

Analisa Pengaruh Konduktivitas Tembaga Terhadap Hasil *Projection Welding* Seat Assy di PT. Selamat Sempurna Tbk.

Haryono¹, Ariyawan Sunardi²

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pamulang

¹Jl. Raya Puspitek, Buaran, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310, Indonesia

¹ha_ryono@yahoo.co.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 9 Februari 2025
revisi : 8 April 2025
diterima : 11 Mei 2025
dipublish : 30 Mei 2025

ABSTRAK

Dalam industri, improvisasi bertujuan untuk meningkatkan kualitas produksi dan mengurangi jumlah produk cacat. Ketika melakukan pengelasan pada material SPC (Steel Plate Coiled) dengan mesin *projection welding*, kerusakan produk sering terjadi akibat elektroda yang kotor setelah proses pengelasan. Untuk mengoptimalkan hasil pengelasan dan meminimalkan cacat produksi, material elektroda tembaga diganti dari Ni Be Cu (Nikel Beryllium Tembaga) menjadi Cu Cr Zr (Tembaga Kromium Zirkonium). Pengujian elektroda meliputi pengujian resistansi material, kekerasan, dan kualitas pengelasan. Desain elektroda menggunakan desain yang sudah ada. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material tembaga Cu Cr Zr memiliki kekerasan sebesar 76 HRB dan resistansi sebesar 0,016 mΩ, sedangkan Ni Be Cu memiliki kekerasan sebesar 86,5 HRB dan resistansi sebesar 0,023 mΩ. Pengujian pengelasan dengan parameter waktu tekan 28 ms, arus pengelasan 30 kA, waktu tahan 15 siklus, tekanan udara 5 bar, menunjukkan bahwa elektroda Cu Cr Zr lebih efisien dengan persen deviasi sebesar 6,24% untuk nilai output aktual arus dan nilai Cpk 5,66 untuk pengujian kekuatan hasil pengelasan, dibandingkan dengan Ni Be Cu yang memiliki persen deviasi sebesar 14,87% untuk nilai output aktual arus dan nilai Cpk 3,43 untuk pengujian kekuatan hasil pengelasan. Dengan perubahan material elektroda, terjadi penurunan produk *reject* sebesar 18,7% dikarenakan kegagalan dalam proses pengelasan.

Kata kunci: Resistance spot welding; seat assy; improvement material elektroda

ABSTRACT

In industry, improvisation aims to improve production quality and reduce the number of defective products. When welding SPC (Steel Plate Coiled) material with a projection welding machine, product damage often occurs due to dirty electrodes after the welding process. To optimize welding results and minimize production defects, the copper electrode material was changed

from Ni Be Cu (Nickel Beryllium Copper) to Cu Cr Zr (Copper Chromium Zirconium). Electrode testing includes testing material resistance, hardness and welding quality. The electrode design uses existing designs. The test results show that the Cu Cr Zr copper material has a hardness of 76 HRB and a resistance of 0.016 mΩ, while Ni Be Cu has a hardness of 86.5 HRB and a resistance of 0.023 mΩ. Welding tests with parameters of press time of 28 ms, welding current of 30 kA, hold time of 15 cycles, air pressure of 5 bar, show that the Cu Cr Zr electrode is more efficient with a percent deviation of 6.24% for the actual output current value and Cpk value of 5, 66 for testing the strength of welding results, compared to Ni Be Cu which has a percent deviation of 14.87% for the actual output current value and a Cpk value of 3.43 for testing the strength of welding results. With the change in electrode material, there was a decrease in rejected products by 18.7% due to failure in the welding process.

Key words: Resistance spot welding; Seat assembly; Improved electrode material

PENDAHULUAN

Persaingan di dunia industri semakin bertambah seiring perkembangan jaman. Perusahaan menuntut adanya peningkatan kualitas dari produk yang dihasilkan. Untuk mencapai hal tersebut, diperlukan improvisasi dan inovasi dalam meningkatkan kualitas dari produk. Improvisasi juga diperlukan untuk penurunan cacat produksi, sehingga biaya produksi dapat ditekan semaksimal mungkin (Sumarno et al., 2023).

Mesin projection welding merupakan salah satu dari jenis resistance spot welder yang dipergunakan oleh PT. Selamat Sempurna Tbk dalam membentuk filter oli dari meteial baja SPC. Dalam proses pembentukannya, mesin *projection welding* menggunakan elektroda yang terbuat dari meteial tembaga untuk menyatukan material baja SPC dengan cara mengalirkan energi arus listrik melalui elektroda sehingga material tersebut panas dan menjadi komponen *seat assy*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis material elektroda yang terbaik antara tembaga jenis Ni Be Cu dan Cu Cr Zr dengan melakukan pengujian *Electrical Conductivity* dan *Resistance*. Serta Menghitung efektivitas *improvement* penggantian material elektroda dari tembaga jenis Ni Be Cu dan Cu Cr Zr.

TEORI

Produk *reject* pada *element cover (elco)* yang terjadi pada mesin *Resistance Spot Welding Auto Rotary* disebabkan oleh komponen *element cover* tidak center dengan *ring mould* pada saat proses *loading* ke *ring mould* sebelum proses las antara komponen *element cover* dengan komponen *seat* (Sitepu, 2020).

Lean Six Sigma merupakan salah satu inisiatif paling populer di berbagai sektor industri, termasuk manufaktur industri. Pendekatan Six Sigma digunakan sebagai alat dalam memecahkan masalah produksi yang dapat dirumuskan sebagai terobosan dalam

peningkatan produksi, mengurangi cacat produk, mengurangi biaya produksi, memperpendek siklus produksi, meningkatkan pertumbuhan pangsa pasar, hingga mempertahankan pelanggan (Kurnia & Purba, 2021).

Parts Per Million (ppm) ini mewakili rasio antara jumlah unit zat tertentu dengan satu juta unit total larutan. Pengukuran ppm tidak hanya digunakan dalam pengukuran ilmiah, tetapi juga memainkan peran penting dalam penilaian kinerja kualitas. Pelanggan sering menggunakan ppm sebagai ukuran untuk mengevaluasi kualitas produk atau layanan (Raman & Basavaraj, 2019).

Untuk menghitung ppm dalam perhitungan produk defect yang terjadi, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$ppm = \frac{x}{y} * 10^6 \quad (1)$$

Dimana:

1. x adalah jumlah dari produk defect.
2. y adalah jumlah total keseluruhan produk.
3. ppm adalah produk defect dalam part per million (ppm)

Material baja merupakan suatu jenis logam yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C) dan unsur lainnya. Steel plate hot rolled deep drawing atau disingkat dengan SPHD merupakan salah satu jenis steel plate coil yang biasanya memiliki kadar karbon rendah, permukaan yang lebih halus dan mudah dibentuk.

Material Tembaga memiliki sifat lunak tembaga dapat dijelaskan oleh konduktivitas listriknya yang tinggi ($59,6 \times 10^6 \text{ S/m}$) dan oleh karena itu juga mempunyai konduktivitas termal yang tinggi (kedua tertinggi) di antara semua logam murni pada suhu kamar.

Tembaga tidak bereaksi dengan air, namun ia bereaksi perlahan dengan oksigen dari udara membentuk lapisan coklat-hitam tembaga oksida. Berbeda dengan oksidasi besi oleh udara, lapisan oksida ini kemudian menghentikan korosi berlanjut (Sifa, 2016).

Konduktivitas Pada Logam karena adanya pergerakan elektron tersebut memicu terjadinya efek kelistrikan. Efek kelistrikan inilah yang menentukan konduktivitas dan resistivitas suatu bahan. Kedua sifat ini dapat diketahui melalui perhitungan. Oleh sebab itu praktikum ini dilakukan untuk menentukan besarnya nilai resistivitas suatu material, sehingga nantinya dapat diketahui jenis material tersebut (Eko Pramono, M., Putri Riadi, N., & Anggoro, 2020).

Elektroda mesin resistance spot welding dan projection welding untuk memilih elektroda yang sesuai dalam resistance spot welding, beberapa faktor perlu dipertimbangkan, seperti jenis dan ketebalan material yang akan dilas. Material konduktor untuk pengelasan dalam resistance spot welding memiliki beberapa syarat yang perlu dipenuhi, yaitu:

1. Konduktivitas Yang Baik

Semakin tinggi nilai konduktivitas suatu material, maka semakin baik dan semakin efisien untuk menghantar arus listrik melalui material tersebut.

2. Modulus Elastisitas Besar

Material konduktor pada elektroda harus memiliki sifat modulus elastisitas yang memadai agar dapat tahan terhadap deformasi selama proses pengelasan.

3. Koefisien Pemuaian Yang Kecil

Material konduktor harus memiliki sifat koefisien pemuaian yang rendah untuk memastikan bahwa material tersebut tidak mengalami perubahan dimensi secara signifikan saat terjadi panas selama proses pengelasan berlangsung.

4. Kekuatan Mekanis Yang Tinggi

Material konduktor harus memiliki kekuatan mekanis yang cukup memadai, sehingga tahan terhadap beban dan tekanan selama proses pengelasan.

Dalam proses *spot welding*, penentuan intensitas arus dan durasi waktu pengelasan saling terkait dan berpengaruh pada hasil sambungan las. Ini berarti bahwa jika intensitas arus tinggi, maka durasi waktu pengelasan akan lebih singkat, dan sebaliknya, jika intensitas arus rendah, durasi waktu pengelasan dapat lebih lama. Selain itu, faktor ini juga dipengaruhi oleh ketebalan material yang akan dilas (Ismail et al., 2024).

Welding Checker merupakan proses pengelasan resistance spot welding, welding checker dilakukan untuk menganalisis parameter kunci dalam proses pengelasan. parameter tersebut meliputi:

1. Tegangan (*Voltage*): Tegangan yang diterapkan pada elektroda selama proses pengelasan.
2. Daya (*Ampere*): Besaran arus listrik yang mengalir melalui elektroda dan benda kerja.
3. Gaya Tekan pada Elektroda (*Newton*): Tekanan yang dihasilkan oleh elektroda terhadap benda kerja selama proses pengelasan.
4. Siklus (Waktu): Durasi keseluruhan proses pengelasan, termasuk waktu pengelasan dan waktu pendinginan.

Pengukuran resistansi metode four point probe, resistansi atau Hambatan adalah sifat dari suatu material atau komponen yang menentang aliran arus listrik yang melewatkinya. Ini diukur dalam Ohm dan dilambangkan dengan simbol " Ω ". Resistensi muncul karena interaksi antara elektron dan atom atau molekul yang membentuk material (Riset et al., 2020).

Metode empat probe menggunakan pasangan elektroda terpisah: dua sebagai sumber arus dan dua lainnya sebagai detektor tegangan. Biasanya, metode ini digunakan untuk mengukur resistansi permukaan (sheet resistance) pada lapisan tipis atau substrat (Eko Pramono, M., Putri Riadi, N., & Anggoro, 2020).

METODOLOGI

Dalam penelitian ini, pemilihan meterial tembaga dilakukan berdasarkan konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan tingkat kekerasan yang sesuai dengan

klasifikasi elektroda untuk mesin *resistance spot welding*. Yang kemudian dilakukan pengujian material tersebut untuk mengetahui nilai resistansi dan tingkat kekerasan serta nilai konduktivitas dari material tersebut.

Pengujian Pengelasan dilakukan dengan cara menggunakan elektroda tersebut pada mesin projection welding, pengelasan dilakukan terhadap 100 sampel percobaan pengelasan untuk menggabungkan komponen *elemen cover (elco)* dengan *seat* menjadi *seat assy*. Dimana setiap 4 sampel percobaan, akan dilakukan pengujian kekerasan sambungan pada komponen *seat assy*. Hal ini untuk mengetahui kualitas pengelasan dari elektroda tersebut. Pemantauan arus pengelasan dilakukan selama proses pengelasan sampel berlangsung menggunakan instrumen *welding checker*.

Alat Pengujian berupa mesin las projection manual PT. Selamat Sempurna Tbk departemen produksi Press Shop Spin On merupakan mesin resistance spot welding yang dioperasikan secara manual dengan satu operator.



Gambar 1. Mesin projection welding manual.

Mesin uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode uji kekerasan Brinell.



Gambar 1. Mesin uji kekerasan logam.

Alat pengujian pengelasan atau *welding checker* yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah keluaran Miyachi.



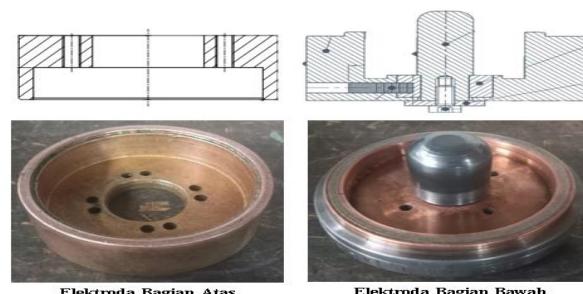
Gambar 3. Instrumen welding checker.

Instrument *DC Resistance Meter* yang dipergunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Four Point Probe (FPP)*.



Gambar 2. Instrumen DC resistance meter.

Desain elektroda untuk mesin *Resistance Spot Welding* yang dipergunakan dalam penelitian ini mengikuti desain elektroda yang telah ada (*existing design*). Desain tersebut memiliki kriteria sebagai berikut: Sistem plug-on (bongkar pasang) dengan mudah. Menggunakan sistem *Poka-yoke* (konsep anti salah). Mencegah centering tinggi (maks. 0.40 mm). Mencegah levelling tinggi (maks. 0.40 mm).



Gambar 3. Desain elektroda mesin resistance projection welding.

Parameter Welding Control merupakan parameter Pengelasan merupakan faktor penting yang mempengaruhi hasil pengelasan. Parameter yang akan digunakan dalam pengujian sebagai berikut:

| | |
|-------------------------|-------------------|
| Squeeze time | : 28 ms |
| Welding time 1 dan 2 | : 03 dan 04 cycle |
| Welding current 1 dan 2 | : 28 dan 30 kA |
| Hold time | : 15 cycles |
| Pressure angin | : 5 bars |

Perhitungan Nilai Index Kapabilitas Proses (Cp dan Cpk) dalam melakukan perhitungan Cp dan Cpk, penulis menggunakan alat bantu berupa software Microsoft Excel (dengan resolusi perhitungan 2-digit dibelakang koma) dan Minitab.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian meterial tembaga Cu Cr Zr (Copper Chromium Zirconium) dan Ni Be Cu (Nickel Beryllium Copper) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Material Tembaga

| No | Jenis Material (Tembaga) | Aktual Hardness (HB) | Aktual Hardness (HRB) | Standard Hardness (HRB) | Electrical Conductivity (%) | Resistance (mΩ) |
|----|--------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | Cu Cr Zr | 113 | 76 | 70 - 80 | 80 | 0,016 |
| 2 | Ni Be Cu | 221 | 86.5 | 85 - 92 | 52 | 0,023 |

Dari hasil pengujian material tembaga yang terdapat pada tabel 1 dapat diketahui bahwa material Cu Cr Zr memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi sehingga dapat menghantar arus listrik jauh lebih baik dibandingkan dengan material Ni Be Cu, hanya saja material tersebut memiliki tingkat kekerasan yang lebih rendah yang dapat menyebabkan deformasi (perubahan bentuk) apabila digunakan untuk proses pengelasan dalam jangka yang panjang.

Hasil pengujian pengelasan seat assy, pengujian pengelasan dilakukan menggunakan mesin projection welding manual, parameter pengelasan telah ditentukan sebelumnya. Proses pengujian pengelasan dilakukan sebanyak 100 kali percobaan pengelasan seat assy untuk setiap jenis material elektroda menggunakan mesin projection welding manual, dan dari setiap 4 kali percobaan pengelasan, akan dilakukan uji kekuatan pada seat assy untuk mengetahui hasil dari pengelasan tersebut.

Tabel 2. Rekap Hasil Uji Kekuatan Hasil Pengelasan

| No | Uji Kekuatan Hasil Pengelasan | Satuan | Ni Be Cu | Cu Cr Zr |
|----|-------------------------------|--------|----------|----------|
| 1 | Welding Current | kA | 30.00 | 30.00 |
| 2 | Jumlah Pengambilan Sampel | Sampel | 100.00 | 100.00 |
| 3 | Nilai Ampere Minimum | kA | 29.50 | 30.90 |

| | | | | |
|---|------------------------|----|-------|-------|
| 4 | Nilai Ampere Maksimum | kA | 30.10 | 31.10 |
| 5 | Nilai Ampere Rata-rata | kA | 29.90 | 30.96 |
| 6 | Deviasi Ampere | % | 14.87 | 6.24 |

Pada Table 2 dapat dilihat bahwa *output current* dari mesin *projection welding manual* saat melakukan uji pengelasan komponen seat assy menggunakan elektroda dari material *NiBeCu* dan *CuCrZr* elektroda dari material *CuCrZr* memiliki tingkat penyimpangan arus yang rendah dan cukup stabil dengan nilai deviasi sebesar 6,24%. Hal ini membuktikan bahwa konduktivitas listrik dari suatu material elektroda memiliki peranan penting dalam proses pengelasan, khususnya untuk pengelasan jenis *resistance spot welding*. Hasil pengujian destructive test kualitas pengelasan terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Destructive Test Kualitas Pengelasan

| No | Uji Kekuatan Hasil Pengelasan | Satuan | Ni Be Cu | Cu Cr Zr |
|----|-------------------------------------|--------------------|----------|----------|
| 1 | Target | kg/cm ² | 30 | 30 |
| 2 | Toleransi | % | 20 | 20 |
| 3 | Jumlah Sampel | Sampel | 25 | 25 |
| 4 | Nilai Minimum | kg/cm ² | 29.57 | 33.52 |
| 5 | Nilai Maksimum | kg/cm ² | 30.98 | 33.95 |
| 6 | Nilai Rata-rata | kg/cm ² | 30.3 | 33.74 |
| 7 | Standar Deviasi Proses (σ) | (σ) | 0.53 | 0.13 |

Dari data uji kekuatan hasil pengelasan seat assy menggunakan elektroda *Ni Be Cu* dan *Cu Cr Zr* sebagai berikut: Perhitungan indeks kapabilitas *Cp* dan *Cpk* elektroda *Ni Be Cu* sebagai berikut:

$$USL = \text{Target} + \text{Toleransi} = 30 + (30 * 0,2) = 36$$

$$LSL = \text{Target} - \text{Toleransi} = 30 - (30 * 0,2) = 24$$

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{36 - 24}{6 * 0,53} = 3,77$$

$$Cpk = \min \left(\frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \right)$$

Dari perhitungan diatas, hasil uji kekuatan dari pengelasan menggunakan elektroda *Ni Be Cu* hasil *Cpk* sebesar 3,58. Nilai tersebut melampaui batas standar minimal *Cpk* yaitu 1,33. Hal ini menandakan bahwa elektroda tersebut mampu untuk menangani. Perhitungan indeks kapabilitas *Cp* dan *Cpk* elektroda *Cu Cr Zr* sebagai berikut:

$$USL = \text{Target} + \text{Toleransi} = 30 + (30 * 0,2) = 36$$

$$LSL = \text{Target} - \text{Toleransi} = 30 - (30 * 0,2) = 24$$

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{36 - 24}{6 * 0,13} = 15,38$$

$$Cpk = \min \left(\frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \right)$$

$$Cpk = \min \left(\frac{9,74}{0,39}, \frac{2,26}{0,39} \right) = 5,79$$

Dari perhitungan diatas, hasil kekuatan dari pengelasan menggunakan elektroda Cu Cr Zr memperoleh hasil Cpk sebesar 5,79. Nilai tersebut melampaui batas standar minimal Cpk yaitu 1,33. Hal ini menandakan bahwa elektroda tersebut mampu untuk menangani proses. Hasil improvisasi elektroda pada mesin *projection welding* terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Jenis Produk Reject

| No | Jenis Reject | Sebelum Improvisasi | | Reject | Produksi | PPM | Sesudah Improvisasi | | Reject | Produksi | PPM |
|----|---------------|---------------------|-----------|-----------|--------------|------------|---------------------|----------|-----------|--------------|------------|
| | | Jan | Feb | | | | 2 bulan | | | | |
| 1 | Spot Lepas | 2 | 4 | 6 | | 201 | 0 | 1 | 1 | | 34 |
| 2 | Las Lumer | 13 | 9 | 22 | 29793 | 735 | 2 | 0 | 2 | 29612 | 236 |
| 3 | Spot Terbakar | 31 | 26 | 57 | | 1913 | 4 | 7 | 11 | | 203 |
| 4 | Las Miring | 5 | 7 | 12 | | 403 | 3 | 1 | 4 | | 135 |
| | Total | 51 | 46 | 97 | 29793 | 608 | 9 | 9 | 18 | 29612 | 608 |

Perbandingan jenis produk reject beserta jumlahnya antara sebelum dilakukan improvisasi dan sesudah dilakukan improvisasi material elektroda pada mesin projection welding. Perbandingan tersebut dimaksudkan untuk menilai tingkat keberhasilan improvisasi yang telah dilakukan.

PT. Selamat Sempurna Tbk memiliki standar minimal penurunan *reject ppm (part-per-million)* sebesar 10% setelah dilakukan improvisasi. Nilai penurunan *reject ppm (part-per-million)* sesudah dan sebelum improvisasi sebesar : $(608 / 3256) * 100 = 18,7\%$. Dengan hasil ini maka improvisasi dinyatakan sukses, melihat penurunan persentasi *reject ppm (part-per-million)* melebihi standar sebesar 10%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari trial pengujian elektroda dengan material tembaga jenis Cu Cr Zr dan Ni Be Cu pada mesin Projection Welding, dapat ditarik kesimpulan bahwa: Pengujian material tembaga jenis Cu Cr Zr menggunakan DC resistance meter memiliki konduktivitas yang lebih baik dengan nilai resistansi sebesar 0,016 mΩ dibanding dengan material tembaga jenis Ni Be Cu yang memiliki nilai resistansi 0,023 mΩ. Pengujian output arus

aktual menggunakan welding checker pada saat proses pengelasan menggunakan arus pengelasan sebesar 30 kA, material elektroda tembaga jenis Cu Cr Zr lebih stabil dengan rata-rata kuat arus sebesar 30,96 kA dengan penyimpangan arus sebesar 6,24% dibanding material elektroda tembaga jenis Ni Be Cu yang memiliki rata-rata kuat arus sebesar 29,90 kA dengan penyimpangan arus sebesar 14,87%. Pengujian kualitas pengelasan pada komponen seat assy menggunakan mesin destructive test, material elektroda tembaga jenis Cu Cr Zr memiliki hasil uji kekuatan lebih tinggi dengan perolehan rata-rata 33,74 kg/cm² dibandingkan dengan material elektroda tembaga jenis Ni Be Cu yang memiliki perolehan rata-rata 30,30 kg/cm². Standar minimal uji kekuatan hasil pengelasan yaitu sebesar 18 kg/cm² sesuai yang tertera pada SOP mesin. Pengujian kekuatan hasil pengelasan komponen seat assy menggunakan mesin destructive test, material elektroda tembaga jenis Cu Cr Zr memiliki nilai Cpk 5,66 lebih besar dibanding material elektroda tembaga jenis Ni Be Cu yaitu sebesar 3,43. Improvisasi berhasil, setelah dilakukan improvisasi pada material elektroda terjadi penurunan reject akibat kegagalan dalam proses pengelasan, penurunan tersebut sebesar 18,7%. PT. Selamat Sempurna Tbk memiliki standar minimal penurunan reject sebesar 10% apabila melakukan suatu improvisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Eko Pramono, M., Putri Riadi, N., & Anggoro, D. (2020). Pengujian konduktivitas listrik material dengan metode four point probe (FPP). *Laporan Praktikum Fisika Laboratorium*.
- Ismail, N. I., Teknik, F., Giri, U. S., & Sidoarjo, K. (2024). Analisis parameter mesin spot welding terhadap kekuatan sambungan las pada komponen grill diffuser. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(1).
- Kurnia, H., & Purba, H. H. (2021). A systematic literature review of Lean Six Sigma in various industries. *JEMIS: Journal of Engineering Management and Industrial Studies*, 9(2), 19–30. <https://doi.org/10.21776/ub.jemis.2021.009.002.3>
- Raman, R. S., & Basavaraj, Y. (2019). Quality improvement of capacitors through fishbone and Pareto techniques. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 3878(2), 2248–2252. <https://doi.org/10.3940/ijrte.B2444.078219>
- Riset, P., Daya, S., & Nasional, B. S. (2020). Pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistansi dari resistor standar dalam order giga ohm. *Prosiding Nasional*, 48–54.
- Sifa, A. (2016). Penuaan elektrode CuCr1Zr spot welding dengan pendekatan numerical. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(08), 42–45.
- Sitepu, (2020). Analisis reject dominan pada mesin las resistance spot welding auto rotary. *EPIC: Engineering and Technology*, 7(1), 11–20. <https://doi.org/10.32493/epic.v7i1.38199>
- Sumarno, E., Setiawan, R. A., Elektro, T., Pamulang, U., & Tangerang, K. (2023). Modifikasi sistem kontrol mesin curing guna mengurangi defect leaky bladder di PT XYZ. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(3), 614–619.