

OPTIMIZATION THE VARIATION OF ELECTRODE SHAPES AND WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES OF LOW CARBON STEEL SPOT WELDING USING TAGUCHI METHOD

¹⁾Rusnaldy & ²⁾Rumajung Famma*

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²⁾ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*e-mail: fammarumajung@yahoo.com

ABSTRACT

Commonly, spot welding found in the karoseri industry. Usually, the quality of weld is only seen visually from neatness and cracking. Untidiness or cracking caused by a combination of welding parameters that do not match. One of the most influential welding parameter was electrode shape. It is necessary for further study to find the effect of electrodes shape and welding parameters on the welding results and find the best combination of welding parameters.

The method used is Taguchi method, this method can save the cost and time of research. In this study form the electrodes used were B-Nose, parabola and E-Nose with copper base material. The parameters used are the current 2000 A, 6000 A, and 10000 A, the welding time 1 second, 5 seconds, and 10 seconds, the nugget distance 15 mm, 20 mm, and 25 mm. Testing the mechanical properties and micrography to know the quality of the weld. Testing of mechanical properties include Rockwell hardness testing methods, testing the strength of welded joints with tensile shear testing.

The analysis of optimal combination between current, welding time, nugget distance, and shape electrodes indicate for weld metal regions microstructure consists of bainite with a best of 56.33 HRA hardness with parameter 6000 A current, 5 seconds welding time, 20 mm nugget distance, parabola electrode shape. For areas HAZ microstructure consists of ferrite and pearlite with a best of 33.75 HRA hardness with parameters 10000 A current, 10 seconds welding time, 25 mm nugget distance, E-Nose electrode shape.

Keywords: *spot welding, electrode shape, hardness test, microstructure, Taguchi method.*

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, las titik biasanya digunakan untuk produksi masal atau dalam jumlah besar. Salah satu bagian proses produksi yang penting pada industri ini misalnya pabrik karoseri ataupun pada pembuatan gerbong kereta api. Pada idustri karoseri misalnya, kekuatan dan kerapian sambungan pada *body* sangat diperhatikan karena akan ikut menentukan kualitas produk.

Kualitas produk dipengaruhi oleh parameter pengelasan, diantaranya arus listrik, waktu, tipe elektroda, tekanan pada saat pengelasan berlangsung, jenis spesimen, jarak *nugget* dan kondisi mesin itu sendiri. Pengaturan parameter pengelasan yang tidak seimbang akan menimbulkan cacat. Cacat yang biasa terjadi adalah terdapatnya *crack* ataupun timbul gelembung-gelembung pada hasil pengelasan. Hal ini tentunya sangat tidak efektif dan sangat merugikan produsen. Untuk itu perlu diadakan penelitian untuk mengurangi masalah tersebut, salah satunya dengan mengoptimasikan takaran dari parameter yang ada.

Penelitian ini lebih mengutamakan pada pengaruh bentuk geometri elektroda dari mesin las titik, dimana perbedaan bentuk geometri elektroda mempengaruhi distribusi aliran arus. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, untuk simulasi pengaruh bentuk elektroda diperoleh hasil bahwa elektroda bentuk

E-Nose lebih bagus dibandingkan bentuk B-Nose ataupun parabola [1]. Pada penelitian kali ini studi eksperimental dilakukan, dimana elektroda yang telah dibuat dengan beberapa bentuk langsung diujicobakan dalam proses pengelasan titik.

Penelitian ini juga membahas pengaruh parameter las titik terhadap sifat mekaniknya. Untuk mengetahui pegaruhnya dilakukan pengujian tarik geser untuk mengetahui kekuatan sambungan las, pengujian kekerasan serta pengujian mikrografi. Selain membuktikan bentuk elektroda E-Nose yang terbaik, dari penelitian ini akan diperoleh juga kombinasi optimum dari parameter pengelasan.

METODE PENELITIAN

Las Titik

Material yang digunakan untuk spesimen uji dalam penelitian ini adalah lembaran plat baja karbon rendah dengan tebal 1 mm. Material ini sering digunakan dalam industri manufaktur. Mesin las titik yang digunakan pada penelitian ini adalah TECHN A *Spot Welding Machine*, dengan spesifikasi:

Merk	: TECHN A
Made in	: Italy
at 50% Duty Cycle	: 12 kVA
Maximum Welding	: 23 kVA
Power	
Rated Frequency	: 60 Hz
	: 3000 Amp 100%
Cooling Water	: 120 l/h H ₂ O



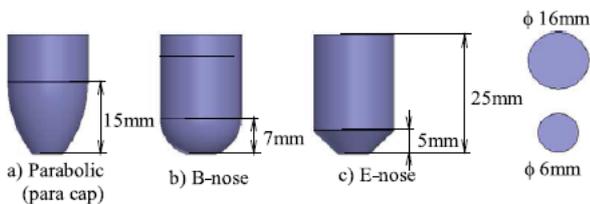
Gambar 1. Mesin las titik TECHNA.

Berdasarkan proses terbentuknya *nugget* maka kualitas hasil penyambungan menggunakan las tahanan titik sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor dari parameter pengelasannya, antara lain [2]:

1. Pengaruh arus listrik
2. Pengaruh waktu pengelasan
3. Tahanan listrik
4. Gaya tekan elektroda

Elektroda

Elektroda mesin las titik terbuat dari as tembaga. Elektroda dibuat dengan bentuk E-Nose, B-Nose, dan Parabola terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Berbagai bentuk geometri elektroda [1].



Gambar 3. Elektroda dibentuk melalui proses *turning*.

Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk kokoh (*robust*) atau titik sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), karena itu sering disebut sebagai desain kokoh (*Robust Design*) [3].

Keuntungan atau kelebihan metode Taguchi:

1. Lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk konsisten.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan nilai optimum.

Pada tahap analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian dalam bentuk *layout* tertentu. Tahapan ini meliputi:

1. Analisa varian (ANOVA) Taguchi

- a. Jumlah kuadrat total (SS_T)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y^2 \quad (1)$$

- b. Jumlah kuadrat faktor (*sum square*)

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A1}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2)$$

- c. Jumlah kuadrat karena rata-rata (SS_m)

$$SS_m = n \cdot \bar{y}^2 \quad (3)$$

- d. Jumlah kuadrat error (SS_e)

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor} \quad (4)$$

- e. Rata-rata kuadrat atau mean square (MS)

$$MS = \frac{SS_A}{V_A} \quad (5)$$

2. Uji F

$$F_A = \frac{MS_A}{SS_e} \quad (6)$$

3. Rasio S/N (*rasio signal to noise*)

Penggunaan rasio S/N terdiri atas beberapa karakteristik kualitas, yaitu:

- a. Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*)

$$S/N = -10 \log \left[1/n \sum_{i=1}^n y^2 \right] \quad (7)$$

- b. Tertuju pada nilai tertentu (*Nominal-the-best*)

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (8)$$

- c. Semakin besar semakin baik (*Larger-the-Better*)

$$S/N = -10 \log \left[1/n \sum_{i=1}^n 1/y^2 \right] \quad (9)$$

4. Interpretasi hasil eksperimen

- a. Persen kontribusi

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (10)$$

- b. Interval kepercayaan (*confidence interval; CI*)

$$CI_1 = \pm \sqrt{F_{(\alpha; v_1; v_e)} \times MS_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} \right)} \quad (11)$$

Tabel 1. dan Tabel 2. Menunjukkan desain percobaan metode Taguchi.

Tabel 1. Faktor dan level parameter pengelasan.

No	Parameter	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
1	Arus listrik	A	2000 A	6000 A	10000 A
2	Waktu pengelasan	B	1 detik	5 detik	10 detik
3	Jarak pengelasan	C	15 mm	20 mm	25 mm
4	Bentuk geometri elektroda	D	E-Nose	B-Nose	Parabola

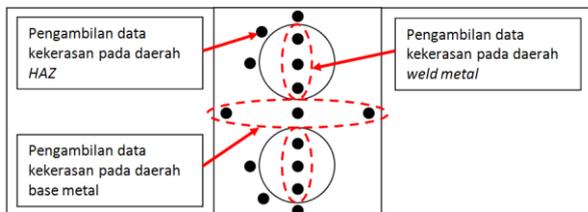
Tabel 2. *Orthogonal array* $L_9(3^4)$ dengan faktor dan level.

Kondisi Percobaan	Arus Listrik	Waktu Pengelasan	Jarak Pengelasan	Bentuk Geometri Elektroda
1	2000 A	1 detik	15 mm	E-Nose
2	2000 A	5 detik	20 mm	B-Nose
3	2000 A	10 detik	25 mm	Parabola
4	6000 A	1 detik	20 mm	Parabola
5	6000 A	5 detik	25 mm	E-Nose
6	6000 A	10 detik	15 mm	B-Nose
7	10000 A	1 detik	25 mm	B-Nose
8	10000 A	5 detik	15 mm	Parabola
9	10000 A	10 detik	20 mm	E-Nose

Pengujian kekerasan



Gambar 4. Rockwell *Hardness Tester* Model HR 150-A.



Gambar 5. Lokasi pengambilan data kekerasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

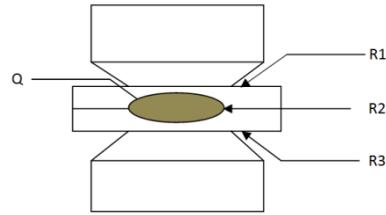
Pegujian Resistansi

Tabel 3. Nilai resistansi dari elektroda

Bentuk elektroda	Nilai hambatan (Ω)
E-Nose	$1,9 \times 10^{-3}$
B-Nose	$3,6 \times 10^{-3}$
Parabola	$4,3 \times 10^{-3}$

Dari Tabel 3. dapat diambil hipotesa awal bahwa bentuk elektroda E-Nose akan menghasilkan kualitas las yang lebih baik dibandingkan dengan bentuk B-Nose dan Parabola. Hal ini dikarenakan nilai resistansi dari elektroda E-Nose bernilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai resistansi B-Nose maupun Parabola. Hal ini sesuai dengan Gambar 6. dan dasar teori yang menyebutkan bahwa semakin rendah nilai resistansi semakin rendah tahanan kontak antara elektroda dengan plat (R1 dan R3). Hal ini menyebabkan nilai

resistansi di antara kedua plat yang dijepit (R2) menjadi semakin tinggi, sehingga panas terkonsentrasi di daerah pertemuan kedua plat tersebut (R2) [4].



Gambar 6. Daerah terbentuknya *nugget*.

Pengaruh Level dari Faktor terhadap Kekerasan dan Kekuatan Sambungan Las

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekerasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* serta nilai kekuatan sambungan las dilakukan pengolahan data respon (data asli) yang diperoleh melalui pengujian.

Tabel 4. Respon pengaruh level terhadap rata-rata kekerasan pada daerah *weld metal*.

Faktor	Level			Selisih (maks - min)	Ranking
	1	2	3		
A	48,15	54,02	52,72	5,87	3
B	48,33	54,61	51,94	6,28	2
C	46,46	56,06	52,37	9,59	1
D	49,00	51,19	54,70	5,70	4

Tabel 5. Respon pengaruh level terhadap rata-rata kekerasan pada daerah HAZ.

Faktor	Level			Selisih (maks - min)	Ranking
	1	2	3		
A	29,87	31,69	32,26	2,39	2
B	31,50	30,17	32,15	0,65	4
C	30,85	27,47	34,76	7,29	1
D	32,26	30,85	30,70	1,56	3

Tabel 6. Respon pengaruh level terhadap rata-rata kekerasan pada daerah *base metal*.

Faktor	Level			Selisih (maks - min)	Ranking
	1	2	3		
A	27,91	25,67	22,74	5,17	3
B	29,59	24,52	22,20	7,39	1
C	22,56	28,53	25,04	5,97	2
D	27,81	23,11	25,39	4,70	4

Dari Tabel 4. dan Tabel 5. dapat dilihat jarak *nugget* menempati peringkat pertama untuk respon kekerasan *weld metal* dan HAZ, ini berarti bahwa jarak *nugget* memiliki pengaruh yang paling besar terhadap hasil kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ. Sedangkan Tabel 6. menunjukkan waktu pengelasan menempati peringkat pertama untuk respon kekerasan *base metal*, berarti waktu pengelasan memiliki

pengaruh yang paling besar terhadap hasil kekerasan pada daerah *base metal*. Adapun besarnya persentase kontribusi masing-masing faktor terhadap nilai kekerasan dan nilai kekuatan sambungan las dapat dicari dengan menggunakan metode analisis varian (ANOVA).

ANOVA kekerasan pada daerah *weld metal*

Untuk mengetahui besarnya pengaruh setiap faktor rata-rata kekerasan pada daerah *weld metal* dilakukan perhitungan dengan menggunakan analisa varian. Hasil perhitungan dengan menggunakan analisa varian seperti yang terlihat pada Tabel 7. berikut ini:

Tabel 7. ANOVA nilai rata-rata kekerasan pada *weld metal* (HRA) .

Faktor	SS	D OF	MS	F _{hitung}	F _{tabel}	SS'	ρ%
A	57,06	2	28,53	484,97	>3,55	56,95	18,65
B	58,51	2	29,26	497,27	>3,55	58,39	19,13
C	140,50	2	70,25	1194,05	>3,55	140,38	45,98
D	49,68	2	24,84	422,22	>3,55	49,56	16,24
Error	1,06	18	0,06			305,28	100
Total	24297,38						

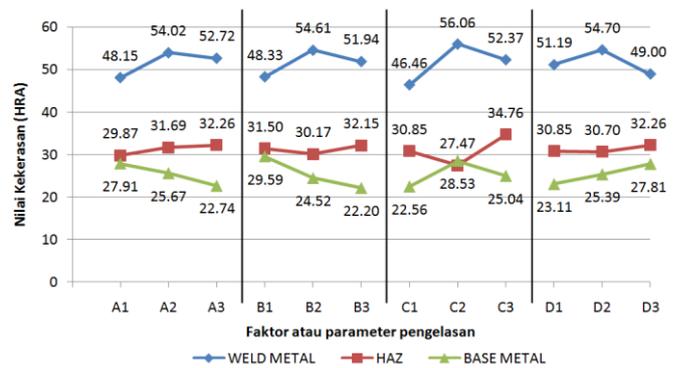
Tabel 8. ANOVA nilai rata-rata kekerasan HAZ (HRA) .

Faktor	SS	D OF	MS	F _{hitung}	F _{tabel}	SS'	ρ%
A	9,33	2	4,66	302,08	>3,55	9,30	10,94
B	6,12	2	3,06	198,29	>3,55	6,09	7,17
C	65,26	2	32,63	2112,84	>3,55	65,22	76,73
D	4,42	2	2,21	143,19	>3,55	4,39	5,17
Error	0,28	18	0,0154				
Total	8886,35					85,01	100

Tabel 9. ANOVA nilai rata-rata kekerasan pada *base metal* (HRA) .

Faktor	SS	D OF	MS	F _{hitung}	F _{tabel}	SS'	ρ%
A	40,28	2	20,14	1603,11	>3,55	40,25	18,56
B	85,70	2	42,85	3411,10	>3,55	85,68	39,51
C	57,77	2	28,88	2299,24	>3,55	57,74	26,63
D	33,20	2	16,60	1321,38	>3,55	33,17	15,30
Error	0,23	18	0,01				
Total	6040,89					216,84	100

Pembahasan Hasil Penelitian Desain Eksperimen Taguchi



Gambar 7. Grafik respon kekerasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*.

Pada grafik kekerasan Gambar 6. dapat diambil kesimpulan bahwa, nilai kekerasan pada daerah *weld metal* yang paling tinggi dihasilkan ketika arus 6000 A, waktu pengelasan 10 detik jarak *nugget* 20 mm dan dengan bentuk elektroda parabola, sedangkan nilai kekerasan paling rendah diperoleh ketika arus 2000 A, waktu pengelasan 1 detik, jarak *nugget* 15 mm dan dengan bentuk elektroda E-Nose. Pada daerah HAZ nilai kekerasan paling tinggi adalah ketika arus 10000 A, waktu pengelasan 10 detik, jarak *nugget* 25 mm dan dengan bentuk elektroda E-Nose, sedangkan nilai kekerasan paling rendah diperoleh ketika arus 2000 A, waktu pengelasan 5 detik, jarak *nugget* 20 mm dan dengan bentuk elektroda parabola. Untuk daerah base metal yang paling tinggi dihasilkan ketika arus 2000 A, waktu pengelasan 1 detik jarak *nugget* 20 mm dan dengan bentuk elektroda E-Nose, sedangkan nilai kekerasan paling rendah diperoleh ketika arus 10000 A, waktu pengelasan 10 detik, jarak *nugget* 15 mm dan dengan bentuk elektroda B-Nose.

Dari rata-rata hasil percobaan pada Gambar 6. terbukti bahwa E-Nose bentuk elektroda yang paling bagus, sesuai dengan studi literatur [1].

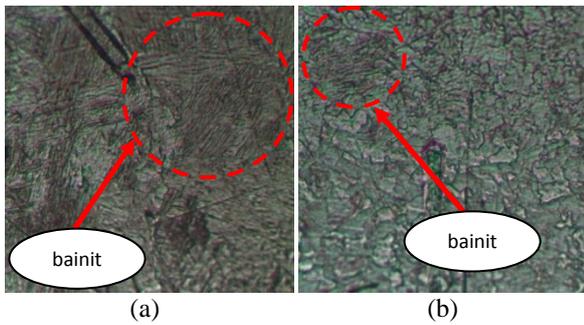
Keterangan A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, dan D3 pada Gambar 7 dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil Pengujian Eksperimen Konfirmasi

1. Pengujian kekerasan daerah *weld metal*

Tabel 10. Hasil pengujian kekerasan dengan parameter optimal.

Parameter	Kondisi parameter	
	Maksimal	Minimal
Arus listrik	6000 A	2000 A
Waktu pengelasan	5 detik	1 detik
Jarak <i>nugget</i>	20 mm	15 mm
Bentuk geometri elektroda	Parabola	E-Nose
Hasil pengujian kekerasan	56,33 HRA	40,50 HRA
Prediksi	64,5 ± 0,27 HRA	



Gambar 8. Struktur mikro daerah *weld metal* parameter (a) maksimum (b) minimum.

Dari Gambar 8. perbandingan antara kondisi (a) dengan kondisi (b), dapat dilihat pada Tabel 11. berikut ini:

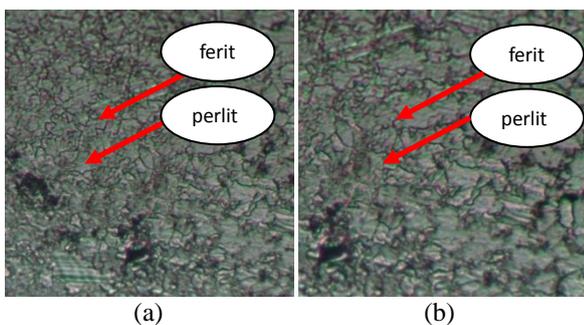
Tabel 11. Perbandingan struktur mikro *weld metal*.

Maksimal	Minimal
Pada gambar (a) struktur mikro <i>weld metal</i> terlihat bahwa struktur mikro berbentuk jarum – jarum, berwarna terang (ferit) dan gelap (perlit), ini dapat diindikasikan sebagai struktur bainit. Bainit mulai terbentuk pada dekomposisi austenit melalui reaksi eutektoid. Bainit yang terbentuk bersifat sangat keras (<i>hard</i>) dan getas (<i>brittle</i>). Hal ini juga terbukti dari hasil uji kekerasan sebesar 56.33 HRA.	Spesimen gambar (b) lebih lunak jika dibandingkan dengan spesimen pada gambar (a) dikarenakan bainit yang terbentuk lebih sedikit. Hal ini juga terbukti dari hasil uji kekerasan hanya sebesar 40.5 HRA.

2. Pengujian kekerasan daerah haz

Tabel 12. Hasil pengujian kekerasan dengan parameter optimal.

Parameter	Kondisi parameter	
	Maksimal	Minimal
Arus listrik	10000 A	2000 A
Waktu pengelasan	10 detik	5 detik
Jarak nugget	25 mm	20 mm
Bentuk geometri elektroda	E-Nose	Parabola
Hasil pengujian kekerasan	33,75 HRA	25,92 HRA
Prediksi	37,62 ± 0,14	



Gambar 9. Struktur mikro daerah HAZ parameter (a) maksimum (b) minimum.

Dari Gambar 9. perbandingan antara kondisi (a) dengan kondisi (b), dapat dilihat pada Tabel 13. berikut ini:

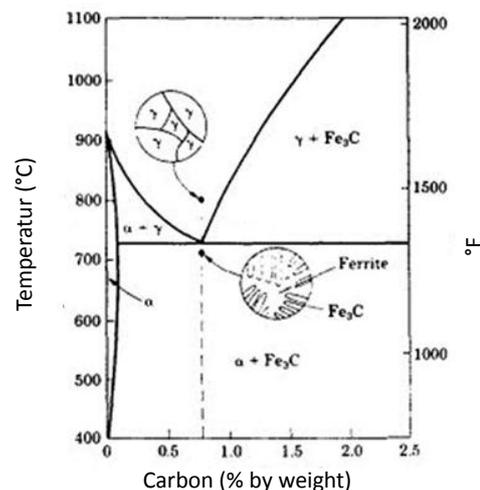
Tabel 13. Perbandingan struktur mikro HAZ.

Maksimal	Minimal
Pada gambar (a) struktur mikro HAZ meskipun terpengaruh cukup besar temperatur pemanasan namun tidak mencapai temperatur austenit sehingga butir hanya terdiri dari ferit dan perlit dengan ukuran butir yang kecil. Semakin kecil ukuran butir, semakin keras sifat logam tersebut. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji kekerasan sebesar 33.75 HRA.	Gambar (b) ukuran butir lebih besar bila dibandingkan dengan gambar (a) sehingga sifatnya lebih lunak. Hal ini dibuktikan dengan nilai kekerasannya hanya 25.92 HRA.

Pembahasan Hasil Eksperimen Konfirmasi

Temperatur yang terdapat pada diperoleh dari pembacaan data dari termokopel. Diperoleh data temperatur pada jarak 2 mm dari *nugget* (titik 1) adalah sebesar 457°C untuk hasil pengelasan maksimal dan 187°C untuk hasil pengelasan minimal. Temperatur pada jarak 4 mm dari *nugget* (titik 2) adalah sebesar 219°C untuk hasil pengelasan maksimal dan 92°C untuk hasil pengelasan minimal. Sedangkan pada titik 3 diperoleh 349°C untuk hasil pengelasan maksimal dan 147°C untuk hasil pengelasan minimal. Temperatur pada titik 4 diasumsikan sama dengan temperature pada titik 3. Untuk mencari temperatur pada *nugget* dapat menggunakan metode numerik, sehingga diperoleh temperatur *nugget* pada pengelasan dengan parameter maksimal sebesar 911°C sedangkan temperatur *nugget* pada pengelasan dengan parameter minimal hanya sebesar 362°C.

Berdasarkan diagram fasa pada Gambar 10. pada baja karbon, bainit terbentuk hanya jika temperatur pengelasan mencapai temperatur austenit dengan batas minimal 723°C. Temperatur pengelasan maksimal sebesar 911°C, temperatur ini mencapai temperatur austenit, sehingga dapat terbentuk bainit. Sedangkan pengelasan minimal hanya sebesar 362°C, temperatur ini tidak mencapai temperatur austenit, sehingga yang terbentuk hanya ferit dan perlit.



Gambar 10. Gambar diagram fasa baja karbon [5].

KESIMPULAN

Kombinasi optimal antara arus, waktu, jarak pengelasan, serta bentuk elektroda dengan menganalisa hasil percobaan menggunakan metode Taguchi diperoleh untuk:

a. Daerah *weld metal*.

Kekerasan optimal sebesar 56,33 HRA dengan parameter arus listrik 6000 A, waktu pengelasan 5 detik, jarak *nugget* 20 mm, bentuk elektroda parabola.

b. Daerah HAZ.

Kekerasan optimal sebesar 33,75 HRA dengan parameter arus listrik 10000 A, waktu pengelasan 10 detik, jarak *nugget* 25 mm, bentuk elektroda E-Nose.

Dari hasil kombinasi optimal rata-rata menggunakan bentuk elektroda E-Nose, jadi dapat dikatakan E-Nose bentuk elektroda terbaik sesuai dengan studi literatur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tarimer, I., Serdal Arslan, Emin M. Guven, Muhammet Karabas. 2011. *A Case Study of A New Spot Welding Electrode Which Has The Best Current Density by Magnetic Analysis Solutions*. Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 62, NO. 4, 233–238.
- [2] Litle, L. Richard. 1993. *Welding and Welding Technology*. New Delhi: Mc Graw-Hill Publising Company Limited.
- [3] Soejanto, Irwan. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Bandung : Graha Ilmu.
- [4] Amstead, B.H., Phillip F. Ostwald, Myron L. Begeman. 1979. *Manufacturing Processes*, Seventh Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [5] Callister Jr, William. D. 1994. *Material Science And Engineering* , 3rd edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.