

PENGARUH PERUBAHAN DIAMETER PERMUKAAN GUN TIP PADA PROSES SPOT WELDING TERHADAP KUALITAS SIFAT MEKANIK NUGGET WELD DI PT. XYZ

Rohman¹, Dede Abdi Rajab², Arif Rahman³

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana

¹ rohman@stt-wastukencana.ac.id, ² dedeardirajab@stt-wastukencana.ac.id, ³ arif.rahmanasyam@gmail.com

Abstrak

Proses *spot welding* merupakan teknik pengelasan yang banyak digunakan pada *manufacture otomotive*. Salah satu keutamaannya untuk menghasilkan kualitas produk yang terjamin dan rapih, adapun permasalahan yang diakibatkan dari proses spot welding ialah *spot lose* atau pengelasan yang tidak menempel.

Untuk mengetahui permasalahan spot lose ada beberapa faktor yang berkaitan, diantaranya parameter spot welding, proses pengerjaan, diameter ujung gun tip, material part dan sirkulasi pendinginan. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jumlah pengelasan yang ke 1, 100, 200, 300, 400 dan 500 kali pengelasan. Material yang digunakan low steel JIS S 20C, parameter disesuaikan dengan standar pemakaian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari *nugget weld* diantaranya pengujian tarik dan pengujian kekerasan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah pengelasan berpengaruh pada diameter ujung gun tip, sehingga pembesaran pada ujung diameter *gun tip* mempengaruhi luas alas diameter *nugget weld*, pada pengelasan yang ke 1 menghasilkan UTS tegangan geser paling besar yaitu 27,30 kg/mm² dan kekerasan pada daerah las sebesar 38 HRC, sedangkan pada pengelasan yang ke 500 menghasilkan penurunan UTS tegangan geser hingga 10,67 kg/mm² dan kekerasan pada daerah las sebesar 39 HRC.

Kata kunci : *spot welding, gun tip, diameter nugget weld.*

1. PENDAHULUAN

Spot welding merupakan proses penyambungan *material plate* dengan menggunakan teknik pengelasan resistansi listrik, dengan menggabungkan dua atau tiga *material plate* logam yang di jepit diantara *gun tip* sehingga terjadi persinggungan pada saat arus dialirkan, hingga suhu pengelasan tercapai dan tekanan *gun tip* yang bersinggungan akan membentuk sambungan las. Mutu dan karakteristik dari pengelasan titik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti waktu pengelasan, besarnya arus, tegangan listrik, diameter *gun tip* dan besarnya tekanan.

Berdasarkan data permasalahan yang terjadi dari hasil las titik terhadap kualitas *nugget* yang terbentuk ialah hasil pengelasan yang tidak baik atau lepasnya *nugget* (*spot lose*). Kualitas las tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti parameter las titik yaitu (kuat arus, *air pressure*, *welding time*, *hold time*), proses pengelasan, diameter dan paduan *material elektroda gun tip*, saluran pendinginan dan *material part* yang digunakan.

Perubahan dimensi (*deformasi*) pada *gun tip* akibat proses pengelasan dapat mempengaruhi diameter *gun tip* menjadi lebih besar, sehingga dapat mempengaruhi terhadap kualitas *nugget* hasil *spot welding*, untuk mengetahui apakah terjadi perubahan

kekuatan mekanik akibat kuantitas *spot welding* terhadap kualitas material *nugget weld*, maka akan dilakukan penelitian dengan memvariasikan proses pengelasan yang ke 1, 100, 200, 300, 400 dan 500 kali, dengan *material plate* yang digunakan ialah *material low steel JIS S 20C* paduan *galvanis* (*material GA*), dengan ketebalan *plate* sama yaitu 1 mm dengan metode sambungan tumpang (*lap join*) dua *material plate*.

2. STUDI LITERATUR

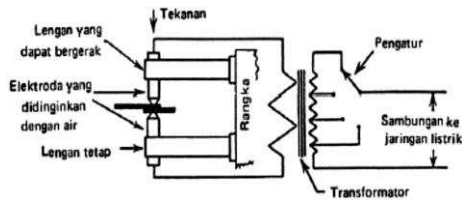
2.1 Definisi Pengelasan

Las adalah ikatan metalurgi dari sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Sedangkan pengelasan adalah proses penyambungan *material plate* logam menjadi satu yang dilakukan dengan cara memanaskan *material* yang akan disambung dengan menggunakan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), dan (*filler*)^[5].

2.1.1 Pengertian Las Titik (*Resistensi spot welding*)

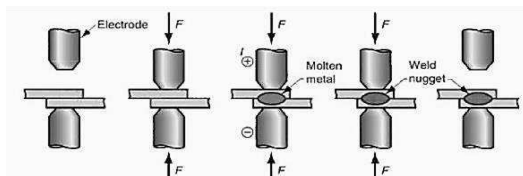
Las titik ialah suatu cara pengelasan dimana dua permukaan *material plate* yang disambungkan, kemudian ditekan melalui *electrode gun tip* dan terjadi persinggungan, pada saat arus listrik kecil dialirkan maka terjadi hambatan diantara kedua

material plate yang disambung, sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik diantara kedua *material plate* yang di jepit, kemudian dialirkan arus listrik yang besar dalam waktu yang singkat hingga *material plate* logam tersebut mencair dan tersambung, sedangkan pada bagian kontak *electrode* tembaga pada *material plate* tidak mengalami cair dikarenakan ujung *electrode* didinginkan dengan air dalam sirkulasi pendinginan.^[5]



Gambar 1 Skema las titik.

Berdasarkan gambar 1 skema las titik dimulai ketika *electrode* menekan *material plate* dimana arus dialirkan waktu proses ini disebut waktu tekan (*squeeze time*), setelah itu arus dialirkan sehingga timbul panas pada *material plate* di posisi *elektroda* sehingga terbentuk sambungan las dan waktu proses ini disebut waktu pengelasan (*heat or weld time*), selanjutnya arus dihentikan namun tekanan tetap ada dan proses ini disebut waktu tenggang (*hold time*). Kemudian logam dibiarkan mendingin sampai sambungan menjadi kuat dan tekanan di hilangkan.^[6]



Gambar 2 Siklus pengelasan.

Pada gambar 2 menjelaskan siklus pengelasan *spot welding*, diantaranya:

- Sebelum *weld pressure*
- Waktu tekan (*Squeeze time*)
- Waktu pengelasan (*Weld time*)
- Waktu tenggang (*Hold time*)
- Off time*

2.2 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas permukaan, terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan geser terjadi karena adanya gaya radial F yang bekerja pada penampang normal dengan jarak yang relatif kecil maka pelengkungan benda di abaikan, dengan persamaan:

$$\tau_g = \frac{F}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Dimana :

F = Gaya dalam (N)

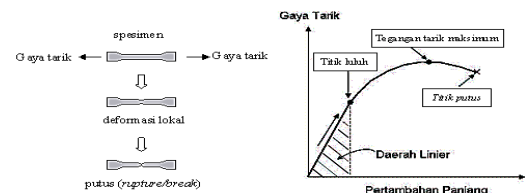
A = Luas penampang (m^2)

τ_g = tegangan geser

2.3 Uji Tarik

Didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan gaya yang bekerja pada *material* tersebut, kekuatan *material* dapat diketahui dengan uji tarik. Dari uji tarik akan diperoleh sifat-sifat *material*, rancangan dasar suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara *kontiniu*, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan benda uji. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji.

Kurva pada gambar 3 menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.^[6]



Gambar 3 Gambaran singkat uji tarik.

Menurut hukum *Hooke* bahwa hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Pada daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan.

2.2.1 Tegangan (*stress*)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dimana:

σ = Kekuatan tarik geser *material* (Kg/mm^2)

P = Beban (Kg)

A = Luas penampang (mm^2)

2.2.2 Regangan (*strain*)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3)$$

Dimana:

ΔL = Pertambahan panjang

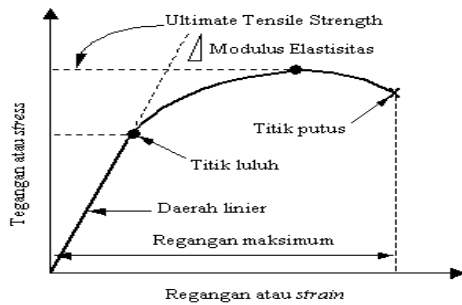
L = Panjang awal

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

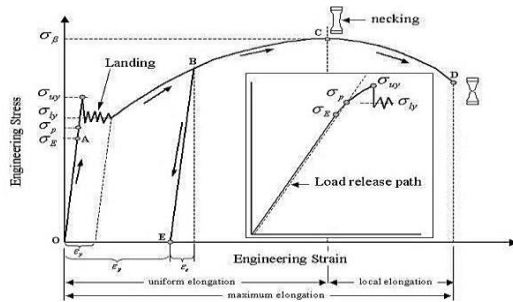
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas



Gambar 3 Kurva tegangan-regangan.

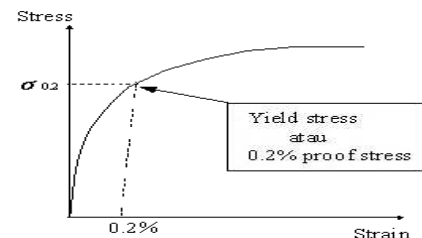


Gambar 4 Profil data hasil uji tarik.

Sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada gambar 2.13 ialah:

1. Batas elastis σ_E (*elastic limit*) bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula), yaitu regangan "nol" pada titik O. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat *konvensi* batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%.
2. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*) titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
3. Deformasi plastis (*plastic deformation*) yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.
4. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*) tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis.
5. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*) tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
6. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*) regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

7. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*) regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
8. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*) regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
9. Regangan total (*total strain*) merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
10. Tegangan tarik maksimum *UTS* (*ultimate tensile strength*) ditunjukkan dengan titik C (σ_p), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
11. Kekuatan patah (*breaking strength*) ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan dimana bahan yang diuji putus atau patah.
12. Tegangan luluh pada data tanpa batas jelas antara perubahan elastis dan plastis untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan *landing* yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain*.



Gambar 5 Penentuan tegangan luluh.

13. Kelenturan (*ductility*) Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).
14. Derajat kelentingan (*resilience*) Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dengan satuan *strain energy per unit volume* (Joule/m³ atau Pa).
15. Derajat ketangguhan (*toughness*) Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus Ketangguhan (modulus of toughness).
16. Pengerasan regangan (*strain hardening*) Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan

naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis.

17. Tegangan sejati, regangan sejati (*true stress*, *true strain*) Dalam beberapa kasus definisi tegangan dan regangan seperti yang telah dibahas di atas tidak dapat dipakai. Untuk itu dipakai definisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*.

2.3 Uji Kekerasan

Kekerasan suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menahan deformasi plastis. Kekerasan didefinisikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan. Terdapat 3 jenis umum mengenai ukuran kekerasan, (1) kekerasan goresan (*scratch hardness*), (2) kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan (3) kekerasan pantulan (*rebound*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*).^[4]

Test	Indenter	Shape of Indentation	Load	Formula for Hardness Number ^a
Brinell	10mm sphere of steel or tungsten carbide		P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid		P	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid		P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone; 1/16, 1/8, 1/4 in. diameter steel spheres		60 kg 100 kg 150 kg 30 kg 45 kg	Rockwell Superficial Rockwell

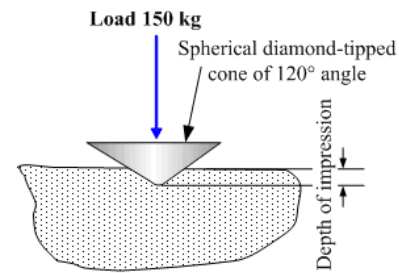
Gambar 6 Standard uji kekerasan.

2.3.1 Uji kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil (beban minor) sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Kemudian diterapkan beban yang besar (beban mayor), dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam oleh *gauge* penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Untuk indentornya biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan 120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan *penumbuk Brale*, serta bola baja berdiameter 1/16 inchi dan 1/8 inchi. Beban besar yang digunakan adalah 60, 100 dan 150 kg. Karena beban Rockwell tidak tergantung pada beban dan penumbuk.

Table 1 Rokwell *hardness tester*

SKALA	IDENTOR	BEBAN	BAHAN YANG DIUJI
HRA	Kerucut Intan sudut 120°	60	logam keras tipis, baja dengan kekerasan medium
HRB	Bola baja dikeraskan 1/16 inchi	100	baja lunak atau logam non ferro
HRC	Kerucut Intan sudut 120°	150	baja keras hasil proses pengelasan



Gambar 7. Uji kekerasan rockwell.

2.4 Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana bertujuan mempelajari hubungan linier antara dua variabel. Dua variabel tersebut dibedakan menjadi variabel bebas (X) dan variabel tak bebas (Y). Variabel bebas adalah variabel yang bisa dikontrol, sedangkan variabel tidak bebas adalah variabel yang mencerminkan respon dari variabel bebas.^[3]

Tahapan awal penentuan regresi adalah memformulasikan permasalahan. Dari teori dan penelitian-penelitian dapat diketahui variabel-variabel yang harus dimasukkan ke permasalahan, jumlah variabel penjelas yang harus dimasukkan dan bentuk fungsi yang sesuai. Untuk regresi linier sederhana, bentuk fungsi yang sesuai dapat diperkirakan melalui diagram pancar antara X dan Y.

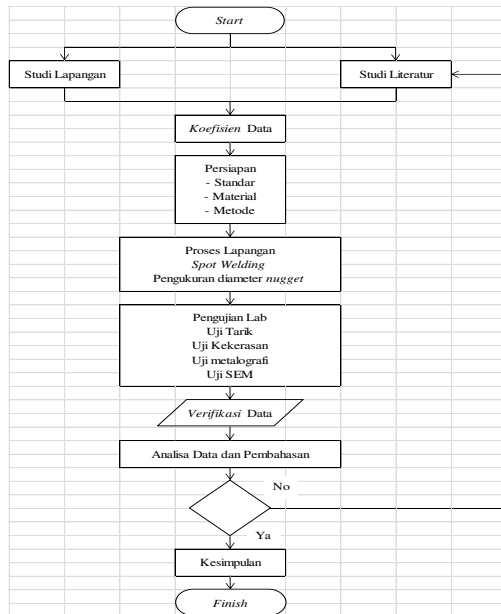
Model Regresi Linier Sederhana

$$Y = a + bx \quad (5)$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (6)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (7)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 8 Diagram alir penelitian

Pada gambar 9. Material yang digunakan ialah *material low steel* dengan paduan galvanis (*material plate SP121*) dengan raw material JIS S 20C, dengan ketebalan 1 mm dan dimensi sesuai standar (AWS D8.9-97).



Gambar 9. Material *low steel* JIS S 20C.

Tabel 2. Dimensi Pengujian Tarik (AWS D8.9-97).

Sheet Thickness (mm)	Coupon length (mm)	Coupon Width Wb (mm)	Overlap Ob (mm)	Sample Length Sla (mm)	Uncamped Length Ulb (mm)	Gripped Length Gla (mm)
0.60-1.29	105	45	35	175	95	40
1.30-3.00	138	60	45	230	105	62.5

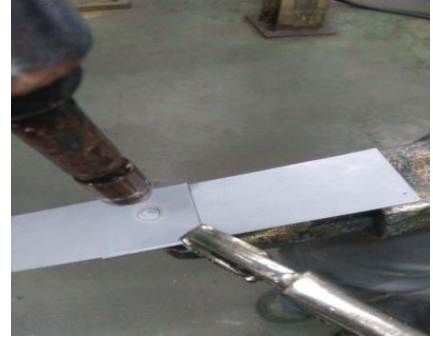
Note :

- Dapat ditingkatkan untuk mengakomodasi perlengkapan mencengkram.
- Toleransi ± 1 mm

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengelasan

- proses pengelasan pada *specimen uji*



Gambar 10. Proses pengelasan *specimen uji*.

Pada gambar 10 melakukan proses pengelasan pada *speciment* dengan memvariasikan jumlah pengelasan yang ke 1, 100, 200, 300, 400, 500 kali.

- Proses pengelasan *additional*



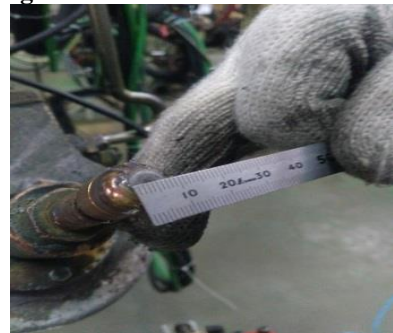
Gambar 11. Proses pengelasan *material additional*.

Pada gambar 11 melakukan pengelasan *additional* yang ke 2 hingga 499 kali pada *material additional*, dengan jenis dan ketebalan *material* sama seperti *specimen uji*.

4.1.1 Pengukuran diameter standar

Pengukuran menggunakan *tip gauge* atau *taper gauge* untuk mengetahui perubahan diameter.

4.1.2 Pengukuran diameter permukaan *gun tip* hasil pengelasan



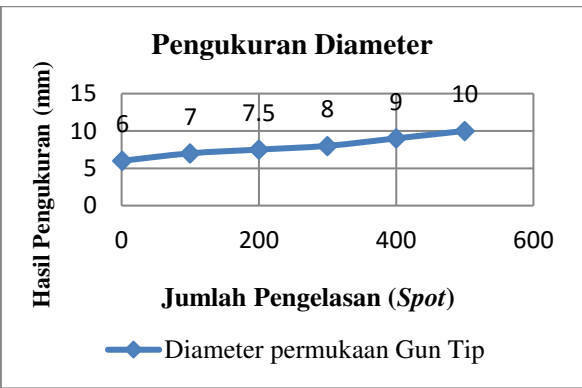
Gambar 12. Pengukuran permukaan diameter *gun tip*.

Pada gambar 12 terlihat bahwa terjadi perubahan diameter permukaan *gun tip* setelah pengelasan yang ke 100 kali, perubahan yang terjadi sebesar 1 mm sehingga pada pengelasan yang ke

100 kali menjadi 7 mm. Namun pada pengelasan yang ke 200 dan 300 kali perubahan diameter *gun tip* hanya sebesar 0.5 mm, diameter permukaan *gun tip* menjadi 7.5 mm pada pengelasan yang ke 200 kali dan pada pengelasan yang ke 300 kali diameter permukaan *gun tip* menjadi 8 mm. Tetapi pada pengelasan yang ke 400 dan 500 perubahan diameter permukaan *gun tip* berkisar 1 mm, sehingga pada pengelasan yang ke 400 dan 500 kali diameter ujung *gun tip* menjadi 9 dan 10 mm.

Tabel 3. Hasil pengukuran proses pengelasan.

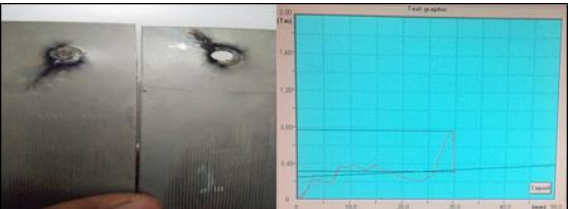
Specimen	Jumlah Pengelasan	Diameter permukaan Gun Tip
A	1	6
B	100	7
C	200	7.5
D	300	8
E	400	9
F	500	10



Gambar 13. Grafik pengukuran diameter.

4.2 Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menghasilkan tegangan geser yang dihasilkan dalam satuan (kg/mm^2). Pengujian tarik dilakukan pada *specimen* A s/d F. Berikut dibawah ini salah satu tampak benda uji dan grafik uji tarik.

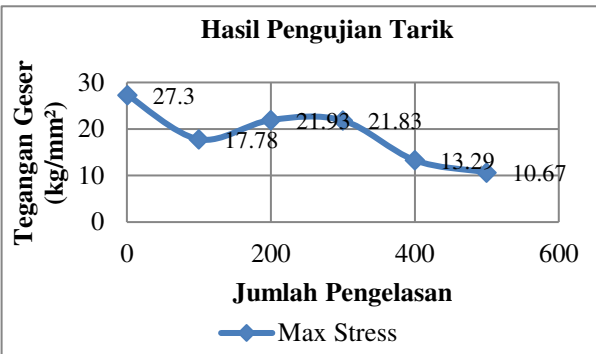


Gambar 14. Menunjukkan grafik pada *specimen* A dengan pengelasan yang pertama, dimana tegangan geser yang dihasilkan 27.30 kg/mm^2

Tabel 4. Pengujian geser.

Specimen	Proses Pengelasan (titik)	Max Stress (kg/mm^2)	Max Force (kg)	True Area (mm^2)	Elastic Limit (kg/mm^2)	Elastic Force (kg)
A	1	27.30	772	28.27	11.10	314
B	100	17.78	590	33.17	14.21	547
C	200	21.93	844	38.48	21.23	817
D	300	21.83	964	44.18	19.45	859
E	400	13.29	845	63.58	18.20	830
F	500	10.67	830	78.05	17.45	750

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian tarik antara perbandingan proses pengelasan terhadap tegangan geser.



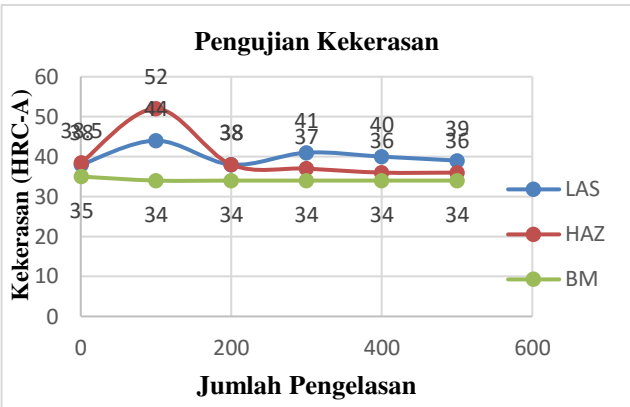
Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian geser, secara grafik perbandingan antara jumlah pengelasan terhadap tegangan geser berbanding terbalik, karena jumlah pengelasan semakin banyak maka tegangan yang terjadi semakin menurun.

4.3 Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan rockwell pada daerah las, HAZ dan *base metal*.

Tabel 5. Hasil pengujian kekerasan rockwell

SPECIMEN	PROSES PENGELASAN	LAS	HAZ	BM
A	1 titik	38 HRC (A)	38.5 HRC (A)	35 HRC (A)
B	100 titik	44 HRC (A)	52 HRC (A)	34 HRC (A)
C	200 titik	38 HRC (A)	38 HRC (A)	34 HRC (A)
D	300 titik	41 HRC (A)	37 HRC (A)	34 HRC (A)
E	400 titik	40 HRC (A)	36 HRC (A)	34 HRC (A)
F	500 titik	39 HRC (A)	36 HRC (A)	34 HRC (A)



Gambar 15. Grafik uji kekerasan rockwell.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan rockwell skala A, secara grafik terjadi hasil yang sangat bervariasi, perbandingan antara jumlah pengelasan terhadap hasil uji kekerasan. Pada daerah LAS dan HAZ terjadi kenaikan kekerasan dari jumlah pengelasan yang ke 1 hingga ke 100 titik dan terjadi penurunan kekerasan dari jumlah pengelasan yang ke 200 hingga ke 500 titik. Pada daerah BM kekerasan rata-rata sama, dari jumlah pengelasan yang ke 1 hingga 500 kali terhadap material yang digunakan.

4.4 Regresi Linier

4.4.1 Perbandingan antara diameter ujung *gun tip* dengan tegangan geser

Tabel 6. Analisa regresi sederhana

No	Diameter <i>Gun Tip</i>	Tegangan <i>Maximum</i>	X ²	Y ²	X.Y
	X	Y			
1	6	27.3	36	745.29	163.8
2	7	17.78	47	316.12	124.46
3	7.5	21.93	56.25	481.92	164.47
4	8	21.83	64	477.54	174.64
5	9	13.29	81	177.62	119.61
6	10	10.67	100	114.84	106.7
Σ	47.5	112.8	386.25	2309.33	853.68

$$y = a + bx$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(112.8 \times 386.25) - (47.5 \times 853.68)}{6(386.25) - 47.5^2}$$

$$a = 49.29$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{6(853.68) - (47.5 \times 112.8)}{6(386.25) - 47.5^2}$$

$$b = -3.85$$

Maka persamaan regresi antara diameter *gun tip* dengan tegangan *maximum* adalah:

$$y = 49.29 + (-3.85)x$$

Dimana, x = Nilai Diameter *Gun Tip*

y = Nilai Tegangan Geser

Maka setiap penambahan nilai diameter 1 mm, akan mengurangi tegangan *maximum* -3.85 kg/mm². Untuk peramalan dicoba dengan diameter 8 mm, maka tegangan *maximum* nya adalah

$$y = 49.29 + (-3.85).8$$

$$y = 18.49$$

Dari hasil yang diperoleh dapat dibandingkan antara aktual diameter ujung *gun*

tip dan tegangan *maximum* dengan hasil peramalan nya. Dengan tegangan *maximum* yang sebenarnya, apabila diameter 8 mm adalah 21.83 kg/mm², sedangkan hasil peramalan 18.49 kg/mm².

Standar *Error Estimate* Persamaan Regresi:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{2309.33 - (49.29 \times 112.8) - (-3.85) \times 853.68}{6 - 2}}$$

$$S_e = 3.002$$

Apabila semakin tinggi nilai S_e , berarti kesalahan pendugaan semakin tinggi.

Standar Error Koefisien Regresi:

$$S_b = \frac{S_e}{\sqrt{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}}$$

$$S_b = \frac{3.002}{\sqrt{386.25 - \frac{(47.5)^2}{6}}}$$

$$S_b = 0.94$$

Untuk nilai S_b , maka nilai standar error kemiringannya ialah 0.94

Koefisien Korelasi sederhana:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n(\sum x^2) - (\sum x)^2\}\{n(\sum y^2) - (\sum y)^2\}}}$$

$$r =$$

$$= \frac{6(853.68) - (47.5 \times 112.8)}{\sqrt{\{6(386.25) - (47.5)^2\} \times \{6(2309.33) - (112.8)^2\}}}$$

$$r = -0.89$$

Dapat disimpulkan bahwa ke 2 variabel berhubungan negatif sempurna antara diameter ujung *gun tip* dengan tegangan *maximum*. Semakin besar diameter *gun tip* maka semakin turun nilai tegangan *maximum*.

$$R^2 = -0.89^2 = 0.79 \times 100\%$$

Artinya sebesar 79% variasi dari variabel diameter *gun tip* dapat mempengaruhi variasi dari variabel nilai tegangan *maximum*.

Pengujian Hipotesis koefisien Korelasi:

H_0 : Ada pengaruh diameter *gun tip* terhadap nilai tegangan *maximum*

H_a : Tidak ada pengaruh diameter *gun tip* terhadap nilai tegangan *maximum*

Taraf Signifikasi:

Pilih nilai signifikansi $\alpha = 5\%$

Daerah Kritis:

Dengan nilai $\alpha = 5\%$ dan derajat bebas $n - 2 = 6 - 2 = 4$. Maka diperoleh nilai t-tabel pada $\frac{5\%}{2} = 0.025$ yaitu 2.447

Statistika Uji:

$$t_{hitung} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t_{hitung} = \frac{-0.89\sqrt{6-2}}{\sqrt{1-0.89^2}}$$

$$t_{hitung} = -8.47$$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Keputusan:

nilai $t_{hitung} = -8.47 < t_{tabel} = 2.447$ sehingga H_0 diterima dan H_a ditolak

Kesimpulan:

Dengan tingkat signifikansi 5%, cukup menjelaskan bahwa ada pengaruh diameter *gun tip* terhadap penurunan tegangan *maximum*.

4.4.2 Perbandingan antara jumlah pengelasan terhadap kekerasan

Tabel 7. Analisa regresi sederhana

No	Jumlah Pengelasan X	Kekerasan Rockwell Y	X ²	Y ²	X.Y
1	1	37.2	1	1383.8	37.2
2	100	43.3	10000	1874.9	4330
3	200	36.7	40000	1346.9	7340
4	300	37.3	90000	1391.3	11190
5	400	36.7	160000	1346.9	14680
6	500	36.3	250000	1317.7	18.150
Σ	1501	227.5	2253001	8661.5	55727.2

$$y = a + bx$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(227.5 \times 2253001) - (1501 \times 55727.2)}{6(2253001) - 1501^2}$$

$$a = 38.1$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{6(55727.2) - (1501 \times 227.5)}{6(2253001) - 1501^2}$$

$$b = -0.00063$$

Maka persamaan regresi antara jumlah pengelasan dengan kekerasan adalah:

$$y = 38.1 + -(0.00063)x$$

Dimana, x = Nilai Jumlah Pengelasan

y = Nilai Kekerasan

Maka setiap penambahan nilai jumlah pengelasan 1 kali, akan mengurangi kekerasan - 0.00063 HRC-A. Untuk peramalan dicoba dengan pengelasan 200 kali, maka kekerasannya adalah

$$y = 38.1 + (-0.00063) 200$$

$$y = 37.97$$

Dari hasil yang diperoleh dapat diperbandingkan antara realita jumlah pengelasan dan kekerasan dengan hasil peramalan nya. Dengan kekerasan yang sebenarnya, apabila pada pengelasan yang ke 200 adalah 36.7 HRC-A, sedangkan hasil peramalan 37.97HRC-A.

Standar Error Estimate Persamaan Regresi:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{n-2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{8661.5 - (38.1 \times 227.5) - (-0.00063) \times 55727.2}{6-2}}$$

$$S_e = 2.17$$

Apabila semakin tinggi nilai S_e , berarti kesalahan pendugaan semakin tinggi.

Standar Error Koefisien Regresi:

$$S_b = \frac{S_e}{\sqrt{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}}$$

$$S_b = \frac{2.17}{\sqrt{2253001 - \frac{(1501)^2}{6}}}$$

$$S_b = 0.00158$$

Untuk nilai S_b , maka nilai standar error kemiringannya ialah 0.00158

Koefisien korelasi sederhana:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{(n\sum x^2) - (\sum x)^2\} \{(n\sum y^2) - (\sum y)^2\}}}$$

$$r = \frac{6(55727.2) - (1501 \times 227.5)}{\sqrt{\{6(2253001) - (1501)^2\} \times \{6(8661.5) - (227.5)^2\}}}$$

$$r = -0.51$$

Dapat disimpulkan bahwa ke 2 variabel berhubungan negatif sempurna antara jumlah pengelasan dengan kekerasan. Semakin banyak jumlah pengelasan maka semakin turun nilai kekerasannya.

$$R^2 = -0.51^2 = 0.26 \times 100\%$$

Artinya sebesar 26% variasi dari variabel jumlah pengelasan dapat mempengaruhi variasi dari variabel nilai kekerasan.

Pengujian Hipotesis koefisien Korelasi:

H_0 : Ada pengaruh jumlah pengelasan terhadap nilai kekerasan.

H_a : Tidak ada pengaruh jumlah pengelasan terhadap nilai kekerasan.

Taraf Signifikasi:

Pilih nilai signifikansi $\alpha = 5\%$

Daerah Kritis:

Dengan nilai $\alpha = 5\%$ dan derajat bebas $n - 2 = 6 - 2 = 4$. Maka diperoleh nilai t-tabel pada $\frac{5\%}{2} = 0,025$ yaitu 2.447

Statistika Uji:

$$t_{hitung} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t_{hitung} = \frac{-0.51\sqrt{6-2}}{\sqrt{1-0.51^2}}$$

$$t_{hitung} = -1.19$$

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Keputusan:

nilai $t_{hitung} = -1.19 < t_{tabel} = 2.447$ sehingga H_0 diterima dan H_a ditolak

Kesimpulan:

Dengan tingkat signifikansi 5%, cukup menjelaskan bahwa ada pengaruh jumlah pengelasan terhadap penurunan kekerasan.

5. KESIMPULAN

Dari data hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh perubahan permukaan diameter *gun tip* pada proses *spot welding* terhadap kualitas sifat mekanik *nugget weld*, diantaranya:

1. Terdapat pengaruh perubahan diameter permukaan *gun tip* pada proses *spot welding* terhadap penurunan tegangan *maximum*.
2. Terdapat pengaruh jumlah pengelasan terhadap penurunan kekerasan *material nugget*.
3. Terjadinya perubahan fasa *Ferrite* daerah *base metal* menjadi fasa *Martensite* pada daerah *fusion zone*
4. Terdapat korelasi antara regresi linier terhadap aktual data hasil pengujian.

Dari kesimpulan tersebut bahwa ada hubungan antara variasi perubahan diameter permukaan *gun tip* terhadap penurunan tegangan geser dan uji kekerasan, serta di buktikan dengan pengamatan struktur mikro pada daerah *fusion zone* yang membentuk fasa *martensite*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prof. Dr. Abuzar Asra, M.Sc., Ir. Rudiyanasyah. M.Si. 2013 "*Statistika Terapan*" Edisi Pertama. Jakarta: In Media
- [2] B.H. Amstead, Phillip F. Ostawld, Myron L. Begemen, Sriati Djaprie "*Teknologi Mekanik*" Edisi Ketujuh. Jakarta : Erlangga
- [3] Dergibson Siagian Sugiarto. 2000 "*Metode Statistika Untuk Bisnis Ekonomi*" Edisi Pertama. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- [4] George E. Dieter, Sriati Djaprie. 1993 "*Metalurgi Mekanik*" Edisi Ketiga. Jakarta : Erlangga
- [5] Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura. 1991 "*Teknik Pengecoran Logam*" Cetakan Kelima. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- [6] Lawrence Van Vlack, Sriati Djaprie. 1993 "*Ilmu dan Teknologi Bahan*" Edisi Kelima. Jakarta : Erlangga
- [7] Nissa Engineering Standard (NES) 2013 "*Weldman Training Manua*" Purwakarta : NMI
- [8] Muhammad Anis, Aulia Irsyadi, Deni Ferdian 2009 "*Studi Lapisan Intermetallic CU_{3sn} Pada Ujung Elektroda Dalam Pengelasan Titik Baja Galvanis*" Makara Teknologi Vol 13 No. 2 Depok : Universitas Indonesia
- [9] Anrinal, 2012 "*Analisa Kekuatan Tarik Hasil Spot Welding Baja Karbon Rendah*" Padang : ITP