

Pengaruh insulasi pada *resistance spot weld* dengan elektroda titik ganda celah paralel satu sisi

M.A. Amat^{1*}, A. Sifa¹, F. Dionisius¹, T. Endramawan¹, D.D. Apriyandi¹, Rudiana¹

¹Perancangan Manufaktur, Politeknik Negeri Indramayu, Indramayu, Indonesia.

ABSTRAK – Kebocoran arus pada alat pengelasan titik ganda satu sisi celah paralel terjadi jika insulasi ke *mass-body* baik itu dari meja kerja atau sistem penggerak dapat membuat konsentrasi arus berkurang dan mengakibatkan pengelasan dua sisi relatif sulit dilakukan atau hasil las kurang baik. Maka dalam penelitian ini, dilakukan eksperimen untuk menguji mesin *resistance spot weld* (RSW) seberapa besar efek pengaruh kebocoran arus pada hasil kualitas sambungan las dengan membandingkan kekuatan sambungan antara sistem tanpa insulasi dan sistem dengan menggunakan insulasi dengan menggunakan metode statistik independen sampel t-test dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil penelitian menunjukkan secara menyeluruh max load untuk CT 3 hingga 10 terdapat perbedaan rerata antara yang menggunakan insulasi dan tanpa insulasi, walaupun tidak begitu signifikan, hal ini dikarenakan data hasil uji geser dari grup tanpa insulasi deviasinya cukup tinggi. Deviasi yang tinggi juga terjadi di data *upper yield*, kesimpulan yang paling kuat adalah dengan memberikan insulasi (atau mencegah kebocoran arus) memberikan dampak hasil pengelasan yang lebih konsisten yang terlihat dari hasil data uji geser. Hanya pada CT 3 yang memiliki dampak signifikan baik *max load* ataupun *upper yield*.

Kata kunci: RSW, kebocoran, arus, insulasi, paralel

ABSTRACT – Current leakage in parallel gap single-sided double spot welding tools occurs if the insulation to the mass-body, either from the work table or the drive system, can reduce the current concentration and result in double-sided welding being relatively difficult to carry out or the weld results being poor. Therefore in this research, an experiment was carried out to test the machine how big the effect of leakage current is on the quality of welded joints by comparing the strength of the joint between a system without insulation and a system using insulation using the independent sample t-test statistical method with a confidence level of 95%. The results of the study show that overall the max load for CT 3 to 10 is a mean difference between without and with insulation, although it is not very significant, this is because the shear test data from the group without insulation has quite a high deviation. High deviations also occur in the upper yield data, the strongest conclusion is that providing insulation (or preventing leakage current) provides a more consistent welding result as seen from the results of the shear test data. Only CT 3 has a significant impact on both max load and upper yield.

Keyword: RSW, leakage, current, insulation, parallel

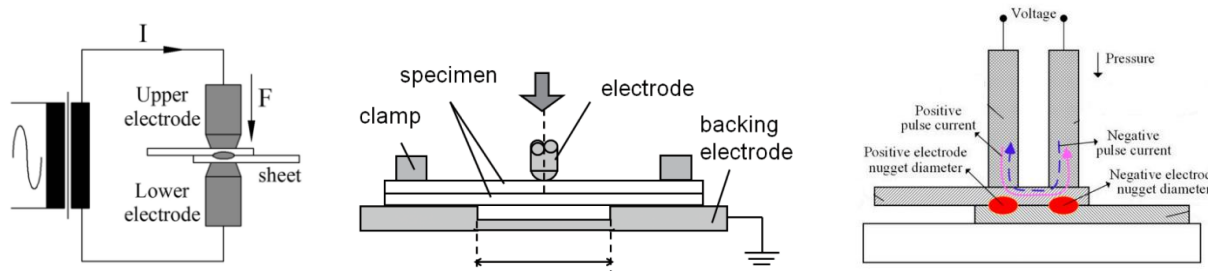
Dikirim: 30 Mei 2024; Direvisi: 20 November 2024; Diterima: 20 November 2024

PENDAHULUAN

Pengelasan titik ganda satu sisi celah paralel (*parallel gap single-sided double spot-welding*) atau disebut juga *series spot welding* adalah teknik pengelasan khusus yang digunakan dalam berbagai proses manufaktur, terutama di industri otomotif dan elektronik menggunakan metode las *resistance spot weld* (RSW) [1-3]. Pengelasan celah paralel (*parallel gap welding*) adalah sebuah metode di mana dua elektroda ditempatkan

sejajar satu sama lain dengan celah kecil di antara keduanya, dimana arus (*current*) pengelasan melewati celah ini, menciptakan lasan pada titik kontak. Teknik ini sering digunakan untuk aplikasi pengelasan presisi yang secara khusus memiliki akses terbatas, yaitu hanya dapat ke satu sisi material, contohnya seperti pipa [4, 5]. Pada pengelasan satu sisi, pengelasan di aplikasikan pada satu sisi material, sedangkan pengelasan dua sisi memerlukan akses ke kedua sisi yang saling berseberangan (lihat **gambar 1**). Pengelasan satu sisi berguna ketika hanya satu sisi rakitan yang dapat diakses atau ketika mengelas material tipis untuk menghindari distorsi [6]. Pengelasan titik ganda melibatkan pembuatan dua titik lasan secara bersamaan atau berurutan. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan sambungan, memastikan kontinuitas listrik dan termal yang lebih baik. Ini sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan keandalan dan kekuatan tinggi [7, 8].

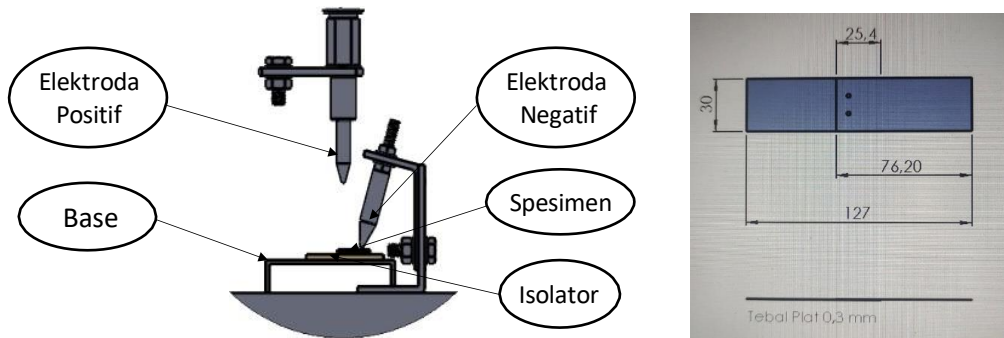
Salah satu permasalahan yang timbul pada jenis pengelasan *parallel gap single-sided double spot-welding* adalah kebocoran arus (*current leakage*) yang dimana arus seharusnya mengalir dari elektroda positif ke elektroda negatif kemudian menghasilkan dua titik pengelasan pada elektroda positif dan negatif di satu sisi. Akan tetapi kebocoran arus ke *mass-body* membuat konsentrasi arus berkurang, apalagi jika *mass-body* menyentuh *ground* atau *earth*, yang terjadi adalah pengelasan dua sisi akan sulit dilakukan atau hasil las kurang baik. Maka dalam penelitian ini, akan dilakukan eksperimen untuk menguji mesin yang sudah dibuat untuk mengetahui seberapa besar efek pengaruh kebocoran arus pada hasil kualitas sambungan las *parallel gap single-sided double spot-welding* dengan membandingkan kekuatan sambungan antara sistem tanpa insulasi dan sistem dengan menggunakan insulasi dengan menggunakan metode statistik independen sampel t-test.



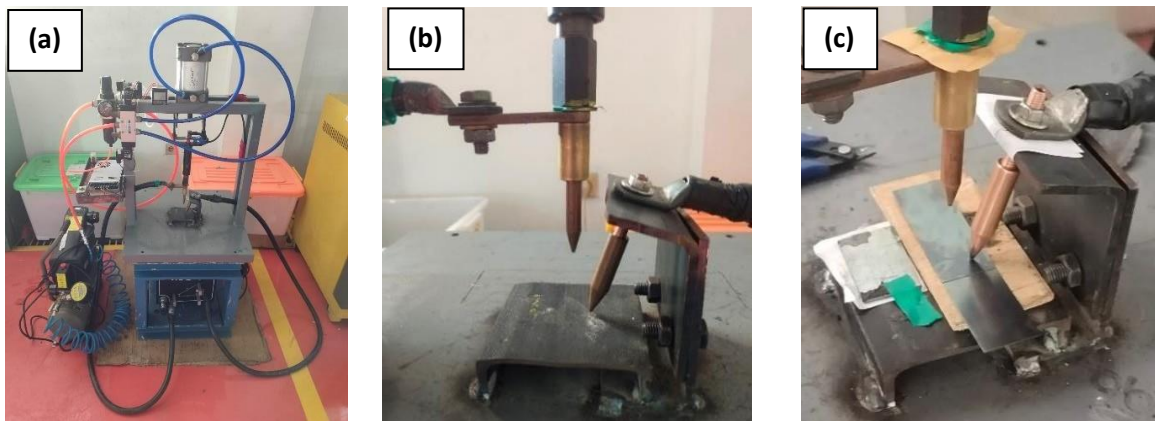
Gambar 1. Standar *resistance spot weld* (kiri), *single-side resistance spot weld* (tengah), *parallel gap single-sided double spot-welding* (kanan) [9-11]

METODE

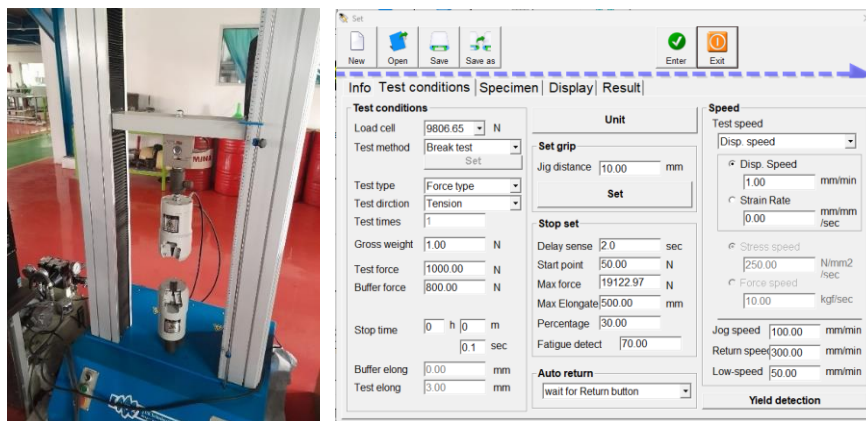
RSW dengan metode elektroda seri menggunakan arus pengelasan (*current*) 8000A, dan waktu pengelasan (*cycle time*) 3 CT (60 ms) hingga 10 CT (200 ms) dimana 1 CT = 20 ms. Bahan yang digunakan yaitu baja SK-5 dengan dimensi plat yaitu 76.2 mm × 30 mm × 0.3 mm (**Gambar 2**). Bahan yang digunakan sebagai elektroda yaitu tembaga murni (Cu), diameter tip spot pada elektroda yaitu 2 mm, pengelasan pada penelitian ini menggunakan jenis sambungan *lap joint* dipilih karena cocok dengan spesimen uji yang berbentuk lembaran plat tipis. Metode pengelasan menggunakan elektroda titik ganda celah paralel satu sisi (*parallel gap single-sided double spot-welding*). Besar tekanan yang diberikan oleh elektroda kepada pelat baja saat proses pengelasan berlangsung adalah 1 Bar atau sebesar 20 kg (diberikan timbangan untuk memvalidasi besaran tekanan kompresi). Untuk menguji apakah kebocoran listrik (tanpa insulator) dapat mempengaruhi secara signifikan kekuatan sambungan maka pengelasan tanpa dan dengan insulator dilakukan seperti yang ada pada skematik **gambar 3**. Hasil eksperimen pengelasan diuji dengan uji geser untuk mengetahui hasil kekuatan las dengan kecepatan tarik 1 mm/min, mesin uji tarik dan detail parameter uji geser terdapat pada **gambar 4**. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap parameter, metode statistik *t-test* dengan tingkat kepercayaan 95% *one-tail* dengan tipe data independen digunakan untuk menganalisa apakah insulasi memiliki dampak terhadap kekuatan beban sambung maksimal.



Gambar 2. Skematik elektroda titik ganda celah paralel satu sisi (kiri) dan ukuran spesimen (kanan)



Gambar 3. (a) Mesin RSW berbasis pneumatik dengan elektroda titik ganda celah paralel satu sisi, (b) tanpa insulasi, (c) dengan insulasi

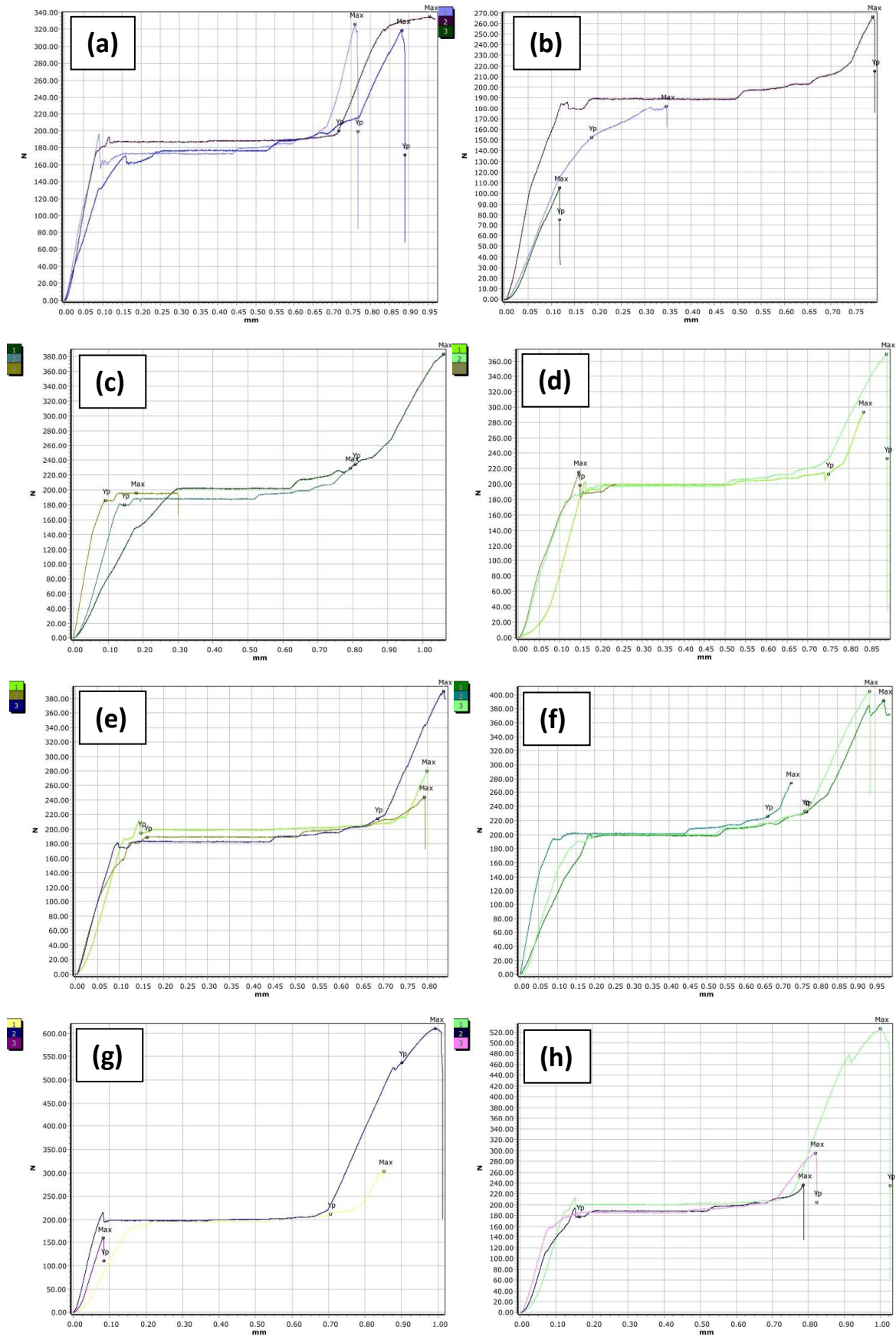


Gambar 4. Mesin uji tarik 15 kN tampak fisik (kiri) dan setting parameter uji tarik (kanan)

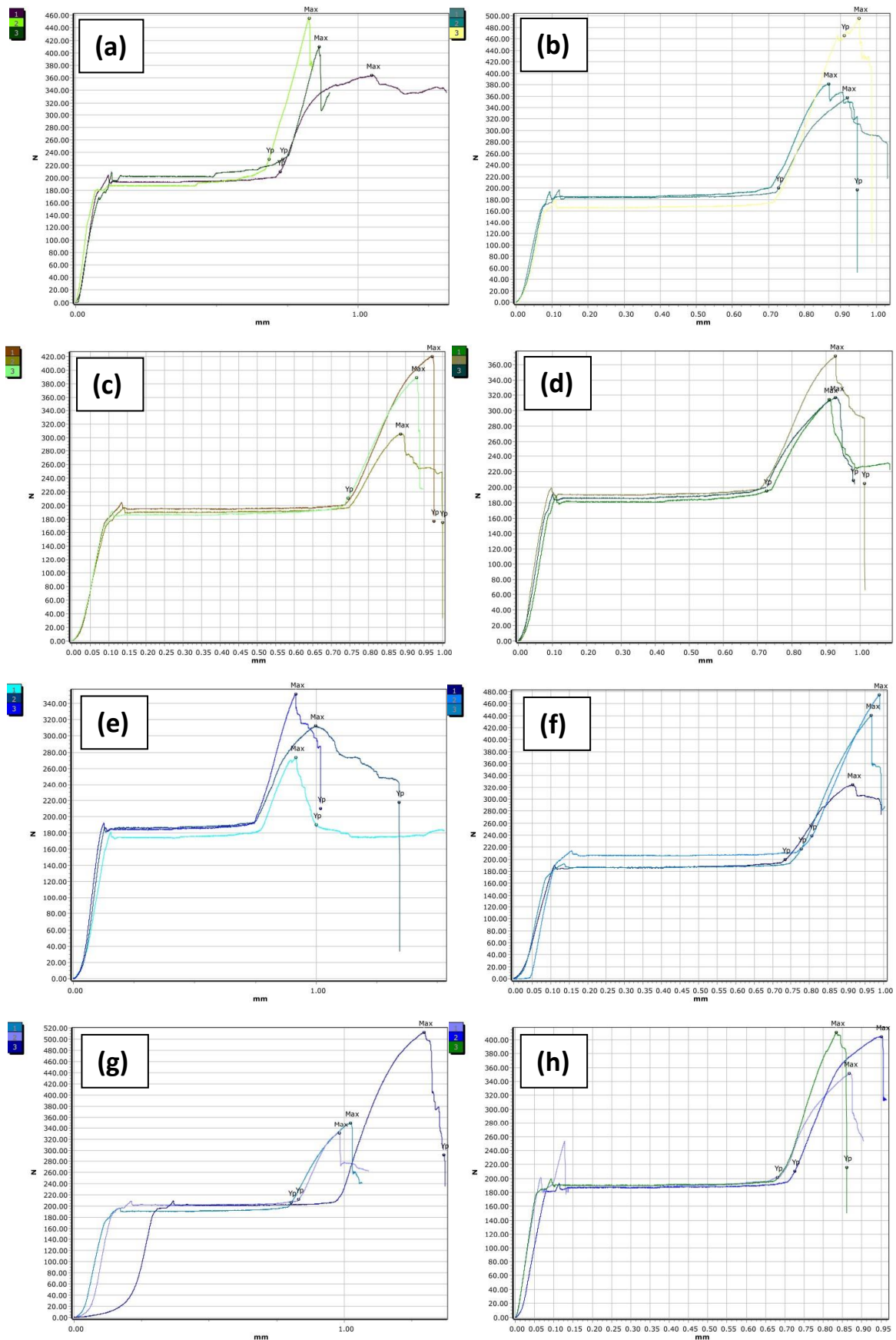
HASIL EKSPERIMEN

Grafik Hasil Pengujian Geser

Gambar 5 merupakan hasil pengujian geser pada mesin uji tarik pada spesimen tanpa insulasi dengan cycle time 3 hingga 10CT sedangkan **gambar 6** hasil uji geser dengan menggunakan insulasi. Semua data grafik tanpa insulasi dirangkum pada **tabel 1** sedangkan data grafik dengan menggunakan insulasi dirangkum pada **tabel 2**.



Gambar 5. Hasil pengujian tarik pada spesimen tanpa insulasi dengan cycle time (a) 60, (b) 80, (c) 100, (d) 120, (e) 140, (f) 160, (g) 180 dan (f) 200 ms, secara berurutan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 CT.



Gambar 6. Hasil pengujian tarik pada spesimen dengan insulasi dengan cycle time (a) 60, (b) 80, (c) 100, (d) 120, (e) 140, (f) 160, (g) 180 dan (h) 200 ms, secara berurutan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 CT.

Data Hasil Pengujian Geser

Tabel 1. Data Average Max Load, Displacement, dan Upper Yield tanpa menggunakan insulasi

	Max. Load (N)	Elongation (mm)	Upper Yield (N)	Max. Load (N)	Elongation (mm)	Upper Yield (N)
	Spesimen 60 ms			Specimens 80 ms		
1	326	0.77	199	182	0.35	152
2	319	0.89	172	266	0.79	215
3	335	0.97	200	105	0.12	75
Avg	326±8	0.88±0.10	190±16	185±80	0.42±0.34	148±78
	Spesimen 100 ms			Spesimen 120 ms		
1	383	1.06	234	295	0.84	213
2	229	0.79	180	369	0.89	233
3	196	0.30	186	215	0.24	198
Avg	269±100	0.72±0.39	200±30	293±77	0.66±0.36	215±17
	Spesimen 140 ms			Spesimen 160 ms		
1	392	0.99	232	280	0.80	194
2	273	0.73	226	244	0.79	189
3	405	0.94	233	390	0.84	214
Avg	357±72	0.89±0.14	230±4	305±76	0.81±0.03	199±13
	Spesimen 180 ms			Spesimen 200 ms		
1	303	0.85	212	526	1.03	236
2	610	1.01	533	236	0.79	179
3	160	0.08	111	295	0.82	204
Avg	358±230	0.65±0.50	285±220	353±153	0.88±0.13	206±29

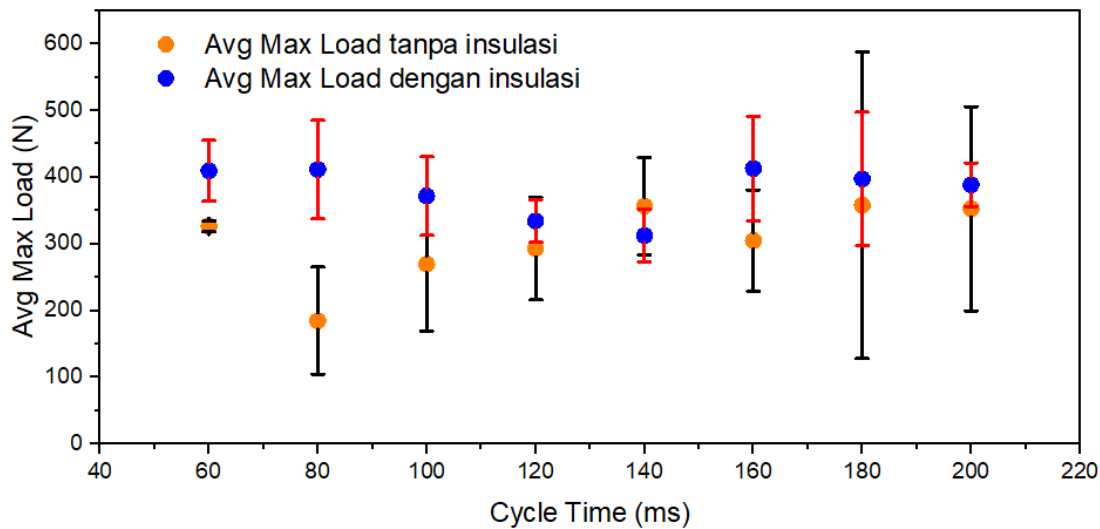
Tabel 2. Data Average Max Load, Displacement, dan Upper Yield dengan menggunakan insulasi

	Max. Load (N)	Elongation (mm)	Upper Yield (N)	Max. Load (N)	Elongation (mm)	Upper Yield (N)
	Spesimen 60 ms			Specimens 80 ms		
1	364	1.31	210	357	1.03	200
2	455	0.84	230	382	0.95	197
3	410	0.90	229	496	0.99	465
Avg	410±46	1.02±0.26	223±11	412±74	0.99±0.04	153±154
	Spesimen 100 ms			Spesimen 120 ms		
1	420	0.98	177	315	1.09	195
2	306	1.00	175	371	1.01	205
3	389	0.95	210	317	0.98	209
Avg	372±59	0.98±0.03	188±20	334±32	1.03±0.06	203±7
	Spesimen 140 ms			Spesimen 160 ms		
1	273	1.53	190	324	0.99	200
2	312	1.34	217	475	0.99	238
3	352	1.02	211	440	1.00	217
Avg	312±39	1.30±0.26	206±14	413±79	0.99±0.01	218±19
	Spesimen 180 ms			Spesimen 200 ms		
1	350	1.07	207	351	0.90	202
2	330	1.09	212	404	0.96	210
3	512	1.37	291	410	0.86	216
Avg	398±100	1.18±0.17	237±47	389±32	0.91±0.05	209±7

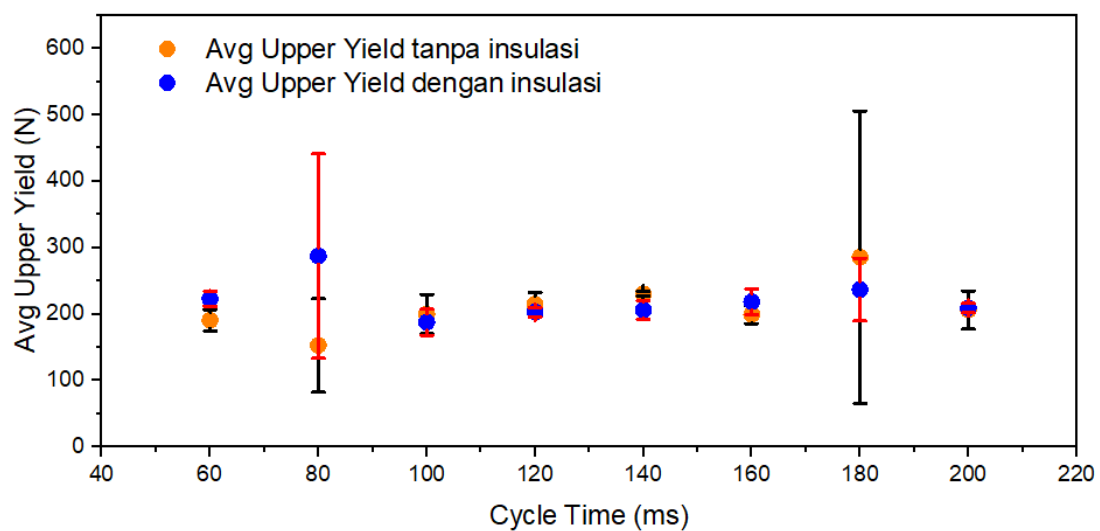
Proportional limit pada spesimen tanpa insulasi hasil bervariasi (tidak stabil) dikisaran 120 – 160 N dengan perpindahan (*displacement*) di kisaran 0.075 – 0.100 mm. Sedangkan proportional limit pada spesimen dengan menggunakan insulasi lebih stabil berada pada nilai 160 N dengan perpindahan 0.075 – 0.080 mm. Data mulur atau perpanjangan (*elongation*) tanpa insulasi dikisaran 0.7 – 1.3 mm sedangkan dengan insulasi 0.6 – 1.0 mm, terdapat data yang diluar kelompok mayoritas di kategori 3 CT.

Perbandingan Tanpa Insulasi vs Menggunakan Insulasi

Gambar 7 adalah perbandingan rerata maksimal beban antara tanpa insulasi vs dengan insulasi, sedangkan **Gambar 8** memperlihatkan perbandingan rerata *upper yield* antara tanpa insulasi vs dengan insulasi.



Gambar 7. Rerata dengan standar deviasi *max load* tanpa insulasi vs dengan menggunakan insulasi dari tiga buah sampel



Gambar 8. Rerata dengan standar deviasi *upper yield* tanpa insulasi vs dengan menggunakan insulasi dari tiga buah sampel

Untuk menghitung *t-score* menggunakan *independent sample* dengan *unequal variance* dengan rumus pada persamaan (1) dan untuk menghitung *degree-of-freedom* (df) menggunakan persamaan (2).

$$t - score = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} - \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (2)$$

Tabel 3. Uji statistik *max load* dengan metode *t-test, one-tail, independent sample, 95% confidence*

	Confidence	95%	df	4	t-crit	2.1318
Cycle Time	Tanpa Insulasi		Dengan Insulasi		t-score	Uji Hipotesis
	Avg	Std Dev	Avg	Std Dev		
3	326.5	8.1	409.7	45.6	3.1125	Reject
4	184.6	80.5	411.6	74.0	3.5974	Reject
5	269.5	100.1	371.7	59.0	1.5232	Accept
6	293.0	77.1	334.3	32.0	0.8575	Accept
7	356.7	72.5	312.5	39.3	0.9296	Accept
8	304.6	76.2	413.1	78.7	1.7147	Accept
9	357.9	230.2	397.6	99.9	0.2740	Accept
10	352.6	153.3	388.7	32.4	0.3992	Accept

Tabel 4. Uji statistik *upper yield* dengan metode *t-test, one-tail, independent sample, 95% confidence*

	Confidence	95%	df	4	t-crit	2.1318
Cycle Time	Tanpa Insulasi		Dengan Insulasi		t-score	Uji Hipotesis
	Avg	Std Dev	Avg	Std Dev		
3	190.3	16.0	223.0	11.3	2.8815	Reject
4	153.0	70.1	287.4	154.0	1.3753	Accept
5	199.9	29.6	187.6	19.8	0.6002	Accept
6	214.7	17.5	202.9	6.9	1.0797	Accept
7	230.4	3.9	206.0	14.4	2.8498	Reject
8	199.1	13.3	218.3	19.4	1.4134	Accept
9	285.4	220.3	236.7	47.3	0.3741	Accept
10	206.1	28.6	209.3	7.2	0.1879	Accept

Jika dilihat pada grafik **gambar 7**, nilai rerata *max load* mengalami kenaikan hampir disemua *cycle time* (CT), hanya CT = 7 atau *welding time* 140 ms saja yang mengalami penurunan. Untuk rerata *upper yield* hanya pada CT = 4 yang perbedaannya cukup signifikan, sedangkan yang lain tidak terlalu signifikan. Pada **tabel 3** yaitu hasil *t-test* untuk *max load*, memperlihatkan standar deviasi tanpa insulasi memiliki rentang yang lebar mengindikasikan data yang dihasilkan tidak stabil atau akurasi relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan insulasi. Hasil uji hipotesis *t-test* menunjukkan hanya pada CT 3 dan 4 (60 dan 80 ms) rerata menunjukkan perbedaan dimana uji *t-test* menghasilkan “reject”. Pada **tabel 4** yaitu hasil uji *t-test* untuk *upper yield*, hasil uji *t-test* yang menunjukkan “reject” hanya pada CT 3 dan 7 (60 dan 140 ms).

KESIMPULAN

Jika dilihat secara menyeluruh max load untuk CT 3 hingga 10 terdapat pengaruh atau perbedaan rerata antara tanpa dan dengan insulasi walaupun tidak begitu signifikan, hal ini dikarenakan data hasil uji geser dari grup tanpa insulasi deviasinya cukup tinggi. Deviasi yang tinggi juga terjadi pada data *upper yield*, kesimpulan yang paling kuat adalah dengan memberikan insulasi (atau mencegah kebocoran arus) memberikan dampak hasil pengelasan yang lebih konsisten peningkatan yang tidak signifikan, terlihat dari hasil uji hipotesis mayoritas *accepted*. Hanya pada CT 3 yang memiliki dampak signifikan baik *max load* ataupun *upper yield*.

UCAPAN TERIMA KASIH

-

REFERENSI

1. J. H. Kim dkk., *Estimation of the weldability of single-sided resistance spot welding*. Journal of Manufacturing Systems, 2013. **32(3)**: p. 505-512.
2. Y. Cho dkk., *Single-sided resistance spot welding for auto body assembly*. Welding Journal, 2006. **85(8)**: p. 26-29.
3. A. S. Baskoro, dkk., *Investigation Effect of ECR's Thickness and Initial Value of Resistance Spot Welding Simulation using 2-Dimensional Thermo-Electric Coupled*. EVERGREEN, 2021. **8(4)**: p. 821-828.
4. S. Matsui dkk., *Effect of gap between steel sheet and electrode on resistance spot welding*. Materials Science Forum, 2018. **941**: p. 158-163.
5. H. G. Yang dkk., *Experimental study of single sided sheet to tube resistance spot welding*. Science and Technology of Welding and Joining, 2007. **12(6)**: p. 530-535.
6. S. Aslanlar, *The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry*. Materials and Design, 2006. **27(2)**: p. 125-131.
7. P. Bamberg dkk., *Robustness and reliability assessment of single-sided spot welding as a process for sheet to closed profile joining for body in white vehicle structures*. Welding International, 2022. **36(6)**: p. 331-343.
8. A. S. Baskoro dkk., *Study on Nugget Growth in Resistance Spot Welding of Thin Aluminum A1100 Using Welding Simulation*. Materials Science Forum, 2018. **929**: p. 191-199.
9. B. Wang dkk., *Effects of multi-pulse tempering on resistance spot welding of DP590 steel*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016. **86**: p. 2927 – 2935.
10. N. Hitomi dkk., *Influencing factors on nugget formation during multipoint welding by single-side resistance spot welding*. Welding International, 2018. **32(6)**: p. 390 – 398.
11. Y. He dkk., *Quality Prediction and Parameter Optimisation of Resistance Spot Welding Using Machine Learning*. Applied Sciences, 2022. **12**: 9625.