

Pengaruh Kuat Arus dan Waktu Pengelasan Pada Proses Las Titik (*Spot Welding*) Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrostruktur Hasil Las Dari Baja Fasa Ganda (*Ferrite-Martensite*)

Lisa Agustriyana¹⁾, Yudy Surya Irawan²⁾, Sugiarto²⁾

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang¹⁾

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang²⁾

Jl. MT.Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

[E-Mail: lisa_agustriyana@yahoo.com](mailto:lisa_agustriyana@yahoo.com)

Abstract

This research was conducted to investigate the appropriate spot welding variable to get the maximum tensile strength. The highest of tensile strength referred as good quality of weldment. The plate was made from low carbon steel with phase ferrite and martensite. The current of welding used 0.9 kA, 1.6 kA, dan 1.85 kA with welding time were 0.25, 0.5, 0.75 and 1 second. Mechanical properties testing done involved tensile strength to know shear strength of weld joint. Microstructure test used optical microscope. The results show that spot welding with the current of 1.85kA and welding time of 1 second has the highest tensile strength (about 237.04 N/mm²). On the other hand, the lowest tensile strength (150 N/mm²) was produced by combination of 0.9 kA and 0.25 second welding time. It was caused by recrystallization phase deformation on steel.

Keywords: *current, welding time, tensile strength, spot weld*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tuntutan bagi perusahaan otomotif dalam memenuhi permintaan pasar untuk menghasilkan produk yang berkualitas merupakan aspek penting yang menjadi target perusahaan saat ini. Setiap material yang ditujukan untuk penggunaan otomotif khususnya pada bagian panel *body* harus memiliki kriteria mampu bentuk (*formable*), mampu las (*weldable*), *coatable* (tahan terhadap korosi) dan mampu diperbaiki (*repairable*). Salah satu kelompok material yang memenuhi semua persyaratan diatas adalah baja fasa ganda. Beberapa karakteristik yang membuat baja fasa ganda menarik untuk aplikasi otomotif dijelaskan oleh Tumuluru (2006) yakni baja fasa ganda mampu mencapai penguatan melalui transformasi fase, yaitu transformasi dari austenite ke martensit. Tingkat kekuatan, baja fasa ganda tergantung kandungan martensit dalam matriks ferit (10% sampai 40%).

Menurut analisa Xiaoyan Li.[1], *weldability* dari baja fasa ganda lebih baik dibandingkan baja TRIP yang dilakukan dengan menggunakan metode las laser,

meskipun beberapa masalah masih terjadi ketika mengelas baja ini, misalnya terdapat daerah yang lebih lunak pada daerah pengaruh panas (HAZ).

Resistance spot welding (RSW) merupakan salah satu metode pengelasan yang sering digunakan untuk proses penyambungan dalam industri otomotif dimana hampir tiap bagian kendaraan khususnya untuk panel *body* menggunakan proses ini. Menurut hukum Joule's dalam Pires [2] bahwa sebenarnya parameter pengelasan RSW dapat mempengaruhi hasil las (sifat mekanik, diameter nugget, bentuk patahan) seperti besar arus, waktu pengelasan dan tahanan listrik. Untuk memperkuat penelitian tentang RSW pada baja fasa ganda diperkuat juga oleh Cortez dan Valdes [3] dengan melakukan penelitian untuk mendapatkan pemahaman tentang isu mampu las (*weldability*) dari tipe baja *Advanced High Strength Steel* untuk industri otomotif dengan *tensile strength* 900 MPa dan *yield strength* 700 MPa, melalui pengaturan parameter pengelasan (kuat arus dan waktu pengelasan *spot weld*).

Berdasarkan latar belakang mengenai baja fasa ganda dan proses las tahanan (*spot*

welding), maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kuat arus dan waktu las terhadap karakteristik hasil las dalam hal ini kekuatan sambungan dari hasil pengelasan baja fasa ganda (*ferite-martensite*) melalui proses pengelasan tahanan (*spot welding*).

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Tumuluru [4] meneliti tentang metode pengelasan tahanan (*spot welding*) pada baja fasa ganda, latar belakang penelitian adalah: karena beberapa karakteristik baja *dual phase* yang atraktif untuk aplikasi otomotif sehingga Murali dkk tertarik untuk menggunakan material ini dalam penelitiannya dengan metode pengelasan *spot welding* karena metode pengelasan ini paling banyak digunakan di industri otomotif. Metode penelitian: material yang digunakan adalah baja fasa ganda dengan kekuatan tarik 590, 780, dan 980 MPa dengan tebal 1.6 mm, untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan dan kekuatan tarik las pada baja fasa ganda grade 780 digunakan plat tebal 2 mm. Sebagai pembandingan digunakan baja DQSK (*draw-quality special-killed*) yang sering digunakan untuk body kendaraan yang memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah yaitu 300 MPa. Parameter las yang digunakan: diameter elektrode 7 mm untuk tebal plat 1.6 mm dan diameter 8 mm untuk baja 780 MPa tebal 2 mm, besar gaya elektrode 4.2 kN untuk baja fasa ganda 590 dan 5.3 kN untuk baja 780 dan 980 MPa, besar amper 18 cycle untuk tebal plat 1.6 mm dan 23 cycle untuk tebal plat 2 mm (*sheet*). Hasil penelitian: menunjukkan bahwa pada range kuat arus 2.2 kA untuk baja grade 590 dan 780 menunjukkan ukuran lebar las yang optimum (dengan ukuran yang diijinkan 6.7 mm sebagai sampel uji yang diijinkan untuk pengujian tarik) sedangkan untuk grade 980 MPa kondisi lebar las yang optimum terjadi pada range kuat arus 2.5 kA, hal ini menunjukkan keberhasilan pengelasan pada baja fasa ganda tersebut, dimana dengan meningkatnya ukuran diameter sampe 8 mm maka kekuatan las juga meningkat yaitu dari 18 kN menjadi 35 kN hal ini karena dengan

ukuran diameter lebih besar maka semakin besar beban tariknya.

Cortéz dan Valdés [3] melakukan penelitian tentang pengelasan tahanan (RSW) pada baja fasa ganda untuk aplikasi industri otomotif, latar belakang penelitian adalah tuntutan industri otomotif untuk mencari material yang memiliki karakteristik lebih dibandingkan pemakaian material baja karbon dan baja paduan kekuatan tinggi (HSLA) tetapi tetap memiliki sifat mampu las. Metodenya : material yang digunakan adalah baja MS 900T/700Y atau baja martensite dengan nilai minimum *ultimate strengthnya* 900 MPa dan minimum *yield strengthnya* 700 MPa. Metode pengelasan yang digunakan adalah las tahanan dengan variasi kuat arus dan waktu las. Hasil penelitian: diameter, ukuran kedalaman serta kekuatan geser hasil las sebanding dengan heat input yang diberikan namun dalam level yang tinggi peningkatan kekuatan sedikit sekali bahkan cenderung menurun, kemudian hasil uji kekerasan dan mikrostruktur menunjukkan bahwa rendahnya nilai kekerasan pada daerah HAZ dibandingkan logam induk dan logam las karena terdapat fase lunak (*ferritic*) pada daerah ini sebagai akibat *heat input*.

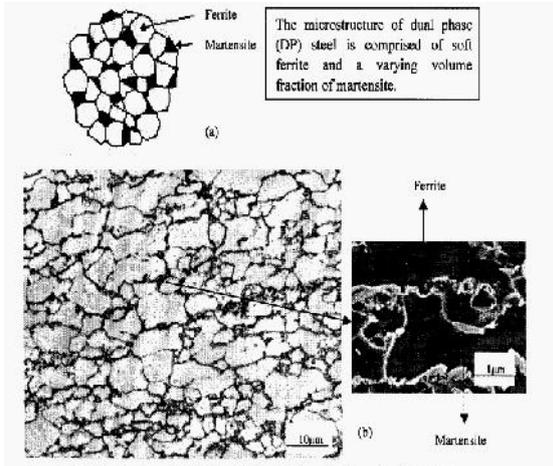
Berdasarkan riset yang telah dijabarkan diatas dapat menjadi dasar pijakan untuk melakukan penelitian tentang pengelasan tahanan (RSW) dengan parameter lasnya untuk material tipe sama (fasa ganda) namun berbeda sifat mekanik dan komposisi kimianya yaitu baja karbon rendah fasa ganda (*ferite-martensite*).

Dual Phase Steel

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, *dual phase steel* merupakan salah satu material yang sangat populer saat ini di dalam industri otomotif. Tepatnya baja ini paling banyak digunakan dalam aplikasi struktur dimana material ini mampu menggantikan baja HSLA.

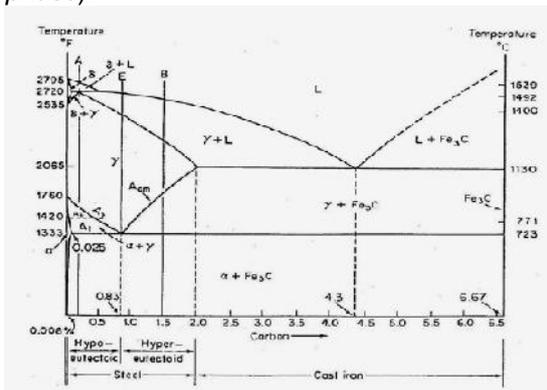
Bentuk mikrostruktur dari *dual phase steels* terdiri atas matrik ferrite dengan sedikit martensite pada batas butirnya (Gambar 1). Partikel martensit akan mempengaruhi kekuatannya sedangkan matriks ferrite memberikan *formability* yang baik, sehingga campuran ferrite-martensite pada *dual phase* seperti partikel *composite*

yang bertolak belakang. *Phase ferrite* yang lunak akan membuat baja ini memiliki keuletan yang baik.



Gambar 1. Mikrostruktur *Dual phase steel*,

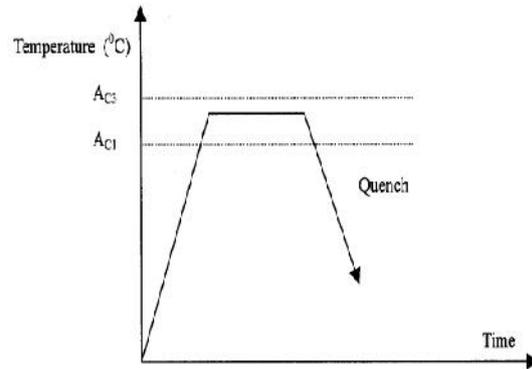
Metode untuk menghasilkan mikrostruktur *dual phase* adalah baja hypoeutectoid dipanaskan di antara temperature kritis atas (A_3) dan temperatur kritis bawah (A_1) (Gambar 2), kemudian didinginkan dengan cepat melebihi laju pendinginan kritisnya maka akan didapat baja fasa ganda (*dual phase*).



Gambar 2. Diagram fasa Fe-C

Sebagai contoh baja dengan kadar karbon 0,2% dipanaskan sampai temperatur $800^{\circ}C$ maka baja tersebut setelah kesetimbangan akan terdiri dari 50% ferit () dan 50% austenite () yang mengandung 0,4% C seperti terlihat pada gambar 5.

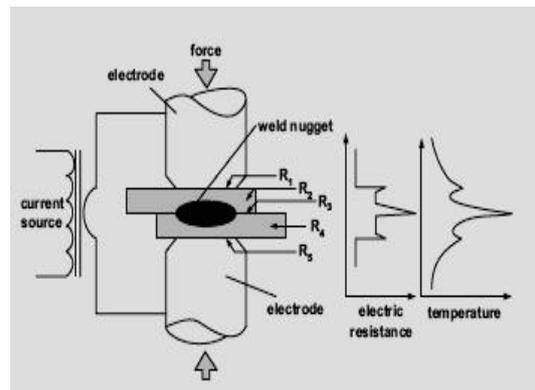
Pendinginan cepat dari temperature $800^{\circ}C$ akan menghasilkan struktur martensit dalam matrik ferit, dimana butir ferit yang terbentuk setelah proses pembentukan fasa ganda adalah poligonal (memiliki sisi banyak). Sedangkan proses *heat treatment*nya dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses *heat treatment* pada *dual phase steels*

Resistance spot welding (RSW)

Spot welding merupakan proses pengelasan tahanan yang paling banyak digunakan dalam aplikasi di seluruh dunia. Proses pengelasan ini secara umum dapat ditunjukkan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Skema dari proses *spot welding*. R1- R5 resistansi antara Elektroda-benda kerja, R2 dan R4-benda kerja, R3-resistansi antar permukaan

Panas yang dihasilkan pada dasarnya tergantung pada besarnya arus listrik dan

waktu yang digunakan serta sifat tahanan listrik dari material diantara elektroda.

Menurut hukum Joule's, yang dinyatakan oleh persamaan di bawah, Q adalah panas yang dihasilkan, I adalah kuat arus dan t adalah waktu saat arus listrik mengalir:

$$Q = I^2 R t \dots\dots\dots(1)$$

Pembentukan nugget las tergantung pada panas yang diberikan dan panas dissipasi pada elektrode dan benda kerja. Secara matematis dapat menuliskan hubungan antara panas yang dihasilkan Q_G dengan panas yang dibutuhkan Q_N serta losses selama pengelasan Q_L sebagai berikut:

$$Q_G = Q_N + Q_L \dots\dots\dots(2)$$

Dimana, Q_G adalah panas yang dihasilkan, Q_N adalah total panas yang dibutuhkan untuk membentuk nugget las, dan Q_L adalah *heat losses* yang dihantarkan melalui benda kerja dan elektrode dimana ditentukan oleh besarnya konduktifitas termal bahan, bentuk geometri benda kerja dan elektrode. Jika diasumsikan $Q_L = f \cdot Q_N$, maka persamaan 2 menjadi:

$$Q_G = (1+f)Q_N \dots\dots\dots(3)$$

Dimana f merupakan ratio yang ditentukan oleh besarnya perbandingan antara Q_L dan Q_N , dan panas yang dihasilkan menurut persamaan 1 adalah $Q = I^2 R t$, dimana panas yang dihasilkan tergantung oleh parameter las (*welding current* dan *welding time*) dan resistifitas bahan serta bentuk geometri benda kerja, maka total panas yang dibutuhkan untuk membentuk nugget las meliputi: pertama untuk memanaskan logam las hingga mencapai titik leleh dan kedua untuk mencairkan logam las hingga membentuk logam las (faktor lain seperti *over heat* pada logam cair diabaikan untuk analisis) sehingga:

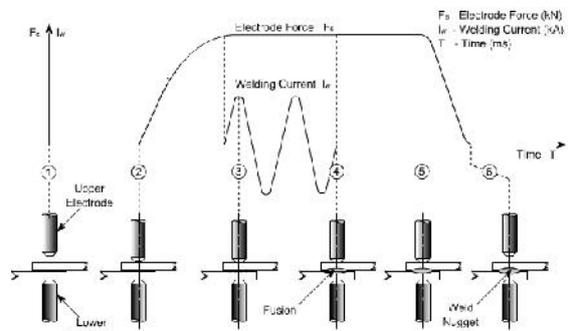
$$Q_N = q_N V = (C_p T + H) V \dots\dots\dots(4)$$

Dimana, q_N total panas untuk membentuk nugget las per unit volume, densitas dari logam las, C_p panas spesifik, T kenaikan

temperatur dari temperatur ruang hingga titik leleh, V volume nugget las, dan H panas laten dari fusi per unit volume. Dengan mengkombinasikan persamaan 3 dan 5 maka didapatkan hubungan:

$$I^2 t = (1+f) V \frac{q_N}{R} \dots\dots\dots(5)$$

Adapun proses pengelasan tahanan ini terdiri dari tiga langkah atau tahap yaitu tahap *squeezing*, *welding* dan *holding* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Siklus *resistance spot welding*

dimana tahap-tahapnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Tahap 1 merupakan kondisi awal dimana kedua bahan belum dijepit oleh kedua elektroda.
- Tahap 2 merupakan tahap *Squeezing* terdiri dari penerapan gaya pengelasan untuk benda kerja sehingga mendapatkan jumlah tekanan yang sesuai, sebelum pengelasan.
- Tahap 3 dan 4 merupakan tahap pengelasan dimana selama tahap ini arus listrik mengalir melalui benda kerja, sedangkan gaya pengelasan dipertahankan, sehingga menghasilkan panas.
- Dalam tahap 5 yaitu *holding time* arus listrik sudah dimatikan dan gaya las dipertahankan, sehingga memungkinkan lasan tetap tertekan dan mengalami pendinginan di bawah tekanan.

- Tahap 6 merupakan tahap akhir ketika nugget las sudah terbentuk.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Jenis penelitian ini adalah jenis penelitian *experimental*. Penelitian dan perlakuan panas dilakukan di bengkel las Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

Bahan dan Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah lembaran plat AISI 1005 dengan tebal 1 mm yang telah ditreatment menjadi baja fasa ganda.

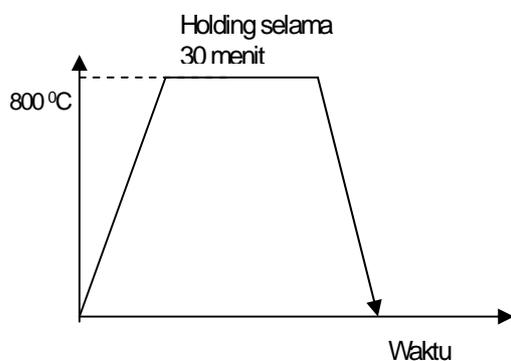
Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini meliputi:

- Variabel bebas (*independent*) adalah besar arus yaitu 900 A, 1600 A, 1850 A. dan waktu penahanan selama proses pengelasan yaitu , 0.25 detik, 0.5 detik, 0.75 detik, dan 1 detik.
- Variabel terikat (*dependent*) adalah kekuatan sambungan dan bentuk mikrostruktur yang dihasilkan dari proses pengelasan RSW pada baja fasa ganda.
- Variabel terkontrol adalah gaya tekan elektrode pada benda kerja saat pengelasan.

Rancangan Penelitian

Bahan spesimen adalah lembaran plat baja karbon rendah AISI 1005 tebal 1 mm menjadi baja fasa ganda melalui *heat treatment* dimana pemanasan dilakukan dengan menggunakan dapur pemanasan



Gambar 6. *heat treatment* pembentukan baja fasa ganda (ferrit+martensit)

(*furnace*) untuk memudahkan pengontrolan temperatur hingga mencapai temperatur 800 °C selanjutnya di *holding* selama 30 menit kemudian di *quenching* dalam air tanpa agitasi, kemudian dilakukan proses pengelasan specimen dengan menggunakan las tahanan (RSW).

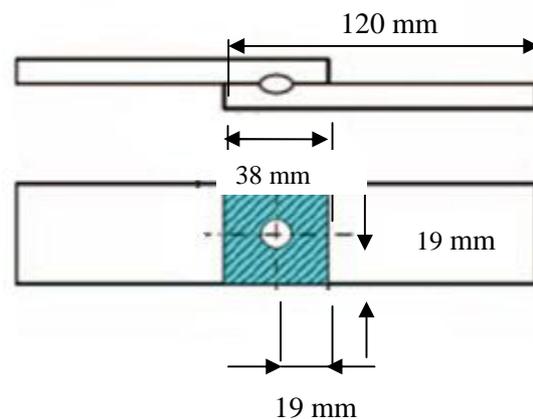
Rancangan diagram waktu vs suhu untuk treatment pembentukan fasa ganda dapat ditunjukkan Gambar 6.

Adapun komposisi kimia bahan dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia plat baja AISI 1005

Material	% C	%Si	%Mn	%P	%S
SPCC	0.03	0.01	0.233	0.008	0.013

Bentuk dan ukuran specimen uji tarik mengikuti standar AWS D8.9-97 yang dapat ditunjukkan seperti Gambar 7.



Gambar 7. Bentuk rancangan spesimen uji tarik

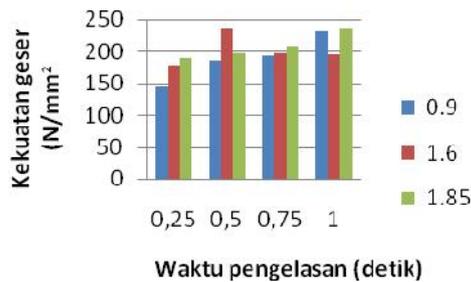
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Data hasil kekuatan tarik geser sambungan las (N/mm^2) dapat disajikan dalam Tabel 2. Jika di ditampilkan dalam bentuk grafik pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik (dalam hal ini adalah kekuatan geser) sambungan las dapat disajikan seperti dalam Gambar 8.

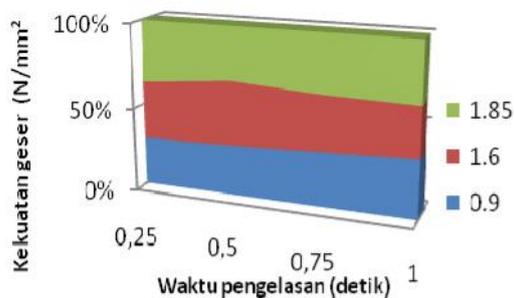
Tabel 2. Hasil uji tarik sambungan las dari spesimen las

	0.25 det	0.5 det	0.75 det	1 det
0.9 kA	145.433	186.249	193.966	231.285
1.6 kA	177.270	236.986	197.564	195.862
1.85 kA	189.712	197.030	207.690	237.072



Gambar 8. Pengaruh kuat arus dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik hasil las

Jika ditunjukkan dalam grafik prosentase luasan seperti Gambar 9.



Gambar 9. Prosentase kekuatan tarik sambungan las dari beberapa variasi parameter pengelasan

Pembahasan

Dari gambar 8 terlihat bahwa secara garis besar dengan bertambah besar kuat arus dan semakin lama waktu pengelasan rata-rata dari ketiga variasi kuat arus (0.9 kA;1.6 kA dan 1.85 kA) menunjukkan bahwa kekuatan tarik sambungan las dalam hal ini adalah kekuatan gesernya rata-rata meningkat yang berarti semakin besar *heat input* (akibat perubahan kuat arus dan lama

pengelasan) maka menghasilkan ukuran diameter nugget spot weld semakin meningkat hal ini yang kemungkinan menyebabkan *tensile shear forcenya* meningkat, dan kekuatan maksimum ditunjukkan pada kuat arus 1.85 kA dan waktu pengelasan 1 detik yaitu sebesar 237,0724 N/mm² hal ini karena besarnya gaya tarik geser hasil pengelasan pada titik tersebut yang paling besar dibandingkan diantara beberapa variasi parameter pengelasan yang digunakan yaitu sebesar 2700 N. Sedangkan pada variasi waktu pengelasan pada kuat arus 1.6 kA rata-rata kuatan tariknya meningkat tetapi pada waktu las 0.5 detik menunjukkan kekuatan tarik yang paling besar, ini berarti pada titik tersebut besarnya heat input mampu menghasilkan sambungan yang ditunjukkan oleh ukuran nugget las yang lebih besar sehingga menyebabkan gaya tariknya yang besar pula.

Kemudian ditinjau dalam prosentase yang ditunjukkan oleh Gambar 9, jika dibandingkan di antara beberapa variasi kuat arus dan waktu pengelasan kekuatan tarik sambungan pada kuat arus 1.85 kA menunjukkan prosentase yang paling besar dalam berbagai range waktu pengelasan dibanding variasi kuat arus yang lain ini berarti pada kuat arus tersebut meskipun dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dapat menghasilkan kekuatan las yang besar yang ditunjukkan oleh besarnya gaya tarik geser yang besar pula dibandingkan yang lain,sehingga melihat hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai optimum dari pengelasan spot welding pada baja fasa ganda ini diperoleh pada kuat arus 1.85 kA dan waktu pengelasan 1 detik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa dengan semakin besar kuat arus dan waktu pengelasan pada proses *spot welding* pada baja fasa ganda maka dihasilkan kekuatan tarik yang semakin besar dan nilai optimum di dapat pada kuat arus 1.85 kA dengan variasi yang terbaik juga didapat pada kuat arus ini dalam berbagai waktu pengelasan dan ditunjukkan pada

luas daerah kekuatan tarik yang terbesar yaitu sekitar 40%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Xiaoyan Li, 2005. Weldability of Dual Phase Steel and TRIP Steel, *tesis submitted to the Department of Mechanical and Materials Engineering, Queen's University Kingston, Ontario, Canada.*
- [2] Pires.N., 2006, *Technology, System Issues and Application*, Springer Verlag London Limited.pg.54-60.
- [3] Cortez V.H.L and F.A.R. Valdes.,2008, "Understanding Resistance Spot Welding of Advanced High-Strength Steels", *Weld.J.*,pg 36-40.
- [4] Tumuluru. M.D.,2006, "Resistance Spot Welding of Coated High-Strength Dual-Phase Steels", *Weld.J.*,Vol.85(8),pg.31-37.