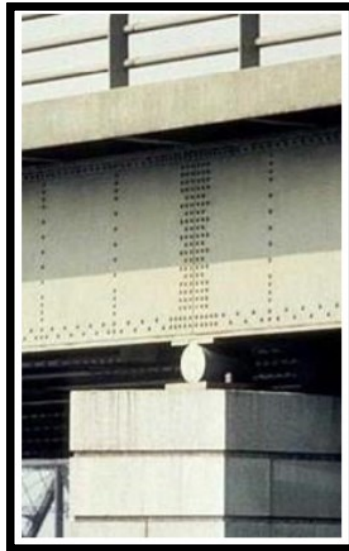
Tumpuan sendi adalah tumpuan yang dapat menerima gaya dari segala arah, akan tetapi tidak mampu menahan momen.



Gambar 2.6 Pengaplikasian Tumpuan Sendi

2. Tumpuan Rol:

Tumpuan Rol adalah tumpuan yang hanya dapat menahan gaya bekerja tegak lurus (*vertical*) dan tidak dapat menahan momen.



Gambar 2.7 Pengaplikasian Tumpuan Rol Pada Jembatan

3. Tumpuan Jepit

Tumpuan jepit adalah tumpuan yang dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen.




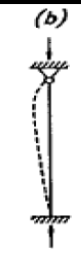
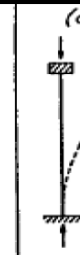



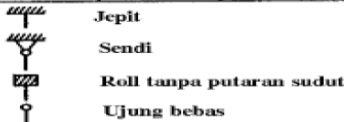
Gambar 2.8 Pengaplikasian Tumpuan Jepit Pada Bangunan Berlantai

2.6 Uji Buckling

Analisa kekuatan sebuah struktur telah menjadi bagian penting dalam alur kerja pengembangan desain dan produk. Pada awalnya analisa kekuatan dilakukan dengan menggunakan rumusan-rumusan teoritis yang telah banyak tercantum pada buku-buku panduan mekanika struktur dan teknik. Tetapi hal tersebut memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah harusnya dilakukan penyederhanaan penyederhanaan serta pengidealisan kondisi kondisi yang akan dianalisa agar dapat dimasukkan ke dalam rumusan teoritis tersebut. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya akurasi dan ketepatan hasil analisa yang dihasilkan serta akan sangat sulit diaplikasikan pada bentuk struktur yang kompleks (Tanellia & Soraya, 2016).

Kelelahan adalah mekanisme di mana retakan tumbuh di struktur di bawah tekanan yang berfluktuasi. Kegagalan akhir secara umum terjadi saat penampang berkurang menjadi tidak cukup untuk membawa beban tanpa pecah. Umumnya retakan kelelahan dimulai di lokasi dengan tekanan tinggi puncak (Wardenier, 2001).

Sebagian besar struktur yang memiliki dimensi langsing atau tipis apabila mendapat gaya tekan akan mengalami masalah tekuk (*buckling*). Tekuk adalah kondisi ketidak stabilan struktur akibat diberi gaya tekan, sedemikian lendutan tidak proporsional dengan perubahan gaya. Konsekuensi fenomena tekuk adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Fenomena tekuk ini terjadi pada kolom dapat dicari dengan persamaan berikut (Rudi Kurniawan Arief, 2017).

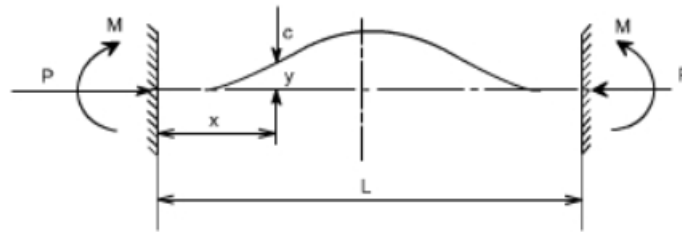
Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Nilai λ_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai λ_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

Gambar 2.9 Gambar Kc Untuk Kolom Dengan Ujung-Ujung Ideal

Wiryanto & Dewobroto (2016) menyebutkan, perilaku tekuk pada struktur tekan terbagi dua yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Fenomena tekuk lokal adalah terjadinya tekuk setempat pada bagian penyusun penampang tanpa memperlihatkan tekuk secara keseluruhan. Untuk mencegah terjadinya tekuk lokal maka suatu penampang harus dikelompokkan menjadi tiga yaitu kompak ($\lambda < \lambda_p$), tidak kompak ($\lambda_p < \lambda < \lambda_r$), dan langsing ($\lambda > \lambda_r$). Apabila komponen penyusun batang tekan telah memenuhi syarat lebar-tebal seperti yang disyaratkan maka kemungkinan tekuk lokal dapat dihindari. Bila kolom diberi gaya tekan konsentris maka batang tersebut akan mengalami tekuk secara global. Tekuk global terjadi pada batang tekan secara menyeluruh.

Ada beberapa cara untuk memodelkan ketidaksempurnaan, misalnya kadang-kadang sedikit gaya di luar bidang atau translasi beberapa simpul dalam arah normal pelat sudah cukup untuk membangkitkan mode eigen pertama. Cara paling umum dan terstruktur untuk memodelkan ketidaksempurnaan adalah dengan menggunakan pola untuk mode eigen pertama (dengan asumsi bahwa ini adalah benar bentuk mode tekuk), diperoleh dari analisis tekuk linier (Mert & Muameleci, 2014).

Dimana persamaan *buckling* didapatkan sebagai berikut:



Momen pada titik c adalah:

$$M = M_0 - P_y \dots \dots \dots (i)$$

Dengan menggunakan persamaan *elastic*, diperoleh:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \dots \dots \dots (ii)$$

Solusi dari persamaan diferensial diatas adalah :

$$Y = A \cos \left(\frac{P}{EI} \right)^{\frac{1}{2}} x + B \sin \left(\frac{P}{EI} \right)^{\frac{1}{2}} x + \frac{M_0}{p}$$

Dengan memisalkan lambda = akar (P/EI) , diperoleh :

$$Y = A \cos \lambda x + B \sin \lambda x + \frac{M_0}{P}$$

$$\frac{dy}{dx} = B \lambda \cos \lambda x - A \lambda \sin \lambda x$$

Syarat batas pertama, ketika x = 0, maka y = 0 :

$$0 = A \cos 0 + B \sin 0 + \frac{M_0}{P}$$

$$A = -\frac{M_0}{P}$$

Syarat batas kedua, ketika $x = 0$, maka $dy/dx = 0$:

$$0 = B \lambda \cos 0 + \frac{M_0}{P} \lambda \sin 0$$

$$B = 0$$

Sehingga diperoleh :

$$Y = -\frac{M_0}{P} \cos \lambda x + \frac{M_0}{P}$$

$$Y = \frac{M_0}{P} (1 - \cos \lambda x)$$

Syarat batas ketiga, ketika $x = L$, maka $y = 0$:

$$\frac{M_0}{P} (1 - \cos \lambda L) = 0$$

$$1 - \cos \lambda L = 0$$

$$\lambda L = 2\pi$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{L}$$

Dengan mensubstitusi kembali nilai lambda, maka dapat diperoleh :

$$P = \frac{4 \pi^2 E I}{L^2}$$

2.7 Uji Bending

Alat uji *bending* adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat

uji *bending* memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point *bending* dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada benda uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (ditekan). *Point bending* berfungsi sebagai tumpuan benda uji dan juga sebagai penerus gaya tekan yang dikeluarkan oleh alat tekan. Panjang pendek tumpuan *point bending* berpengaruh terhadap hasil pengujian. Alat ukur adalah suatu alat yang menunjukkan besarnya kekuatan tekan yang terjadi pada benda uji (Makhrus, 2018).

Uji *bending* adalah suatu proses pengujian material dengan cara di tekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu material yang di uji. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu 3 *point bending* dan 4 *point bending*. Untuk melakukan uji *bending* ada factor dan aspek yang harus dipertimbangkan dan dimengerti yaitu (Takao & Yudo,2014):

a. Tekanan (P)

Tekanan adalah perbandingan antara gaya yang terjadi dengan luasan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan yang terjadi dipengaruhi oleh dimensi benda yang di uji. Dimensi mempengaruhi tekanan yang terjadi karena semakin besar dimensi benda uji yang digunakan maka semakin besar pula gaya yang terjadi. Selain itu alat penekan juga mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi. Alat penekan yang digunakan menggunakan system hidrolik. Hal lain yang mempengaruhi besar tekanan adalah luas penampang dari torak yang digunakan. Maka daya pompa harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan. Dan motor harus bisa melebihi daya pompa, perhitungan tekanan :

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana :

P = tekanan

F = gaya atau beban

A = luas penampang

$$P = \frac{p \cdot Q}{600}$$

Dimana:

P = daya (kw)

P = tekanan (bar)

Q = laju aliran (l/min)

b. Benda uji

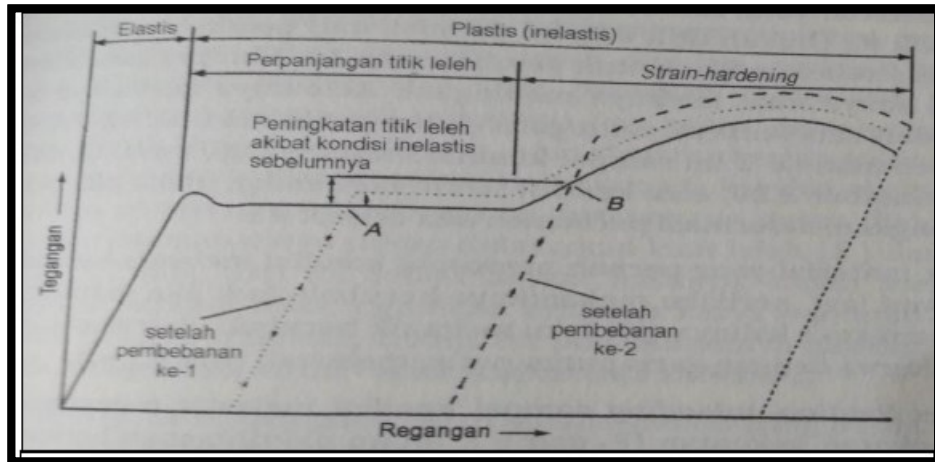
Benda uji adalah suatu benda yang di uji kekuatan lengkungnya dengan menggunakan alat uji *bending*. Jenis material benda uji yang digunakan sebagai benda uji sangatlah berpengaruh dalam pengujian *bending*. Karena tiap jenis material memiliki kekuatan lengkung yang berbeda-beda, yang nantinya berpengaruh terhadap hasil uji *bending* itu sendiri.

c. Point Bending

Point bending adalah suatu sistem atau cara dalam melakukan pengujian lengkung (*bending*). *Point bending* ini memiliki 2 tipe, yaitu: *3 point bending* dan *4 point bending*. Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan, *three point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 1 *point* pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan sedangkan *four point bending* menggunakan 2 *point* pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 *point* (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan. Selain itu juga terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan dari cara pengujian *three point* dan *four point*.

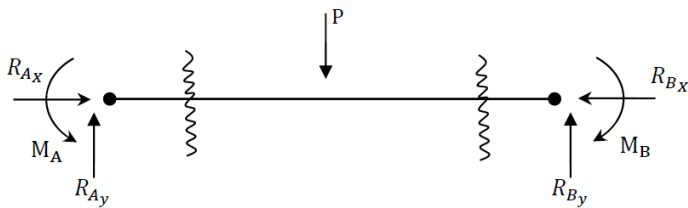
Limbrunner dan Spiegel (1998) menyebutkan, baja konstruksi adalah *alloy steels* (baja paduan), yang umumnya mengandung lebih dari 98% besi dan biasanya kurang dari 1% karbon. Sekalipun komposisi aktual kimiawi sangat bervariasi untuk sifat-sifat yang diinginkan, seperti kekuatannya dan ketahanannya terhadap korosi, baja dapat juga mengandung elemen paduan lainnya, seperti silikon, magnesium, sulfur, fosfor, tembaga, krom, nikel, dalam berbagai jumlah. Baja tidak merupakan sumber yang dapat diperbarui (*renewable*), tetapi dapat mempunyai daur ulang (*recycled*), dan komponen utamanya besi sangat banyak. Salah satu keuntungan baja adalah keseragaman bahan dan sifat-sifatnya yang dapat diduga secara cukup tepat. Kestabilan dimensional, kemudahan pembuatan, dan cepatnya pelaksanaan juga merupakan hal-hal yang menguntungkan dari baja struktural ini. Kita dapat juga menuliskan kerugian-kerugiannya seperti mudahnya bahan ini mengalami korosi (kebanyakan baja, tidak semua jenis baja) dan berkurangnya kekuatan pada temperatur tinggi. Baja tidak mudah terbakar, tetapi harus anti api.

Suatu batang terbuat dari baja lunak ditarik oleh gaya aksial tertentu pada kondisi temperatur ruang, akan dapat digambarkan suatu diagram yang menyatakan hubungan antara tegangan dengan regangan yang terjadi pada baja tersebut. Umumnya, regangan (*strain*) menyatakan besarnya perubahan panjang yang dilambangkan dengan ϵ , dan tegangan (*stress*) dilambangkan dengan σ menyatakan gaya per luas satuan yang bekerja pada penampang tersebut. Hubungan antara tegangan dan regangan pada baja dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 2.10 Grafik Tegangan Regangan Untuk Baja

Persamaan bending yaitu:



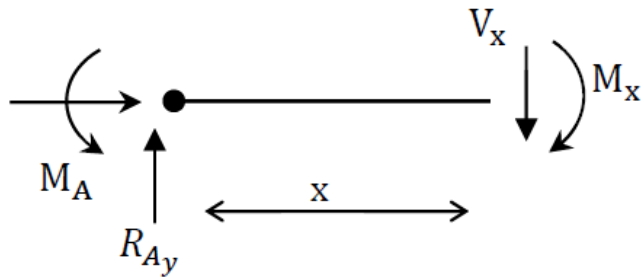
Dimana dari gambar bisa didapatkan:

$$R_{AY} = \frac{P}{2}$$

$$R_{BY} = \frac{P}{2}$$

$$M_A = -\frac{PL}{8}$$

$$M_B = -\frac{PL}{8}$$



$$\sum M_x = 0$$

$$M_x + \frac{P}{2}x - M_A = 0$$

$$M_x = M_A - \frac{P}{2} \cdot x \dots\dots\dots (i)$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M \dots\dots\dots (ii)$$

Kemudian substitusi persamaan (i) ke (ii)

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_A - \frac{P}{2} \cdot x$$

$$EI \frac{dy}{dx} = M_A \cdot x - \frac{P}{4} x^2 + c_1$$

$$EI y = \frac{1}{2} M_A \cdot x^2 - \frac{P}{12} x^3 + c_1 x + c_2$$

Misalkan $x = 0$ dan $y = 0$

$$EI y = \frac{1}{2} M_A \cdot x^2 - \frac{P}{12} x^3 + c_1 x + c_2$$

$$EI 0 = \frac{1}{2} M_A \cdot 0^2 - \frac{P}{12} 0^3 + c_1 0 + c_2$$

$$c_2 = 0$$

$$EI \frac{dy}{dx} = M_A \cdot x - \frac{P}{4} x^2$$

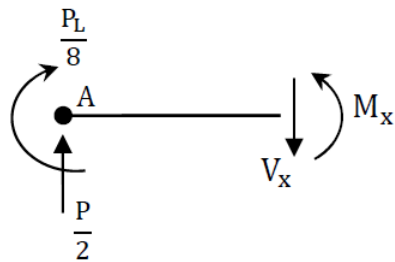
$$EI y = \frac{1}{2} M_A \cdot x^2 - \frac{P}{12} x^3$$

$$x = \frac{L}{2}, \frac{dy}{dx} = 0$$

$$0 = M_A \cdot \frac{L}{2} - \frac{P}{4} \left(\frac{L^2}{2} \right)$$

$$M_A \cdot \frac{L}{2} = \frac{P L^2}{16}$$

$$\text{Maka didapatkan } M_A = \frac{P L}{8}$$



$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$$

$$\sum M_x = 0$$

$$M_x - \frac{PL}{8} - \frac{P}{2} \cdot x = 0$$

$$M_x = \frac{PL}{8} + \frac{P}{2} \cdot x \dots\dots\dots (iii)$$

$$\frac{PL}{8} + \frac{P}{2} \cdot x = EI \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{2} \cdot x - \frac{PL}{8} \right]$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{4} \cdot x^2 - \frac{PL}{8} \cdot x + c_1 \right] \dots\dots\dots (iv)$$

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{12} \cdot x^3 - \frac{PL}{16} \cdot x^2 + c_1 \cdot x + c_2 \right] \dots\dots\dots (v)$$

Kondisi Batas dimana:

$x = 0, y = 0 \rightarrow$ substitusi ke persamaan (v)

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{12} \cdot x^3 - \frac{PL}{16} \cdot x^2 + c_1 \cdot x + c_2 \right]$$

$$0 = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{12} \cdot 0^3 - \frac{PL}{16} \cdot 0^2 + c_1 \cdot 0 + c_2 \right]$$

$$c_2 = 0$$

$x = 0, \frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow$ substitusi ke persamaan (iv)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{4} \cdot x^2 - \frac{PL}{8} \cdot x + c_1 \right]$$

$$0 = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{4} \cdot 0^2 - \frac{PL}{8} \cdot 0 + c_1 \right]$$

$$c_1 = 0$$

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{12} \cdot x^3 - \frac{PL}{16} \cdot x^2 \right] \rightarrow \text{Lendutan maksimal terdapat pada } x = \frac{L}{2}$$

$$\text{Maka : } y = \frac{1}{EI} \left[\frac{P}{12} \cdot \frac{L^3}{2} - \frac{PL}{16} \cdot \frac{L^2}{2} \right]$$

$$= \frac{1}{EI} \left[\frac{PL^3}{96} - \frac{PL^3}{64} \right]$$

$$= \frac{PL^3}{192EI}$$

2.7.1 SNI Uji Bending

Setiap negara, pada umumnya memiliki standar tertentu untuk berbagai jenis produk yang dipasarkan di negara tersebut. Standar di setiap negara pada umumnya berbeda-beda. Di Indonesia, SNI menjadi satu-satunya instrumen yang memiliki kekuatan hukum mengikat dan berlaku secara nasional di wilayah hukum Republik Indonesia, atas produk-produk yang diperdagangkan di wilayah republik. SNI merupakan dokumen standar teknis yang disusun oleh perwakilan produsen, konsumen, regulator, akademisi, praktisi, asosiasi, dan lain-lain yang diwadahi dalam suatu Komite Teknis, sehingga standar ini dapat digunakan untuk menilai dan menguji suatu produk yang dimiliki oleh pelaku usaha atau pemilik merek dagang.

Analisa kekuatan sebuah struktur telah menjadi bagian penting dalam alur kerja pengembangan desain dan produk. Pada awalnya analisa kekuatan dilakukan dengan menggunakan rumusan-rumusan teoritis yang telah banyak tercantum pada buku-buku panduan mekanika struktur dan teknik. Tetapi hal tersebut memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah harusnya dilakukan penyederhanaan penyederhanaan serta pengidealisan kondisi - kondisi yang akan dianalisa agar dapat dimasukkan ke dalam rumusan teoritis tersebut. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya akurasi dan ketepatan hasil analisa yang dihasilkan serta akan sangat sulit diaplikasikan pada bentuk struktur yang kompleks.

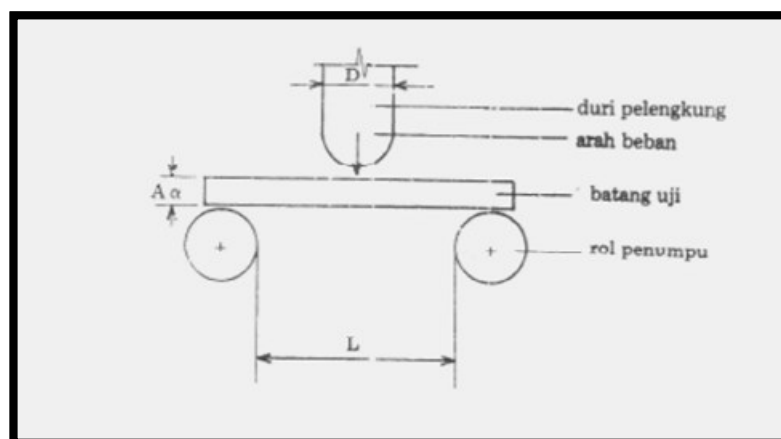
Ada dua jenis SNI, jenis pertama adalah yang bersifat wajib, dan jenis yang kedua adalah yang bersifat sukarela. Prinsip penerapan SNI sendiri sesungguhnya bersifat sukarela. Akan tetapi, untuk tujuan tertentu seperti perlindungan konsumen, tenaga kerja yang membuat produk, dan masyarakat dari aspek keselamatan, keamanan, dan kesehatan, pertimbangan keamanan negara, tuntutan perkembangan ekonomi dan kelancaran iklim usaha dan persaingan yang sehat, atau pelestarian fungsi lingkungan hidup, maka pemerintah menetapkan produk-produk tertentu yang wajib memiliki SNI sebelum diedarkan di masyarakat. Televisi buatan Kusrin, misalnya, berada dalam kelompok barang yang wajib memiliki SNI.

Pemerintah juga menganut prinsip kehati-hatian dalam menerapkan SNI yang bersifat wajib ini untuk menghindari risiko-risiko yang timbul. Salah satunya adalah jangan sampai penetapan wajib SNI ini menghambat kreativitas dan produktivitas masyarakat untuk menciptakan produk yang bernilai ekonomis. Selain itu, pemerintah juga berorientasi melindungi usaha mikro, kecil, dan menengah, meningkatkan daya saing dan menaikkan kualitas barang/jasa yang diproduksi. Lebih jauh lagi, jangan sampai penerapan wajib SNI menimbulkan persaingan usaha yang tidak sehat antar-pelaku (produsen atau pemilik merek dagang). Bahkan dalam konteks perlindungan ini, pemerintah melalui Badan Standardisasi Nasional (BSN) memberikan layanan cuma-cuma untuk produsen berskala mikro dan kecil untuk mendapatkan SNI atas produk mereka. Instansi ini lebih mengedepankan fungsi pembinaan dibandingkan pengawasan yang merugikan usaha mikro kecil.

Supaya penetapan SNI dapat dipertanggungjawabkan, ada beberapa prinsip etis atau dari sisi manfaat, setidaknya ada tiga pihak yang memperoleh manfaat langsung atas penerapan SNI suatu produk. Pihak yang pertama adalah produsen. SNI mendorong terciptanya suatu produk dengan standar tertentu, yang hanya bisa dihasilkan jika proses produksinya memenuhi kriteria tertentu. Untuk mencapai itu, produsen akan berusaha untuk mencari proses yang efisien dan efektif, mulai dari pemilihan bahan baku, proses produksi, sampai dengan pengemasan dan distribusi.

Dengan kata lain, produsen akan terus melakukan inovasi sehingga produk yang dihasilkannya memiliki daya saing di pasar. Pihak berikutnya tentu saja adalah konsumen. Adanya SNI akan membantu konsumen untuk memilih produk yang berkualitas. Adanya SNI akan membantu konsumen terbebas dari produk yang berbahaya bagi keselamatan hidup, kesehatan, ataupun lingkungan. SNI juga membuat konsumen dapat menikmati barang yang sesuai antara harga dan kualitasnya. Kemudahan menentukan pilihan produk yang baik dan tidak dapat dilakukan salah satunya dengan memeriksa, apakah produk-produk tersebut memiliki SNI atau tidak. Terutama untuk produk-produk yang SNI-nya masih bersifat sukarela.

Pihak terakhir yang mendapatkan manfaat langsung adalah pemerintah sendiri. Adanya SNI membuat pasar didalam negeri memiliki mekanisme perlindungan dari serbuan barang-barang asing yang tidak diketahui kualitasnya. Manfaat yang lain adalah dengan penerapan SNI yang lebih luas, maka akan tumbuh dinamika ekonomi baru, di mana para produsen akan berusaha untuk mendapatkan SNI atas produk mereka, sedangkan di masyarakat akan tumbuh lebih banyak lembaga sertifikasi produk yang juga kredibel untuk menilai dan menguji suatu produk. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis mengambil SNI 07-0410-1989:



Gambar 2.11 SNI Uji Bending

Dimana:

L = Jarak antara penumpu yaitu $D + 3A$

D = Tebal dari duri pelengkung

A = Tebal batang uji

α = Sudut lengkung

2.8 Tegangan dan regangan

2.8.1 Tegangan

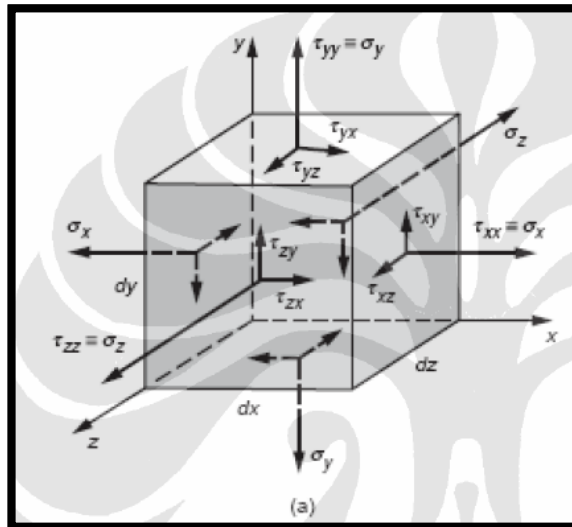
Sebuah benda dipengaruhi oleh gaya tarikan ke ujung kanan dan ke ujung kiri. Benda yang belum dikenai gaya ke arah kanan dan kiri masih dalam keadaan setimbang dan memiliki panjang mula-mula benda tersebut. Sedangkan benda yang telah dikenai gaya akan bertambah panjang. Sekarang mari kita tinjau definisi dari tegangan dan regangan. Tegangan adalah besarnya gaya yang diberikan oleh molekul-molekul terhadap luasan penampang. Persamaan tegangan dapat dituangkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = F/A$$

Keterangan:

F = gaya (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2.12 Tegangan Normal Pada Sebuah Kubus

2.8.2 Regangan

Regangan adalah pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang mula-mula yang disebabkan oleh adanya gaya luar yang mempengaruhi benda. Regangan dapat diartikan juga sebagai ukuran perubahan dimensi yang terjadi akibat tegangan.

Secara matematis tertulis:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

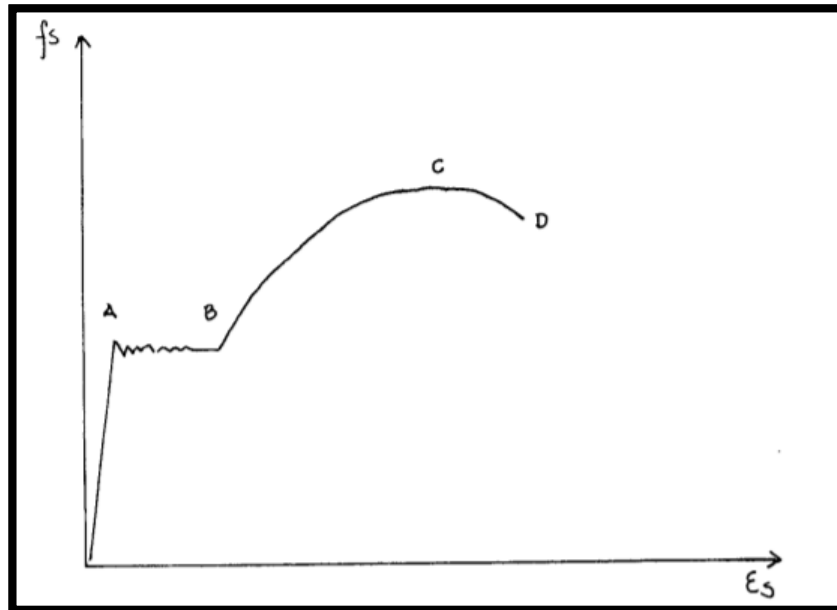
Keterangan:

ΔL = perubahan panjang (m)

L = panjang mula-mula (m)

2.8.3 Grafik tegangan regangan pada baja

Hubungan tegangan-regangan baja tulangan yang diperoleh dari hasil test tarik monoton (selanjutnya hubungannya disebut hubungan tegangan-regangan monoton). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Grafik Tegangan Regangan Pada Baja

Kurva awal sampai titik A menunjukkan daerah elastis linier. Setelah mencapai titik A, dimana titik A merupakan titik leleh, baja tulangan mengalami pertambahan regangan dengan sedikit atau tanpa adanya pertambahan tegangan, sampai pada titik B. Setelah itu baja tulangan memasuki daerah "strain hardening", yaitu daerah dimana pertambahan regangan diikuti oleh tegangan yang cukup besar sampai mencapai tegangan maksimum pada titik C. Setelah melewati titik C, pertambahan tegangan seharusnya menyebabkan bertambahnya regangan dari baja tulangan, tetapi karena luasan penampang baja tulangan mengecil maka tegangan akhirnya turun sampai putus di titik D. Tegangan pada titik A menunjukkan tegangan lelehnya dan merupakan suatu parameter yang sangat penting dari baja tulangan.

Biasanya kurva tegangan-regangan menunjukkan dengan jelas tegangan leleh atas (titik B) dan tegangan leleh bawah (titik A). Besar relatif titik leleh atas bergantung pada kecepatan pengetesan, bentuk penampang dan keadaan dari contoh baja tulangan. Titik leleh bawah biasanya dianggap sebagai parameter yang benar dan dipakai untuk menentukan tegangan leleh baja

tulangan. Panjang "yield plateau" secara umum merupakan suatu fungsi dari tegangan baja. Baja "strength high-carbon" biasanya mempunyai "yield plateau" yang lebih pendek dan total regangan yang lebih kecil sebelum putus jika dibandingkan dengan baja "lower-strength lower carbon". Hubungan tegangan-regangan yang diperoleh dari hasil test tarik dapat diasumsikan cukup baik untuk mewakili hubungan tegangan-regangan untuk baja tulangan akibat tekan. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan oleh para peneliti menunjukkan bahwa asumsi tersebut cukup layak dan dapat diterima.

2.9 Baja Ringan C-4130

Baja paduan AISI 4130 adalah baja paduan karbon sedang dan rendah dalam standar ASTM A29 . Baja ASTM 4140 juga biasa disebut sebagai baja chromoly, atau baja krom moly, mengandung karbon 0,28-0,33%, kromium 0,8-1,1% dan Molibdenum 0,15-0,25%. Hal ini mirip dengan baja 4140 yang memiliki tingkat karbon lebih tinggi (0,28-0,33%), memberikan 4130 peningkatan material yang dapat dilas, dengan mengorbankan kekuatan melalui ketebalan. Dengan perlakuan panas yang tepat, mesin ini juga siap digunakan. Annealing ASTM 4130 alloy steel menawarkan keuletan yang sangat baik. Baja AISI 4130 biasanya dipasok sebagai bilah bulat yang biasanya dalam kondisi mengeras dan marah. Grade baja AISI / SAE 4130 adalah paduan serbaguna dengan ketahanan korosi atmosferik yang baik dan kekuatan yang wajar hingga sekitar 315° C (600° F). Ini menunjukkan kombinasi keseluruhan yang baik dari kekuatan, ketangguhan dan kekuatan kelelahan. Baja ASTM A29 Grade 4130 harus ditempa antara 1230 dan 950 ° C (2250 dan 1750 ° F). Semakin rendah suhu akhir dari penempaan, semakin halus ukuran butir. Jika baja paduan 4130 ditempa pada suhu yang terlalu rendah, ada risiko pembentukan struktur yang tidak seragam di area tertentu dari bagian yang ditempa, yang memerlukan perlakuan normalisasi, sebelum perlakuan panas lebih lanjut.

Suhu normalisasi nominal untuk 4130 adalah 900 ° C (1650 ° F) diikuti oleh 1600 F rendam dan pendinginan minyak, tetapi pengalaman produksi mungkin memerlukan suhu 50 ° F (10 ° C) di atas atau di bawah angka ini. Bahkan ketika tempa

dinormalkan sebelumnya, misalnya, karburasi atau pengerasan dan temper, kisaran atas suhu normalisasi digunakan. Ketika normalisasi adalah perlakuan panas akhir, kisaran suhu yang lebih rendah digunakan. Baja 4130 harus austenitisasi - yaitu semua konstituen mikro ditransformasikan menjadi austenit - pada 1500 hingga 1600 ° F (815 hingga 870 ° C). Suhu austenitisasi aktual adalah fungsi komposisi kimia dalam rentang analisis, ukuran bagian, dan metode pendinginan. Bagian yang lebih kecil dari 4130 mungkin didinginkan dalam minyak, bagian yang lebih berat di dalam air. Temperatur tempering aktual akan tergantung pada properti apa yang dibutuhkan. Baja paduan 4130 memiliki temper antara 398 °C -565 °C (750 F dan 1050 F), tergantung pada tingkat kekuatan yang diinginkan. Semakin rendah suhu temper, semakin besar kekuatannya. Namun, temper tidak boleh dilakukan antara 200 - 420 °C (400 - 790 ° F) untuk menghindari bahaya embrittlement.