

SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH AKIBAT VARIASI BENTUK KAMPUH LAS DAN MENDAPAT PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN NORMALIZING

Nukman⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Prabumulih km 32. Indralaya 30662 Ogan Ilir
e-mail: ir_nukman2001@yahoo.com

Ringkasan

Baja karbon rendah merupakan material yang banyak digunakan untuk komponen mesin. Disebabkan karena sifatnya yang mudah dibentuk dan mampu mesin yang baik, serta mempunyai sifat mampu las yang baik. Akibat pengelasan dengan menggunakan energi panas, maka berakibat logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan deformasi dan tegangan termal. Untuk mencegahnya yaitu melalui perlakuan panas Annealing dan Normalizing. Tegangan ultimate tertinggi dimiliki spesimen non-pengelasan non-Perlakuan Panas ($\sigma_u = 53,24 \text{ kgf/mm}^2$ dengan $e = 5,552\%$). Tegangan ultimated tertinggi dimiliki spesimen dengan kampuh las V Ganda (X)–Normalizing ($\sigma_u = 52,85 \text{ kgf/mm}^2$). Hal ini akibat dari besarnya luas permukaan lasan yang dibentuk oleh jenis kampuh V ganda (X). Pada pengujian bending untuk spesimen non-pengelasan, tegangan lengkung tertinggi dimiliki spesimen non-perlakuan panas dengan $\sigma = 11,7504 \text{ kgf/mm}^2$. Pengujian bending untuk spesimen pengelasan, tegangan lengkung tertinggi dimiliki spesimen Normalizing - Kampuh Las Persegi (I) dengan $\sigma = 12,4032 \text{ kgf/mm}^2$.

ABSTRACT

Low carbon steel represent one of material which is generally used in a machine component. It has good formability and machineability, and also having the nature of able to good welding ability. Because welding can causing the happening of change metallurgi at metal, deformation and tension termal. To increase strength of extension welding that is through hot treatment by Annealing And Normalizing. The ultimated stress of specimen, highest owned by non-welding non-heat treatment ($\sigma_u = 53,24 \text{ kgf/mm}^2$ by $e = 5,552\%$). The highest ultimated stress of welding specimen owned by double type V (X) weld - normalizing specimen ($\sigma_u = 52,85 \text{ kgf/mm}^2$). This matter effect of level wide surface weld formed by double type V (X). The ultimate stress of non-welding non-heat treatment specimen, highest tension is $\sigma = 11,7504 \text{ kgf/mm}^2$. Bending test for the welding specimen, highest tension owned by spesimen Normalizing – Square type (I) ($\sigma = 12,4032 \text{ kgf/mm}^2$).

Keywords: Annealing, Normalizing, Tensile, Bending

1. PENDAHULUAN

Baja karbon rendah merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam suatu komponen mesin. Hal ini disebabkan karena sifatnya yang mudah dibentuk dan mampu mesin yang baik. Selain itu, baja karbon rendah merupakan baja yang mempunyai sifat mampu las yang baik.

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena penggunaan energi panas ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metallurgi pada logam, deformasi dan tegangan termal. Oleh karena itu salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan sambungan lasan yaitu melalui perlakuan panas Annealing dan Normalizing. Tujuannya untuk mendapatkan butiran yang lebih

halus dan keseragaman struktur, sehingga didapat keuletan yang baik pada daerah sambungan las.

Pada penelitian ini masalah yang akan dibahas diutamakan pada pengujian tarik dan pengujian bending pada baja karbon rendah setelah proses perlakuan panas (*annealing* dan *normalizing*). Sedangkan bidang lainnya adalah sebagai pendukung pembahasan.

Adapun tujuan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan kekuatan tarik dan kekuatan lengkung pada baja karbon rendah yang diberi perlakuan panas (*annealing* dan *normalizing*) dengan baja karbon rendah yang tidak diberi perlakuan panas.

- Mengetahui kekuatan tarik dan kekuatan lengkung pada baja karbon rendah yang dilas dengan variasi bentuk sambungan las yang kemudian diberi perlakuan panas (*annealing* dan *normalizing*).

2. KAJIAN PUSTAKA

Baja karbon adalah logam yang tersusun atas besi (Fe), karbon (C) dan beberapa unsur lainnya. Yang paling berpengaruh terhadap sifat mekanik baja karbon adalah unsur karbon, semakin kecil persentase karbon yang dimiliki maka baja tersebut akan semakin lunak dan ulet. Sebaliknya, semakin besar persentase karbon yang dimiliki maka baja tersebut akan semakin keras dan getas.

Selain oleh unsur karbon, sifat baja ditentukan juga dengan adanya unsur-unsur lain yang terpadu seperti mangan (Mg), fosfor (P), sulfur (S) dan silium (Si).

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) memiliki kadar karbon maksimum sebesar 0,3 %. Baja ini bersifat lunak dan ulet serta mempunyai mampu mesin (*machinability*) dan mampu las (*weldability*) yang baik. Hal ini dikarenakan rendahnya kadar karbon yang dimilikinya. Baja ini banyak digunakan untuk kawat, baja profil, ulir, paku, baut, sekrup.

Sifat Mekanik

Sifat mekanik logam merupakan salah satu sifat dasar atau bawaan yang dapat diubah dan dipengaruhi dari luar. Pengaruh tersebut biasanya berupa pemanasan pada temperatur dan waktu tertentu. Sehingga struktur mikro logam tersebut berubah, begitu pula sifat mekaniknya. Salah satu sifat mekanik material logam adalah: Kekuatan / *strength* yang merupakan ketahanan material terhadap beban yang dikenakan kepadanya. Jenis-jenis kekuatan material diantaranya :

- Kekuatan tarik (*strength tension*)
- Kekuatan luluh (*yielding strength*)
- Kekuatan patah (*fracture strength*)

Adapun cara untuk mengetahui nilai atau besar dari kekuatan material tersebut adalah dengan cara pengujian, seperti uji tarik, uji keras, uji lengkung (*bending*), uji tumbuk (*impact*) dan sebagainya.

Sifat Teknologi

Sifat teknologi merupakan kemampuan logam untuk diproses lebih lanjut dengan teknologi tertentu sesuai dengan bentuk dan kegunaan material yang akan dibuat. Sifat teknologi ini antara lain; Sifat mampu las (*Weldability*) yang merupakan kemampuan material logam yang memudahkan proses pengelasan sehingga didapat hasil pengelasan yang lebih baik dan kuat.

Pengelasan Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek, karena baja ini mempunyai sifat mampu las yang baik. (Wiryosumarto, 1991)

Jenis pengelasan yang sering dipakai pada pengelasan baja karbon rendah adalah las busur listrik dengan elektroda terbungkus.

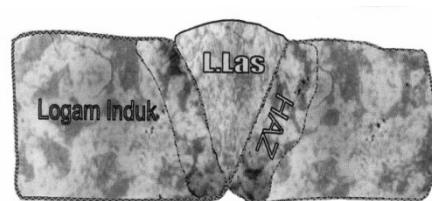
Las Busur Listrik Dengan Elektroda Terbungkus (Wiryosumarto, 1991)

Pengelasan busur listrik dengan elektroda terbungkus atau *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) adalah cara pengelasan yang prosesnya menggunakan busur listrik sebagai sumber panas dan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks sebagai filter. Pengelasan ini adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada saat ini. Busur listrik yang terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku.

Las busur listrik elektroda terbungkus, biasanya busur ditimbulkan dengan menggunakan listrik arus AC (*Alternating Current*) atau listrik arus DC (*Direct Current*). Penggunaan listrik AC banyak digunakan karena ekonomis, mudah dioperasikan dan perawatannya sederhana. Penggunaan listrik DC (*Direct Current*) sangat sesuai untuk pelat-pelat yang tipis karena mantapnya busur.

Metallurgi Daerah Lasan (Wiryosumarto, 1991)

Daerah lasan terdiri dari 3 (tiga) bagian yaitu daerah logam lasan, daerah terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah logam induk (*Base Metal*) yang tidak dipengaruhi lasan (Gambar 1).



Gambar 1: Struktur Mikro Daerah Lasan (Wiryosumarto, 1991)

Daerah Las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu proses pengelasan berlangsung mencair dan kemudian membeku. Temperatur pada daerah ini sangat tinggi. Pada daerah ini biasanya terdapat cacat-cacat las, seperti segregasi dan lubang jarum.

Daerah Terpengaruh Panas (HAZ)

Daerah terpengaruh panas dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu: daerah yang mencair sebagian dan daerah yang tidak mencair. Pada daerah yang mencair sebagian, biasanya terdapat cacat-cacat porositas mikro. Pada daerah yang tidak mencair terjadi perubahan struktur mikro akibat adanya rekristalisasi dan pertumbuhan butir (*grain growth*).

Daerah Logam Induk (Base Metal)

Daerah ini mempunyai jarak yang cukup jauh dari pusat las (*Weld Pool*), sehingga selama pengelasan

berlangsung daerah ini tidak mengalami perubahan struktur mikro maupun sifat mekaniknya.

Perlakuan Panas

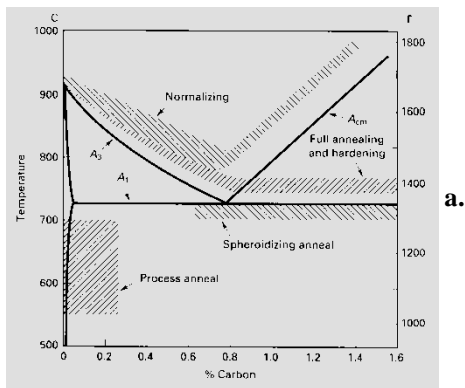
Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam dengan jalan memanaskan logam sampai temperatur tertentu sehingga terjadi perubahan fasa, lalu didinginkan dengan menggunakan media tertentu sehingga terjadi perubahan struktur mikro. Akibat perubahan struktur mikro ini maka terjadi perubahan sifat mekanik. Pendinginan dapat dilakukan dengan media pendingin udara, air, atau minyak.

Annealing

Proses *annealing* dilakukan pada logam dengan cara memanasi logam sampai temperatur 700 – 900⁰C, sedikit di atas transformasi α ke γ (A_3) *hypoeutectoid steel* dan A_1 (*Hyperectoid steel*) yang diikuti dengan pendinginan lambat dalam dapur (Gambar 2).. Tujuan pemanasan ini antara lain untuk membulatkan sementit “*preuctoid*” atau karbida lainnya. Sehingga dapat memperbaiki keuletan logam. (Amstead, 1993)

Normalizing

Proses *normalizing* termasuk dalam proses perlakuan panas (*Heat Treatment*). Normalizing dilakukan dengan cara memanaskan logam sampai temperatur di atas A_{c3} atau A_{cm} , kemudian ditahan selama jangka waktu tertentu lalu disusul dengan pendinginan di udara bebas (Gambar 2). Tujuan proses normalizing diantaranya untuk memperbaiki butir-butir (untuk menyamaratakan ukuran besar butir), untuk menghilangkan tegangan dalam, dan untuk memperoleh sifat-sifat fisis yang diinginkan. (Rundman, 1989)



Gambar 2: Diagram Perlakuan Panas
(www.aneling.com)

Hubungan Heat Affected Zone (HAZ) dengan Perlakuan Panas

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena penggunaan energi panas ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metallurgi pada logam, deformasi dan tegangan termal. Oleh karena itu salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan sambungan lasan yaitu

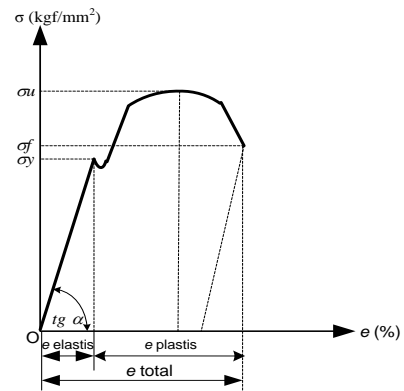
melalui perlakuan panas *Annealing* dan *Normalizing*. Tujuannya untuk mendapatkan butiran yang lebih halus dan keseragaman struktur, sehingga didapat keuletan yang baik pada daerah sambungan las.

Pengujian Mekanik

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material.

Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan luluh, kekuatan tarik, perpanjangan, ketangguhan dan modulus elastisitas. (Saito, 1999). Dua perumusan umum yang dipakai untuk menghitung tegangan dan regangan



Gambar 3: Kurva Tegangan - Regangan Teknik
(Wirjosumarto, 1991)

Rumus tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots (Kalpakjian, 1984)$$

Rumus regangan :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \dots\dots\dots (Kalpakjian, 1984)$$

Uji Lengkung

Pengujian Lengkung dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan, dalam hal ini adalah kekuatan lentur. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban yang terpusat pada jarak tertentu pada material. Sehingga dapat diketahui tegangan lengkung maksimum yang dapat dialami oleh material tersebut. (Saito, 1999)

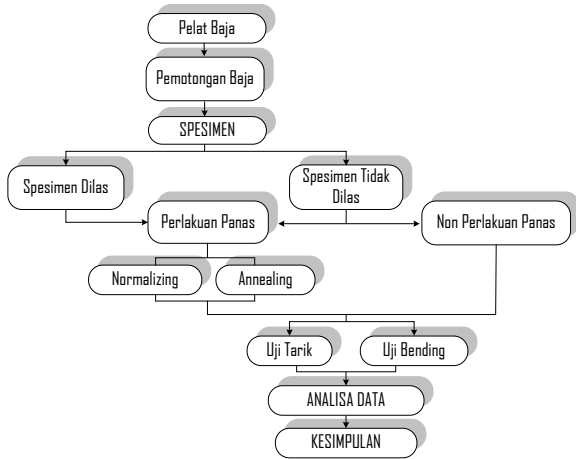
Jadi tegangan lengkung maksimumnya adalah:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} (kg / mm^2) \dots\dots\dots (Dowling, 1982)$$

III. METODELOGI PENELITIAN

Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan didukung literatur-literatur yang terkait. Urutan kerja pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir prosedur penelitian pada Gambar 4 di bawah ini :

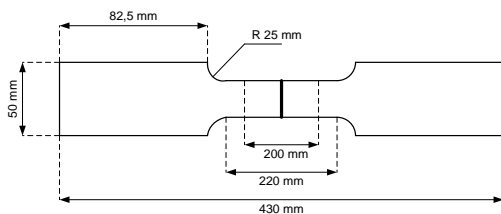


Gambar 4: Diagram Alir Prosedur Penelitian

Persiapan Material dan Pengujian Spesimen

Pembuatan Spesimen Uji Tarik

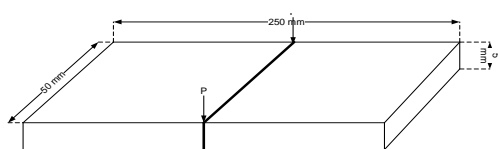
Spesimen uji tarik untuk penelitian ini berbentuk pelat dengan bentuk dan ukuran menurut standar JIS (*Japan Internasional Standard*). Hal ini dikarenakan mesin uji tarik yang digunakan menggunakan standar JIS seperti terlihat pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5: Spesimen Uji tarik

Pembuatan Spesimen Uji Lengkung

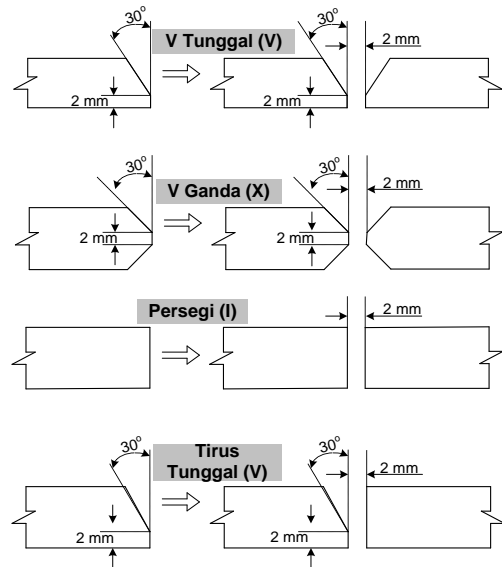
Bentuk dan ukuran spesimen uji lengkung (*bending*) untuk penelitian ini berbentuk pelat menurut standar JIS (*Japan Internasional Standard*). Pemilihan standar JIS ini dikarenakan mesin uji bending yang digunakan menggunakan standar JIS seperti terlihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6: Spesimen Uji Bending

Pembuatan Kampuh Las

Dalam proses pembuatan kampuh las, dimensi (panjang, lebar, dan tebal) yang digunakan adalah sama. Proses ini hanya dibedakan pada bentuk kampuh las saja, seperti terlihat pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7: Jenis Kampuh Las

Proses Pengelasan

Spesimen dilas dengan menggunakan las busur listrik elektroda terbungkus dengan kecepatan, arus pengelasan, jenis elektroda, dan tebal plat yang sama. Penelitian ini hanya memvariasikan bentuk kampuh las. Untuk memperhitungkan waktu pengelasan secara cermat, maka digunakan pengukur waktu (*stopwatch*). Sedang untuk arus pengelasan, diatur dari mesin las yang digunakan.

Annealing

Setting temperatur 800 °C, setting *holding time* 30 menit. Spesimen dimasukkan ke dalam tungku. Ketika waktu *holding time* habis, temperatur akan menurun perlahan-lahan. Spesimen dibiarkan di dalam tungku selama 24 jam.

Normalizing

Spesimen yang sudah dilas, dimasukkan ke dalam tungku pemanas. Dalam proses normalizing, dilakukan pemanasan di dalam tungku pemanas (TNW WAALWUK-HOLLAND).

Setting temperatur 800 °C, setting *holding time* 30 menit. Spesimen dimasukkan ke dalam tungku. Pendinginan spesimen di udara bebas (temperatur kamar)

Pengujian Tarik

Pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* type Rat-30P dengan kapasitas 30 TF. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas

Sriwijaya. Mesin uji tarik memakai standar JIS dengan menggunakan beban maksimum 6 Tonforce.

Pengujian Lengkung

Pengujian lengkung dilakukan bertujuan untuk mengetahui kekuatan lengkung spesimen terhadap beban statis tertentu. Pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik dan *bending: Universal Testing Machine, Type: RAT-30 P, MFG. No:20861, Capacity: 30000 kgf, Maker: TOKYO TESTING MACHINE MFG.Co.,Ltd. JAPAN*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian Tarik

Hasil uji tarik didapat beban tarik. Untuk masing-masing spesimen dan perlakuan panas hasilnya dapat dilihat pada table 1, 2, dan 3.

Tabel 1: Rerata Pengujian Tarik Spesimen Non-Pengelasan

Jenis Perlakuan (1)	Jenis Perlakuan (2)	Pu (kgf)	Py (kgf)	Pf (kgf)
Non Pengelasan	Non - Perlakuan	6655	4670	5810
	Annealing	5260	3265	4685
	Normalizing	5940	4005	5365

Tabel 2: Rerata Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan-Annealing

Jenis Perlakuan	Jenis Kampuh Las	Pu (kgf)	Py (kgf)	Pf (kgf)
Pengelasan - Annealing	Persegi (I)	4010	3245	3815
	V tunggal (V)	4220	3455	3770
	V ganda (X)	4535	3200	4320
	Tirus tunggal (V)	4435	3345	3855

Tabel 3: Rerata Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan-Normalizing

Jenis Perlakuan	Jenis Kampuh Las	Pu (kgf)	Py (kgf)	Pf (kgf)
Pengelasan - Normalizing	Persegi (I)	4840	3665	4535
	V tunggal (V)	4795	3930	4550
	V ganda (X)	5285	4065	4850
	Tirus tunggal (V)	5120	3975	4780

Data Hasil Pengujian Bending

Untuk masing-masing spesimen dan perlakuan panas hasilnya dapat dilihat pada table 4, 5 dan 6.

Tabel 4: Rerata Pengujian Lengkung Spesimen Non-Pengelasan

Jenis Perlakuan (1)	Jenis Perlakuan (2)	P (kgf)
Non - Pengelasan	Non - Perlakuan	288
	Annealing	220
	Normalizing	252

Tabel 5: Rerata Pengujian Lengkung Spesimen Pengelasan-Annealing

Jenis Perlakuan	Jenis Kampuh Las	P (kgf)
Pengelasan - Annealing	Persegi (I)	236
	V tunggal (V)	234
	V ganda (X)	229
	Tirus tunggal (V)	203

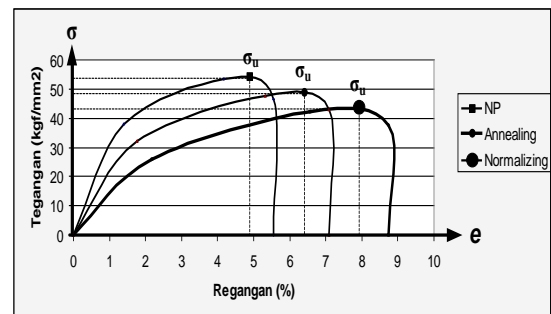
Tabel 6: Rerata Pengujian Lengkung Spesimen Pengelasan-Normalizing

Jenis Perlakuan	Jenis Kampuh Las	P (kgf)
Pengelasan - Normalizing	Persegi (I)	304
	V tunggal (V)	258
	V ganda (X)	237
	Tirus tunggal (V)	244

Dengan menggunakan persamaan-persamaan terdahulu, maka tegangan tarik dapat dihitung dan ditabelkan (lihat tabel 7 dan 8)

Tabel 7: Hasil Perhitungan Harga σ_u , σ_y , σ_f dan e Pengujian Tarik Spesimen Non-Pengelasan

Jenis Perlakuan	σ_u (kgf/mm ²)	σ_y (kgf/mm ²)	σ_f (kgf/mm ²)	Δe (mm)	e (%)
Non - Perlakuan	53,24	38,08	46,48	24	5,552
Annealing	42,08	26,12	37,48	37,8	8,749
Normalizing	47,52	32,04	42,92	30,6	7,082



Gambar 6: Uji Tarik Tegangan *Ultimated* (σ_u) vs Regangan (e) untuk Spesimen Non-Pengelasan

Dari gambar 6 di atas, tegangan *ultimated* tertinggi dimiliki oleh spesimen Non-Perlakuan Panas ($\sigma_u = 53,24 \text{ kgf/mm}^2$). Sedangkan tegangan *ultimated* terkecil dimiliki oleh spesimen *Annealing* ($\sigma_u = 42,08 \text{ kgf/mm}^2$). Berdasarkan teori yang sudah ada, "Tujuan utama dari proses anil adalah pelunakan. Jika baja di-*Annealing* (yaitu dengan cara memanaskan baja sedikit di atas suhu kritis A_{c3} , dibiarkan sampai temperatur merata kemudian disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan), struktur kembali menjadi austenit dan pendinginan perlahan-lahan memungkinkan terjadinya transformasi dari austenit menjadi struktur yang lebih lunak". (Amstead, 1993)

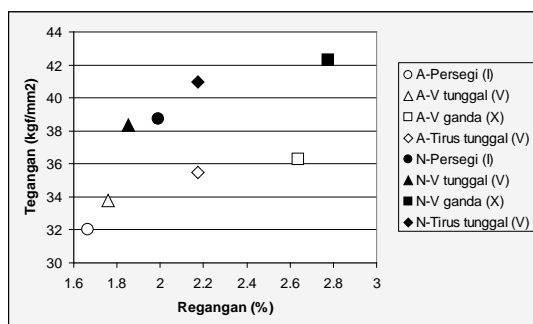
Dari tabel 2 dan 3, dapat dibuat tabel 8 dan 9 yang merupakan besaran tegangan tarik spesimen.

Tabel 8: Hasil Perhitungan Harga σ_u , σ_y , σ_f dan e Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan-*Annealing*

Jenis Kampuh Las	σ_u (kgf/mm ²)	σ_y (kgf/mm ²)	σ_f (kgf/mm ²)	Δe (mm)	e (%)
Persegi (I)	32,04	25,96	30,52	7,2	1,665
V tunggal (V)	33,76	27,64	30,16	7,6	1,758
V ganda (X)	36,28	25,6	34,56	11,4	2,638
Tirus tunggal (V)	35,48	26,78	30,84	9,4	2,175

Tabel 9: Hasil Perhitungan Harga σ_u , σ_y , σ_f dan e uji Tarik Spesimen Pengelasan-*Normalizing*

Jenis Kampuh Las	Σu (kgf/mm ²)	Σy (kgf/mm ²)	σ_f (kgf/mm ²)	Δe (mm)	e (%)
Persegi (I)	38,72	29,32	36,28	8,6	1,990
V tunggal (V)	38,36	31,44	36,4	8	1,851
V ganda (X)	42,28	32,52	38,8	10	2,777
Tirus tunggal (V)	40,96	33,04	38,24	9,4	2,175



Gambar 7: Uji Tarik Perbandingan Tegangan (σ_u) dan Regangan (e) untuk Spesimen Pengelasan

Dari gambar 7, dapat dilihat tegangan *ultimated* tertinggi dimiliki oleh spesimen V Ganda (X) - *Normalizing* dengan $\sigma_u = 42,28 \text{ kgf/mm}^2$. Sedangkan tegangan *ultimated* terendah dimiliki oleh spesimen Persegi (I) - *Annealing* dengan $\sigma_u = 22,04 \text{ kgf/mm}^2$. Hal ini akibat dari besarnya luas permukaan lasan yang dibentuk oleh jenis kampuh V ganda (X).

Tabel 10: Pengujian Lengkung Spesimen Non-Pengelasan

Jenis Perlakuan (1)	Jenis Perlakuan (2)	P (kgf)	σ (kgf/mm ²)
Non - Pengelasan	Non - Perlakuan	288	11,7504
	<i>Annealing</i>	220	8,976
	<i>Normalizing</i>	252	10,2816

Dari table 10 terlihat bahwa, pada pengujian lengkung untuk spesimen non-pengelasan ini, tegangan lengkung tertinggi dimiliki oleh spesimen non-perlakuan panas dengan $\sigma = 11,7504 \text{ kgf/mm}^2$. Sedangkan untuk tegangan lengkung terendah dimiliki oleh spesimen *Annealing* dengan $\sigma = 8,976 \text{ kgf/mm}^2$

Untuk spesimen yang dilas dengan perlakuan panas, besarnya tegangan lengkung seperti pada tabel 11 dan 12. Nilai tegangan lengkung maksimum terdapat pada spesimen yang dilas dengan perlakuan panas *normalizing* yaitu sebesar $12,4132 \text{ kgf/mm}^2$ (spesimen persegi I). Sedangkan yang terendah pada spesimen lasan yang di *annealing* tirus tunggal (V) sebesar $8,2824 \text{ kgf/mm}^2$.

Tabel 11: Rerata Pengujian Lengkung Spesimen Pengelasan-*Annealing*

Jenis Perlakuan	Jenis Kampuh Las	P (kgf)	σ (kgf/mm ²)
Pengelasan - <i>Annealing</i>	Persegi (I)	236	9,6288
	V tunggal (V)	234	9,542
	V ganda (X)	229	9,3432
	Tirus tunggal (V)	203	8,2824

Tabel 12: Rerata Pengujian Lengkung Spesimen Pengelasan-*Normalizing*

Jenis Perlakuan	Jenis Kampuh Las	P (kgf)	σ (kgf/mm ²)
Pengelasan - <i>Normalizing</i>	Persegi (I)	304	12,4032
	V tunggal (V)	258	10,5264
	V ganda (X)	237	9,6696
	Tirus tunggal (V)	244	9,9552

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan uji komposisi yang dilakukan, spesimen yang digunakan dalam pengujian ini adalah material baja karbon rendah dengan kadar karbon sebesar 0,149%.
2. Berdasarkan pengujian tarik yang telah dilakukan terhadap 55 buah spesimen, diperoleh kekuatan tarik terbesar untuk spesimen non pengelasan yaitu untuk non-perlakuan panas sebesar 42,28 kgf/mm², terkecil untuk *annealing* sebesar 32,04 kgf/mm². Sedangkan untuk spesimen yang dilas, tegangan tarik terbesar terdapat pada spesimen dengan jenis V ganda (X) perlakuan *normalizing* sebesar 52,85 kgf/mm², terkecil untuk Persegi (I) dengan perlakuan *annealing* sebesar 40,10 kgf/mm².
3. Untuk spesimen yang tidak dilas, patah yang terjadi akibat uji tarik adalah patah ulet, berbentuk *cup* dan *cone*. Hal ini dikarenakan spesimen yang digunakan adalah material baja karbon rendah. Baja karbon rendah memiliki < 0,30 %C, dan mempunyai sifat yang lunak, ulet dan kekuatan yang rendah. Unsur karbon sangat mempengaruhi kekuatan tarik material baja karbon rendah. Perlakuan panas yang diterapkan juga bersifat melunakkan.
4. Untuk spesimen pengelasan, patahan terjadi di daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Hal ini dikarenakan logam lasan sudah memiliki struktur mikro yang merata dan sifat yang sama dengan logam induk, akibat dari proses perlakuan panas (*Annealing* dan *Normalizing*) yang digunakan.
5. Spesimen yang di-*Annealing* bersifat lebih lunak, dibanding spesimen yang di-*Normalizing*. Hal ini dapat dilihat pada tabel 7, spesimen di-*Annealing*:

$$\overline{\sigma_u} = 42,08 \text{ kgf/mm}^2 \text{ dengan } e = 8,749\%$$
sedangkan spesimen di-*Normalizing* :
$$\overline{\sigma_u} = 47,52 \text{ kgf/mm}^2 \text{ dengan } e = 7,082\%$$
6. Berdasarkan pengujian bending yang telah dilakukan terhadap 55 buah spesimen, diperoleh kekuatan lengkung terbesar untuk spesimen non-pengelasan dengan non-perlakuan panas adalah 11,7504 kgf/mm² dan terkecil dengan perlakuan *annealing* sebesar 8,976 kgf/mm². Sedangkan untuk spesimen yang dilas, terbesar kekuatan lengkung untuk spesimen dilas dengan kampuh Persegi (I) yang mengalami perlakuan *normalizing* sebesar 12,4032 kgf/mm², sedangkan terkecil pada spesimen Tirus tunggal (V) yang di *annealing* dengan kekuatan lengkung 8,2824 kgf/mm²
7. Bahan yang mudah ditekuk, ditarik, diregang, dibentuk atau diubah bentuknya secara permanen, disebut bahan ulet. Semakin lunak/ulet suatu baja, maka semakin mudah untuk dilengkungkan. Sehingga tidak memerlukan beban yang besar untuk melengkungkan baja tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Amstead, B.H, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begemen, dan Sriati Djaprie, *Teknologi Mekanik*, Jilid 1, Edisi Ketujuh, Erlangga, Jakarta, 1993
- [2.] Dowling, E , Norman, *Mechanical Behavior Of Materials-Engineering Methods For Deformation, Fracture, and Fatigue*, Prentice-Hall International Editions, 1982.
- [3.] Kalpakjian, Serope, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Addison-Wesley Publishing Company, Canada, 1984.
- [4.] Rundman, Karl B, *Heat Treating of Ductile Irons* ASM Handbook, Vol 4, Park Ohio, 1989.