

Optimasi Parameter Pengelasan pada Proses Pengelasan Tahanan Listrik Komponen *Bracket Rear Console* untuk Peningkatan Masa Pakai Elektroda

Yongki Jatikusuma¹, Mahfudz Al Huda¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: yongki.jatikusuma@gmail.com, huda1126@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini diawali dengan pengamatan terhadap beberapa kondisi yang terjadi pada proses pengelasan tahanan listrik bracket rear console. Kondisi permukaan benda kerja yang kasar, torsi yang besarnya 4,5 kali standar minimum, press separation yang besarnya 2,5 kali standar minimum, berkurangnya material elektroda sedalam 1 mm saat dresser untuk setiap 200 cycle pengelasan. Kondisi saat ini termasuk dalam kondisi standar yang sangat tinggi atau bahkan sudah mencapai kondisi berlebih. Kondisi tersebut memberikan peluang untuk dilakukan optimasi parameter pengelasan sehingga didapat kondisi baru yang lebih rendah dari kondisi sebelumnya namun dengan tetap memperhatikan 4 faktor kualitas [*setdown*, *torsi*, *press separation*, *welding length*] sekaligus dapat membuat masa pakai elektroda mengalami peningkatan. Optimasi parameter pengelasan dilakukan dengan melakukan 2 variasi penurunan tekanan elektroda (3,2 MPa & 2,9 MPa) dan mengkombinasikan dengan 2 variasi penurunan arus (6120 A & 5780 A) serta melakukan pengamatan hasil proses pengelasan terhadap 4 faktor kualitas. Kombinasi tekanan elektroda 2,9 MPa dan arus 6120 A memberikan hasil yang terbaik. Permasalahan kondisi permukaan yang kasar dapat teratasi, kedalaman dresser berkurang menjadi 0,4 mm untuk setiap 250 cycle, terjadi peningkatan masa pakai elektroda 25 %. Pengamatan terhadap rata-rata 4 faktor kualitas: *setdown* 87 %, *torsi* 80 Nm, *press separation* 7866 N, *welding length* 3,3 mm. Hasil pengelasan dengan parameter baru masih memenuhi standar kriteria pengelasan yang digunakan, sehingga kondisi optimasi dapat untuk diaplikasikan pada aktual proses produksi.

Kata kunci: Pengelasan tahanan listrik, parameter pengelasan, masa pakai elektroda, *setdown*, *torsi*, *press separation*, *welding length*.

ABSTRACT

This research begins with observing several conditions that occur in the process of welding the electrical resistance of the rear console bracket. Rough workpiece surface conditions, torque of 4.5 times the minimum standard, press separation of 2.5 times the minimum standard, reduction of electrode material as deep as 1 mm when dressing for every 200 welding cycles. The current condition is in a very high standard condition or has even reached an excess condition. This condition provides an opportunity to optimize welding parameters so that new conditions are obtained which are lower than the previous conditions, but while still paying attention to the 4 quality factors [*setdown*, *torque*, *press separation*, *welding length*] while at the same time increasing the life of the electrode. Welding parameter optimization was carried out by performing 2 variations of the electrode pressure drop (3.2 MPa & 2.9 MPa) and combining it with 2 variations of the current drop (6120 A & 5780 A) and observing the results of the welding process on 4 quality factors. The combination of electrode pressure of 2.9 MPa and current of 6120 A gave the best results. The problem of rough surface conditions can be resolved, the depth of the dresser is reduced to 0.4 mm for every 250 cycles, there is an increase in electrode life of 25%. Observations on the average of 4 quality factors: 87% *setdown*, torque 80 Nm, *press separation* 7866 N, *welding length* 3.3 mm. Welding results with the new parameters are still meet the standard welding criteria used, so that the optimization conditions can be applied to the actual production process.

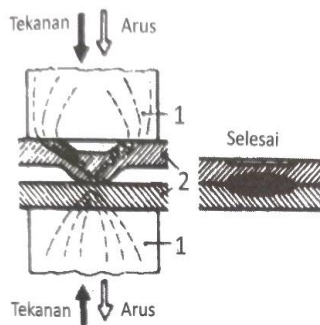
Keywords: Electrical resistance welding, welding parameters, electrode life, *setdown*, *torque*, *press separation*, *welding length*.

I. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya industri otomotif dalam hal ini adalah mobil, pemakaian proses pengelasan untuk pembuatan bodi atau komponen kendaraan menjadi proses yang dominan. Salah satu proses pengelasan yang banyak digunakan adalah proses tahanan listrik.

Resistance spot welding atau pengelasan tahanan listrik adalah suatu cara pengelasan dimana permukaan pelat yang disambung ditekan satu sama lain dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik [1].

Pada pengelasan tahanan listrik dimanfaatkan daya pemanasan arus listrik yang dihasilkan oleh tahanan peralihan arus pada tempat pertemuan (tempat pengelasan) benda kerja. Tempat pengelasan diberi panas dalam beberapa detik setelah pengaliran arus dan dilas sambung dengan tekanan atau pukulan. Pengelasan nut atau baut dengan plat merupakan salah satu contoh pengelasan jenis tonjolan yang juga merupakan bagian pengelasan tahanan listrik [2].



Gambar 1. Pengelasan tonjolan

Salah satu komponen dalam alat mesin proses tahanan listrik adalah elektroda. Pada kondisi tertentu, setelah digunakan dalam beberapa kali proses pengelasan, kondisi elektroda mengalami perubahan kondisi seperti permukaan tidak rata, kotor dan perlu diratakan / dipotong bagian ujung elektrodanya. Proses ini dapat dilakukan berulang sampai pada batas yang sudah di standarkan. Setelah mencapai batas atau standar yang telah ditentukan, diperlukan penggantian elektroda yang baru. Jika kondisi ini terlalu sering dilakukan atau kondisi elektrodanya semakin cepat perlu dibersihkan, maka akan mengakibatkan seringnya gangguan pada proses produksi berupa berhentinya produksi sesaat yang pada akhirnya akan mengurangi tingkat produktifitas. Selain itu, hal ini akan mengakibatkan masa pakai elektroda

berkurang sehingga pada akhirnya jumlah pemakaian elektroda akan meningkat.

Kondisi awal penelitian

Penelitian ini dilakukan langsung pada aktual objek benda dan prosesnya pada PT. XYZ.

Tabel 1. Komponen dan material

No	Komponen	Material	Photo	
			Tampak Atas	Tampak Bawah
1	Braket Rear Console	MJC270C t 1,2		
2	Nut	SWRCH10 M6		
3	Elektroda	Copper Alumina Alloy - CD16 (Elektroda atas) Copper Alumina Alloy - CN16 (Elektroda bawah)		 (Tampak depan)

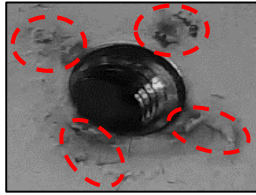
Tabel 1. menunjukkan komponen dan material untuk bracket, nut dan elektroda yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini, peningkatan masa pakai elektroda dilakukan hanya pada elektroda atas.

Tabel 2. Mekanikal properties material MJSC [3]

Material /Grade	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
		Nominal Thickness (mm)
		1.2 or more or less than 1.,6
MJSC270C	270 or more	41 or more 50 or less

Tabel 2. menunjukkan sifat mekanikal properties dari material MJSC yang merupakan bracket dari benda kerja dalam penelitian ini.

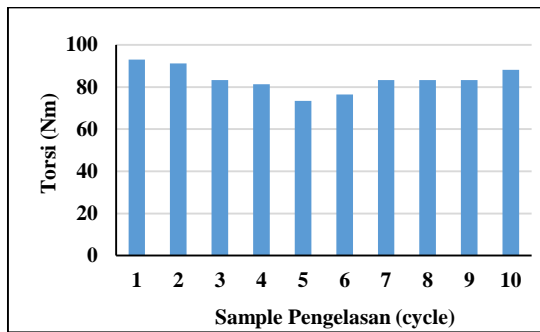
Pengamatan langsung pada proses tahanan listrik untuk komponen bracket rear console, menghasilkan beberapa kondisi seperti berikut : Kondisi permukaan benda kerja yang kasar, cenderung untuk terjadi kondisi awal keretakan permukaan benda kerja (Gambar 2) , kekuatan torsi besarnya 4,5 kali standar minimumnya 18,6 Nm (Gambar 4) , press separation besarnya 2,5 kali standar minimumnya 3724 N (Gambar 5) , berkurangnya material elektroda sedalam 1 mm setiap kali dilakukann pembersihan elektroda untuk setiap 200 cycle pengelasan.



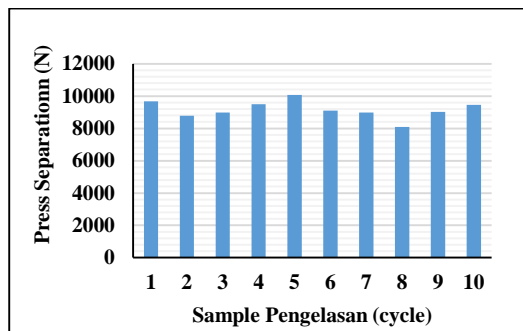
Gambar 2.
Kondisi permukaan
benda kerja awal



Gambar 3.
Permukaan elektroda
kondisi awal



Gambar 4. Kekuatan torsi kondisi awal



Gambar 5. Kekuatan press separation kondisi awal

Dari kondisi di atas, proses pengelasan saat ini termasuk dalam kondisi standar yang tinggi atau bahkan sudah mencapai standar yang berlebih.

Faktor-faktor parameter pengelasan

Faktor-faktor parameter pengelasan yang berpengaruh kepada hasil kualitas pengelasan tahanan listrik terdiri dari arus, tekanan elektroda dan waktu pengelasan. Penelitian terhadap tegangan geser (shear strength test) menghasilkan besar kontribusi parameter tersebut, untuk arus sebesar 58,7 %, gaya tekan elektroda 21,5 %, waktu pengelasan 11,9 % dan error sebesar 7,9 % [4]. Nilai besaran porsi dari masing-masing parameter bukanlah hal yang mutlak, perbedaan kondisi pada jenis, tebal plat dapat memberikan besar kontribusi yang berbeda [5]. Dalam penelitian lain untuk pengelasan tahanan listrik

antara plat dengan nut, didapat hasil bahwa kenaikan arus tidak serta menaikan kekuatan hasil lasnya. Penambahan arus pada kondisi tertentu justru akan menurunkan kekuatan tensile strength [6].

Meskipun waktu pengelasan juga menjadi faktor yang berpengaruh pada kekuatan hasil las, namun waktu pengelasan tidak berpengaruh terhadap masa pakai elektroda. Waktu pengelasan yang lama atau pendek tidak berpengaruh terhadap masa pakai elektroda [7].

Ketiga parameter pengelasan tersebut memiliki efek secara microstructure terhadap fusion zone (nugget), loncatan bunga api atau spatter, dan juga microhardness pada area fusion zone (nugget). Spatter yang terjadi akibat tekanan elektroda yang rendah akan berdampak adanya variasi kekerasan secara mikro pada area fuse zone (kampuh) [8].

Pada penelitian yang lain, spatter yang disebabkan kenaikan arus tidak berpengaruh terhadap kondisi mechanical propertisnya, namun akan berdampak pada hasil penampilan sambungan las [9]. Pada kondisi parameter arus yang sudah tepat, jika waktu pengelasan berlebih dapat menyebabkan over heating yang pada akhirnya akan menyebabkan spatter [10]. Walaupun semua kondisi parameter sudah tepat, spatter yang terjadi pada saat awal proses pengelasan merupakan hal yang wajar. Hal ini merupakan proses pembuangan dan pelepasan partikel dari kaki kaki nut akibat panas bertekanan tinggi dari arus yang dihasilkan pada kontak area yang kecil saat awal proses pengelasan [11].

Dari beberapa hasil studi literatur penelitian yang sudah dilakukan, pada umumnya penelitian yang dilakukan seputar proses pengelasan tahanan listrik adalah meneliti karakteristik dan pengaruh antara parameter-parameter pengelasan seperti besar arus, waktu penetrasi, gaya/jarak elektroda dengan benda las, tebal dan jenis material, terhadap perubahan sifat fisis dan mekanik pada benda hasil pengelasan. Hubungan tersebut diteliti untuk objek pengelasan dengan material sejenis dan beda jenis, baik untuk pengelasan plat dengan plat dan juga antara plat dengan nut atau baut.

Di sisi lain, penelitian dalam pengelasan tahanan listrik yang diprioritaskan untuk peningkatan masa pakai elektroda cenderung fokus pada perbaikan dari elektroda itu sendiri, baik dari metode pemakaian ataupun struktur dasar pembuatan materialnya. Kevin Randall Chan dalam penelitian menyebutkan setidaknya terdapat 6 metode untuk peningkatan masa pakai elektroda [12].

Dalam penelitian yang dilakukannya, dipelajari secara mendalam prosesnya terjadi kerusakan elektroda walau sudah diberikan

lapisan pelindung TiC (Titanium Carbide), dan membandingkannya dengan kondisi pada elektroda tanpa lapisan pelindung pelindung (uncoated electrode) [13].

Pengelasan nut termasuk kedalam bagian pengelasan tahanan listrik listrik. Dasar parameter processnya adalah arus listrik dan waktu aliran arus tersebut. Proses pengelasan nut dan baut tidak semudah untuk dipahami jika dibandingkan pengelasan tahanan listrik antara plat dengan pelat sehingga penelitian yang lebih kompleks masih tetap dibutuhkan [14].

Dari kondisi di atas, dapat diturunkan hipotesa jika proses pengelasan dilakukan dengan parameter pengelasan yang lebih optimal, maka beberapa kondisi sebelumnya dapat diperbaiki atau dibuat lebih optimal. Kondisi permukaan benda kerja yang kasar diperbaiki, kekuatan torsi dan press separationnya dapat diturunkan namun tetap memenuhi standar kualitas dan masa pakai elektroda dapat ditingkatkan sehingga efisiensi pemakaian elektroda dapat meningkat.

Heat input

Heat input dapat diartikan sebagai jumlah energi listrik yang dialirkan ke sebuah area las pada saat proses pengelasan [15]. Jumlah energi ini harus dapat mencapai titik leleh dari masing-masing bahan yang akan di las. Pada pengelasan tahanan listrik antara nut dengan plat baja, jumlah energi ini harus dapat membuat kaki dari nut weld dapat meleleh untuk selanjutnya akan menjadi kampuh atau nugget sebagai hasil dari proses pengelasan.

Untuk menghitung heat input pada pengelasan tahanan listrik untuk nut weld, dilakukan beberapa tahapan serta data pendukung seperti berikut:

Tabel 3. Properties Nut SWRCH 10 [16-17]

No	Property	Description
1	Material	Structural steel (0,08 – 0,13% carbon – JIS G 3507)
2	Specific heat of material	465 kJ/kg ⁰ C
3	Density of material	7850 kg/m ³
4	Melting Temperature	1480 ⁰ C
5	Thickness	1 mm
6	Electrical resistivity	1.43E-7 - 1.74E-7 kΩ·m

1. Menghitung volume area kaki nut yang akan menjadi kampuh las.
2. Menghitung massa material yang akan menjadi kampuh las :

$$m = v \times \rho \quad (1)$$

dimana m = massa (kg), v = volume (m³)
 ρ = density material (kg/m³)

3. Menghitung heat input yang dibutuhkan :

$$H = m \times C_p \times T \quad (2)$$

dimana H = Panas yang dibutuhkan untuk meencapai titik lebur benda kerja las (kJ),
 m = massa (kg), C_p = Specific Heat (kJ/kg⁰C)
 T = titik lebur (melting) benda kerja (⁰C)

4. Menghitung besar energi yang harus dihasilkan mesin pengelasan :

$$Q = I^2 \times R \times T \quad (3)$$

dimana Q = Panas yang dihasilkan arus dari mesin pengelasan (kJ), I = Arus supply (A) ,
 R = Nilai tahanan material (Ohm) , T = waktu selama terjadi arus supply (s)

4 Indikator kualitas pengelasan

Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi pengaruh optimasi parameter pengelasan tekanan elektroda dan arus terhadap 4 faktor kualitas pengelasan. Ke empat faktor tersebut adalah

1. Setdown

Setdown merupakan nilai deformasi yang terjadi pada perubahan ketinggian kaki nut pada plat setelah proses pengelasan. Nilai ini menggambarkan tingkat penetrasi nut akibat proses pengelasan

Metode perhitungan yang digunakan untuk mengukur nilai *set down* , dapat dijelaskan pada formula di bawah ini [18-19] :

$$s = \frac{A-B}{A} \cong \frac{A-(h-c-t)}{A} \quad (4)$$

Dimana:

S = Setdown [%]

A = Tinggi Kaki Nut sebelum pengelasan[mm]

B = Tinggi Kaki Nut setelah pengelasan [mm]

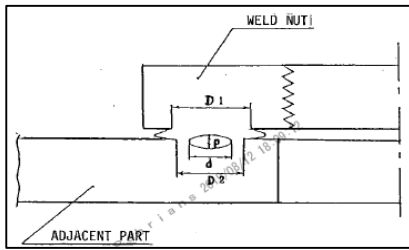
h = Tinggi total Nut dan Plat setelah pengelasan [mm]

c = Tinggi badan nut [mm]

t = Tebal Plat [mm]

2. Kondisi kampuh las

Untuk mengetahui hasil dari kampuh las, dapat dilakukan dengan melakukan pemotongan (cross section) terhadap nut hasil pengelasan. Berikut ini penjelasan mengenai bagian – bagian hasil kampuh las (weld nugget) [20]:



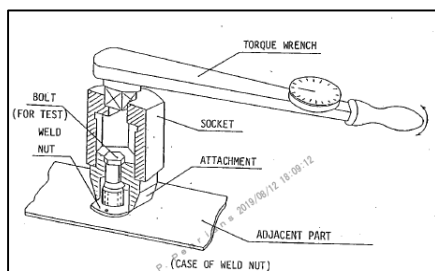
Gambar 6. Penampang kampuh las

Penjelasan bagian-bagian pengelasan tersebut sebagai berikut :

1. Diameter pengelasan pada posisi Nut (gambar D1)
2. Diameter pengelasan pada posisi Panel atau Plat (D2)
3. Nugget diameter (gambar d)
4. Kedalaman penetrasi (gambar p)

3. Uji Torsi

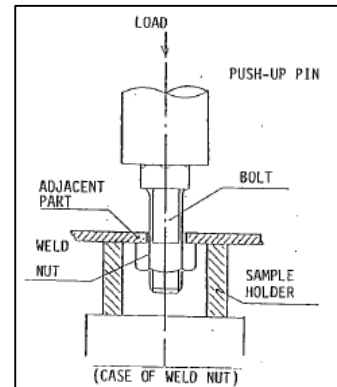
Uji torsion shear test merupakan salah satu metode untuk mengetahui sifat kekuatan hasil pengelasan dalam menahan beban torsi. Metode uji pada pengujian ini menggunakan standard ES-X87010 [20] . Ilustrasi pengujian dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini :



Gambar 7. Ilustrasi pengujian torsi

4. Uji Press separation

Uji press separation test merupakan salah satu metode untuk mengetahui sifat kekuatan hasil pengelasan dalam menahan beban geser. Secara aplikasi metode ini menguji nilai pembebanan maksimal. Metode uji pada pengujian ini menggunakan standard ES-X87010 [20] . Ilustrasi pengujian dapat dilihat pada gambar 8 di bawah ini :



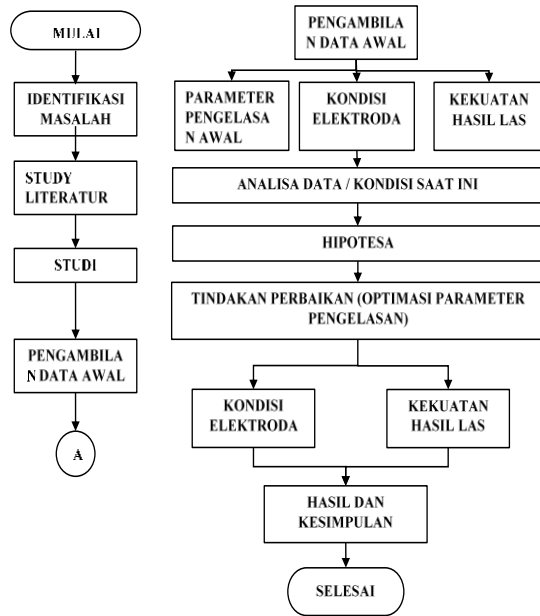
Gambar 8.

Ilustrasi pengujian press separation

Tujuan penelitian ini melakukan optimasi parameter pengelasan tekanan elektroda dan arus proses pengelasan tahanan listrik komponen bracket rear console untuk peningkatan masa pakai elektroda dengan tetap memperhatikan 4 faktor standar kualitas. 4 faktor kualitas tersebut adalah setdown (tingkat penetrasi), torsi, press separation, dan panjang kampuh las.

II. METODE PENELITIAN

Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini, pengambilan pengukuran serta pengujian data data untuk kondisi awal sebelum aktivitas optimasi dilakukan sebagai bahan analisa untuk tindakan berikutnya. Hasil penelitian – penelitian sebelumnya serta konsep konsep dasar dari beberapa buku referensi digunakan untuk mendukung penelitian ini.

Pada penelitian optimasi parameter pengelasan ini, dibuat masing-masing 2 kondisi variable untuk tekanan elektroda dan arus. Pada tiap kondisi variable tersebut dibandingkan dengan kondisi awal dan dipelajari pengaruhnya terhadap 4 indikator kualitas seperti yang telah dibahas sebelumnya.

Tabel 4. Tahapan optimasi parameter pengelasan

No	Parameter	Aktivitas optimasi	Point Check			
			Setdown	Torsi	Press Separation	Kondisi Kampuh
1	Tekanan elektroda	1.1. Pengurangan 10 %	√	√	√	√
		1.2. Pengurangan 20 %	√	√	√	√
2	Arus	2.1. Pengurangan 10 %	√	√	√	√
		2.2. Pengurangan 15 %	√	√	√	√

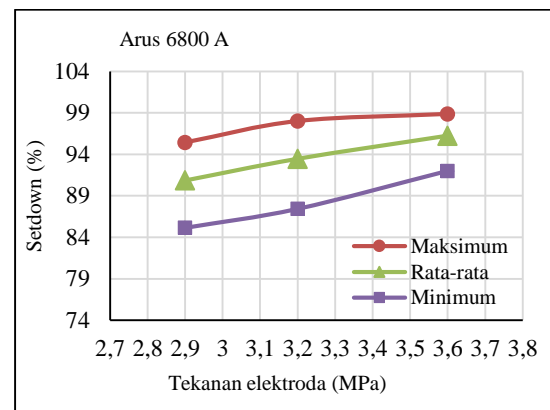
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan evaluasi optimasi parameter dilakukan mengacu pada Tabel 2. Setiap tahapan dilakukan pengaruhnya terhadap 4 faktor indikator kualitas. Pada tahap ini akan dipilih variasi parameter yang optimal, dilakukan pada jumlah sample sebanyak 10 titik pengelasan, selanjutnya setelah didapatkan variasi parameter yang paling baik, dilakukan evaluasi pada jumlah pengelasan sebanyak 250 titik. Hal ini bertujuan agar dapat dilakukan evaluasi untuk kemampuan peningkatan masa pakai elektroda di atas standar yang digunakan saat ini.

3.1. Penurunan tekanan elektroda (n:10 titik)

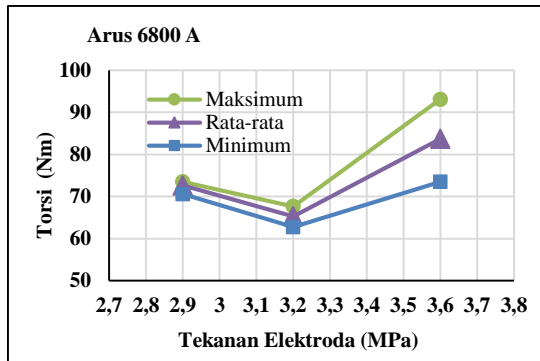
Kondisi penurunan tekanan elektroda seperti di bawah ini :

Penurunan sebesar 10 % [3,6 MPa -> 3,2 MPa]
 Penurunan sebesar 20 % [3,6 MPa -> 2,9 MPa]



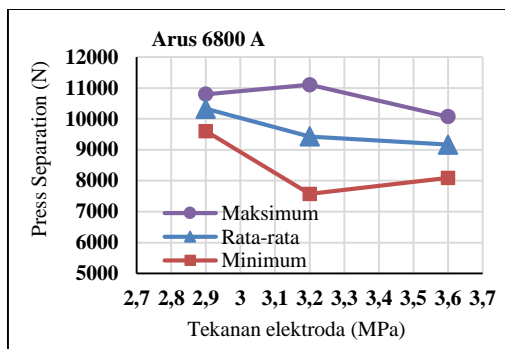
Gambar 10. Setdown pada kondisi penurunan tekanan elektroda

Gambar 10. Menunjukkan variasi penurun tekanan 10% dan 20% memiliki range yang hampir sama sebesar 11%. Pada tekanan 2,9 MPa, nilai terendah setdown mencapai 85%. Pengaruh terhadap setdown ini, merupakan data pengaruh terhadap torsi dan kemampuan press separation sangat perlu untuk dipertimbangkan dalam langkah selanjutnya.



Gambar 11. Torsi pada penurunan tekanan elektroda

Gambar 11. Menunjukkan bahwa perubahan tekanan sangat besar pengaruhnya terhadap kekuatan torsi. Penurunan terbesar justru terjadi pada tekanan 3,2 MPa. Kekuatan torsi mengalami peningkatan dengan rata-rata sebesar 73N pada tekanan 2,9 MPa. Dari grafik ini, mengindikasikan pada tekanan 2,9 proses mejadi lebih stabil sehingga kekuatan torsinya menjadi lebih besar.



Gambar 12. Press separation pada penurunan tekanan elektroda

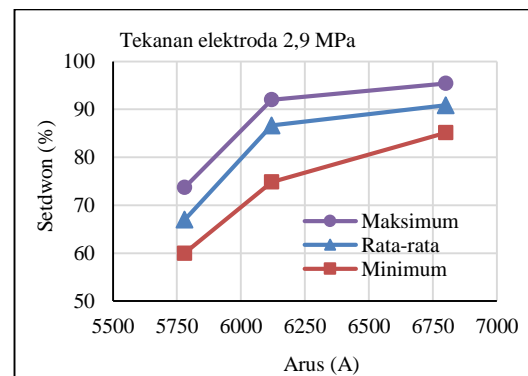
Gambar 12. Menunjukkan penurunan tekanan 2,9 MPa justru menghasilkan kekuatan press separation yang lebih besar dibandingkan pada tekanan 3,2 MPa. Kondisi ini cenderung sama dengan yang terjadi pada kekuatan torsi. Pada tekanan 2,9 MPa, proses pengelasan dapat lebih stabil. Peningkatan kekuatan press separation ini, dapat dikuatkan dengan tebal kampuh las seperti dijelaskan pada tabel 3. Dari gambar potongan kampuh las terlihat adanya peningkatan tebal kampuh las dibandingkan pada kondisi awal. Evaluasi pengaruh tekanan elaktroda, seperti yang dijelaskan pada gambar 10, 11, dan 12, semuanya menunjukkan bahwa pada tekanan elektroda sebesar 2,9 MPa, menunjukkan hasil yang lebih baik dari sisi setdown, torsi dan press separationnya.

Kondisi ini sesuai dengan tujuan awal optimasi dimana didapat kondisi pengeseran baru dibandingkan kondisi awal pengelasan (kondisi yang lebih rendah) sehingga akan berdampak pada peningkatana masa pakai elektroda. Dari sisi tampilan benda kerja, kondisi terdapat kondisi kasar dan awal potensi keretakan juga sudah tidak ada sehingga pada tahap awal dapat dipillih tekanan elektroda pada 2,9 MPa sebagai parameter baru untuk selanjutya dilakukan evaluasi pada variasi arus.

3.2 Pengaruh variasi tekanan elektroda dan arus (n: 10 titik)

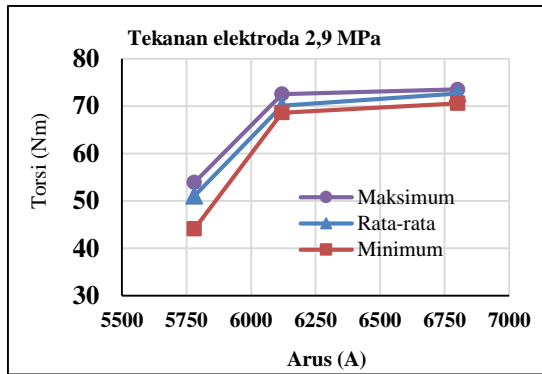
Kondisi variasi penurunan tekanan elektroda dan arus seperti di bawah ini :

- Penurunan tekanan elektroda 20 % [3,6 MPa -> 2,9 MPa]
Penurunan arus sebesar 10 % [6800 A -> 6120 A]
- Penurunan tekanan elektroda sebesar 20 % [3,6 MPa -> 2,9 MPa]
Penurunan arus sebesar 15 % [6800 A -> 5780 A]



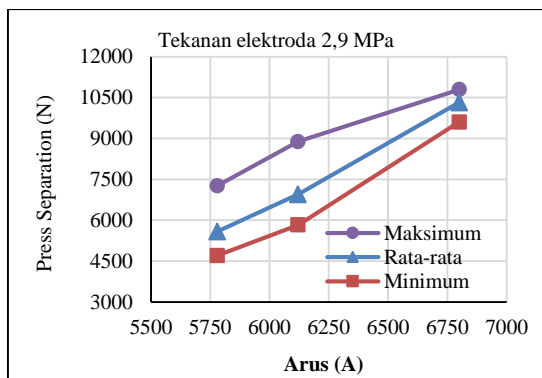
Gambar 13. Perubahan tekanan elektroda dan variasi arus terhadap setdown

Gambar 13. Menunjukkan bahwa variasi parameter baru pada arus 5780 A, menghasilkan nilai penetrasi pengelasan atau setdown mencapai 60 %. Pada penelitian yang dilakukan Xiaodong Wan, dkk [20], tingkat penetrasi mungkin dapat digunakan untuk mengukur kualitas pengelasan. Pada penetrasi pengelasan 75 % dinilai kondisi yang paling ideal. Pada kondisi ini dihasilkan mayoritas full button fracture. Walaupun demikian, penetrasi bukanlah hal utama yang digunakan sebagai standar kualitas pengelasan pada industri pabrikan kendaraan bermotor. Tingkat penetrasi merupakan nilai atau kondisi referensi saja.



Gambar 14. Penurunan tekanan elektroda dan variasi arus terhadap torsi

Gambar 14. Menunjukkan penurunan arus pada 5780 mengakibatkan penurunan torsi sebesar 30 %. Nilai minimum kondisi ini mencapai 44,1 N. Pada arus 6120 A hanya terjadi penurunan sebesar 4 % dengan nilai minimumnya mencapai 68,6 N. Gambar 14 menunjukkan bahwa arus sangat berpengaruh terhadap torsi. Parameter arus 6120 menunjukkan proses yang lebih stabil dengan menghasilkan kekuatan torsi dengan rata-rata 72,52 N. Dari kondisi ini, parameter dengan variasi arus 6120 A menjadi pilihan yang terbaik.



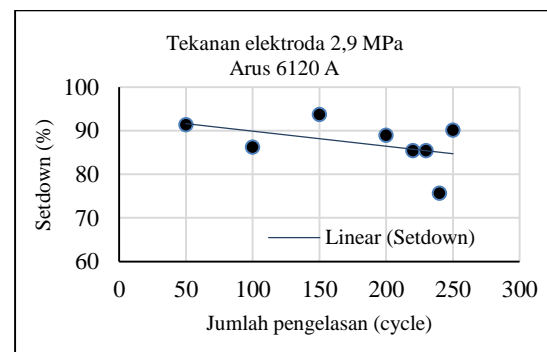
Gambar 15. Penurunan tekanan elektroda dan variasi arus terhadap press separation

Gambar 15. Menunjukkan pengaruh variasi arus terhadap press separation. Pada arus 5780 A juga terjadi penurunan kekuatan press separation yang besar. Terjadi penurunan sebesar 46 %. Dengan kondisi ini, nilai terendah mencapai 4706 N. Pada kondisi arus 6120 terjadi penurunan sebesar 33 %, dengan nilai terendah pada 5827 N. Pengaruh variasi arus memiliki dampak yang berbeda pada torsi dan press separation. Pada penurunan arus yang sama, dampak perubahan yang lebih proporsional terjadi pada press separation. Evaluasi pengaruh variasi tekanan elektroda dan arus seperti yang dijelaskan pada gambar 13, 14, dan 15,

semuanya menunjukkan bahwa pada variasi tekanan elektroda 2,9 MPa, dan arus 6120 A menunjukkan hasil yang lebih baik dari sisi setdown, torsi dan press separationnya. Dari semua tahapan optimasi yang dilakukan, kondisi ini memberikan hasil yang paling sesuai dengan target optimasi. Selanjutnya pada kondisi variasi parameter dilakukan evaluasi pengelasan dengan jumlah yang melebihi standar pengelasan awal agar bisa diketahui kondisi 4 indikator kualitasnya.

3.2. Pengaruh variasi tekanan elektroda dan arus (n: 250 titik)

- Penurunan tekanan elektroda sebesar 20 % [3,6 MPa -> 2,9 MPa]
- Penurunan arus sebesar 10 % [6800 A -> 6120 A]

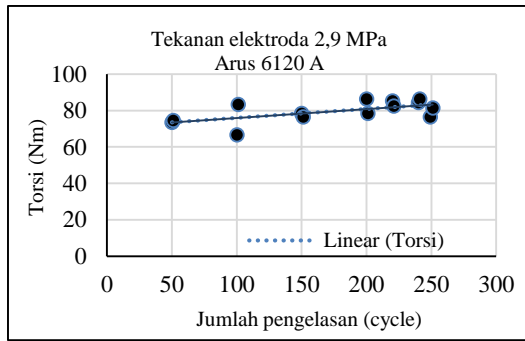


Gambar 16. Penurunan tekanan elektroda dan arus terhadap setdown

Gambar 16. Menunjukkan bahwa sudah terjadi penurunan tingkat penetrasi pengelasan pada kondisi di atas 200 titik pengelasan. Hal ini dapat terlihat pada garis regresi yang menunjukkan nilai minus seperti pada persamaan regresi di bawah ini.

$$y = -0,0344x + 93,329$$

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, tingkat penetrasi mungkin dapat digunakan untuk standar kualitas pengelasan. Bagaimanapun juga, kondisi torsi dan press separation tetap harus diutamakan dan dievaluasi kondisinya.

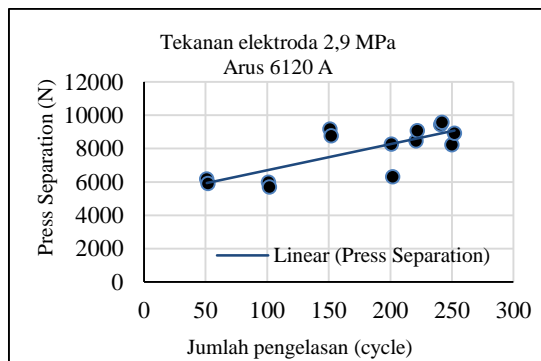


Gambar 17. Penurunan tekanan elektroda dan arus terhadap torsi

Berbeda dengan penetrasi pengelasan, kondisi torsi lebih dari 200 titik pengelasan masih menunjukkan trend yang menaik.

$$y = 0,049x + 71,037$$

Hasil regresi pada nilai torsi diatas menunjukan nilai yang positif. Hal ini dapat diartikan bahwa dengan variasi parameter pengelasan yang baru, jumlah standar pemakaian elektroda pengelasan masih dapat dilakukan dengan tetap menjaga torsi sesuai standar dan kondisi yang diinginkan.

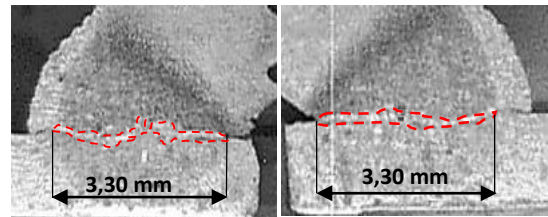


Gambar 18. Penurunan tekanan elektroda dan arus terhadap press separation.

Gambar 18. Menunjukkan kekuatan press separation yang masih meningkat pada titik pengelasan melebihi 200 cycle. Kondisi ini didapat digambarkan oleh persamaan garis yang regresi yang bernilai positif seperti pada persamaan garis berikut :

$$y = 15,68x + 51,331$$

Hal ini menguatkan bahwa dengan optimasi parameter pengelasan yang baru, kekuatan press separation masih dalam kondisi yang aman untuk dilakukan. Selain masih masuk kedalam standar pengelasan, pada kondisi titik pengelasan mencapai 250 titik pun nilainya masih cenderung untuk naik atau stabil.



Gambar 19. . Penampang kampuh las

Gambar 19. Menunjukkan dimensi atau panjang kampuh. Kondisi ini terjadi pada kondisi parameter pengelasan tekanan sebesar 2,9 MPa dan arus 6120 A. Dari ke empat kondisi variasi parameter pengelasan, kondisi ini menghasilkan dimensi kampuh las yang paling besar sebesar 3,3 mm. Besar panjang kampuh las pada masing-masing parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 5. Panjang kampuh las

Kondisi Pengelasan	Panjang Kampuh (mm)	
	LH	RH
Awal (3,6 Mpa, 6800 A)	2,77	2,49
1. Tekanan 3,2 Mpa	3,03	2,73
2. Tekanan 2,9 Mpa	2,63	2,87
3. Tekanan 2,9 Mpa, Arus 6120 A	3,30	3,30
4. Tekanan 2,9 Mpa, Arus 5780 A	2,47	2,92

Tabel 5 menampilkan panjang dimensi kampuh las pada masing-masing variasi optimasi parameter pengelasan. Juga ditampilkan panjang kampuh las pada saat kondisi awal pengelasan. Tabel tersebut terlihat dimensi kampuh terbesar pada variasi tekanan 2,9 MPa dan arus 6120 A.

Dari gambar 16, 17, 18 dan tabel 3, semuanya menunjukkan bahwa variasi parameter ini menghasilkan kondisi yang paling baik dan masih masuk kedalam standar 3 faktor indikator pengelasan. Selain itu, dengan kondisi, standar pemakaian elektroda dapat ditambah sehingga masa pakai elektroda dapat meningkat sehingga tujuan penelitian ini dapat tercapai.

Tabel 6. Kondisi pemakaian elektroda hasil optimasi

Kondisi Pengelasan	Standar Dresser (Cycle)	Kedalaman Dresser (mm)	Produksi/ bulan	Frekuensi Dresser	Pemakaian elektroda
Awal	200	1	18000	90	9
Hasil Optimasi	250	0,4	18000	72	3
	25%				68%

Tabel 6. Menunjukkan hasil yang dicapai dari optimasi parameter pengelasan terhadap masa pakai elektroda. Dengan adanya penambahan standar pemakaian elektroda menjadi 250 cycle, terjadi kenaikan masa pakai elektroda sebesar 25 %, dan adanya penghematan pemakaian elektroda sebesar 68 %.

IV. KESIMPULAN

Kondisi permukaan elektroda hasil optimasi menjadi lebih baik. Dari sisi tampilan sisi permukaan benda kerja, kondisi kasar (initial dent) sudah tidak ditemukan lagi. Selain itu, kedalaman dresser berkurang dari 1 mm menjadi cukup hanya 0,4 mm, dan dresser dapat dilakukan setelah mencapai 250 cycle pengelasan. Nilai setdown atau penetrasi pengelasan besarnya 87 %. Kekuatan torsi hasil optimasi tekanan elektroda dan arus dengan rata-rata 80 Nm, berada pada nilai 4,3 kali nilai minimum standarnya. Terjadi penurunan sebesar 5 % dari kondisi awal. Sedangkan kekuatan press separation dengan rata-rata 7866 N, berada pada nilainya 2,1 kali di atas minimum standarnya. Nilai ini mengalami penurunan sebesar 14% dari kondisi awal. Hasil konfirmasi optimasi parameter pengelasan terhadap 4 faktor indikator kualitas menunjukan hasil yang masih memenuhi standar pengelasan yang digunakan dan dapat diimplementasikan pada aktual proses produksi. Manfaat aktivitas optimasi parameter pengelasan terhadap pemakaian elektroda terjadi peningkatan standar pemakaian elektroda sebesar 25 % dan penurunan jumlah pemakaian elektroda sebesar 68 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. D. I. H. Wiryosumarto and P. D. T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 9th ed. PT. Pradyna Paramita - Jakarta, 2019.
- [2] I. A. Schonmetz, I. A. Froschherz, I. R. Domayer, and I. P. Sinnl, *Pengerjaan Logam dengan Perkakas Tangan dan Mesin Sederhana*. Angkasa Bandung, 2013.
- [3] "ES-X50175_COLD-ROLLED STEEL SHEET AND STRIP FOR AUTOMOBILE USE."
- [4] A. Arumugam and M. Nor, "Spot welding parameter optimization to improve weld characteristics for dissimilar metals," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 4, no. 01, pp. 75–80, 2015.
- [5] D. W. Karmiadji and M. K. Huda, "Analisis Pengelasan Spot Welding Pada Material SPC Dan SCGA Kendaraan Mpv," *Pros. Semin. Rekayasa Teknol.*, pp. 665–678, 2018.
- [6] V. Jurgaitis, R. Čsnavičius, S. Kilikevičius, and R. Dundulis, "Strength and microstructure analysis of spot welded joints between a sheet and a nut of different steels," *Mechanika*, vol. 24, no. 3, pp. 305–310, 2018, doi: 10.5755/j01.mech.24.3.21027.
- [7] W. J. Zhang, I. Cross, P. Feldman, S. Rama, S. Norman, and M. Del Duca, "Electrode life of aluminium resistance spot welding in automotive applications: a survey," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 22, no. 1, pp. 22–40, 2017, doi: 10.1080/13621718.2016.1180844.
- [8] X. Wang and Y. Zhang, "Effects of Welding Procedures on Resistance Projection Welding of Nuts to Sheets," *Isij Int.*, vol. 57, no. 12, pp. 2194–2200, 2017.
- [9] M. C. J Valera, V Miguel, A Martinez, J Naranjo, "Optimization of electrical in parameter Resistance Spot Welding of dissimilar joint of micro alloyed steel TRIP sheets," *Elsevier*, vol. 13, no. 28-30 June, pp. 291–298, 2017.
- [10] V. K. Prashanthkumar, N. Venkataram, N. S. Mahesh, and Kumarswami, "Process Parameter Selection for Resistance Spot Welding through Thermal Analysis of 2mm CRCA Sheets," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 5, pp. 369–378, 2014, doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.279.
- [11] L. L. Mircea Burca, "RESEARCH ON WELD NUTS FIXED BY RESISTANCE WELDING," no. September, pp. 15–20, 2013.
- [12] K. R. Chan, "Weldability and Degradation Study of Coated Electrodes for Resistance Spot Welding," 2005.

- [13] K. R. Chan and N. S. Scotchmer, "Quality and Electrode Life Improvements Resistance Welding of Aluminum Sheet to Automotive," pp. 1–12, 2008.
- [14] P. Sejš, J. Belanová, Z. Gábrišová, and B. Vanko, "The influence of parameters of the resistance projection welding of M10 steel nuts to the galvanized steel sheet DP 600 on selected joint characteristics," *Manuf. Technol.*, vol. 20, no. 6, pp. 822–833, 2020, doi: 10.21062/mft.2020.090.
- [15] "<https://www.weldingandndt.com>."
- [16] "JIS G 3507 Carbon Steel for Cold Heading."
- [17] "<https://matmatch.com/materials>."
- [18] C. V. Nielsen, W. Zhang, P. A. F. Martins, and N. Bay, "Numerical and experimental analysis of resistance projection welding of square nuts to sheets," *Procedia Eng.*, vol. 81, no. October, pp. 2141–2146, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.299.
- [19] G. Han, S. Ha, K. P. Marimuthu, S. P. Murugan, Y. Park, and H. Lee, "Shape optimization of square weld nut in projection welding," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 113, no. 7–8, pp. 1915–1928, 2021, doi: 10.1007/s00170-021-06771-7.
- [20] "ES-X87010_STANDARD TEST PROCEDURE FOR WELD OF WELD NUTS OR WELD BOLTS."