

Implementasi Perbaikan Proses Spot Welding melalui Integrasi Teknologi Industri 4.0 dan Pokayoke untuk Meningkatkan Kualitas dan Stabilitas Produksi

Adidya Rangga Pratama^{1*}, Bulan Prabawani¹

¹Program Studi Magister Administrasi Bisnis, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*Corresponding Email: adidya45@gmail.com

ABSTRAK

PT X menghadapi tantangan kualitas dalam proses *spot welding*, yang mengakibatkan tingginya tingkat *defect* produk dan menurunnya daya saing. Ketergantungan terhadap proses manual menimbulkan inkonsistensi, yang berdampak pada kepuasan pelanggan dan reputasi perusahaan. Untuk menjawab permasalahan ini, peneliti menginisiasi transformasi berbasis Industri 4.0 dengan pendekatan *Six Sigma*. Perbaikan dilakukan dengan menerapkan robot servo untuk otomatisasi proses *spot welding*. Langkah ini diiringi dengan modifikasi pada jig, penggunaan *pallet Jundate*, serta adopsi *cup tip* berbahan Zirkonium untuk mengatasi *downtime* akibat lengket. Hasilnya, perusahaan berhasil menurunkan DPMO secara signifikan dari 255 menjadi 12, meningkatkan produktivitas hingga 16%, dan menghasilkan penghematan biaya tahunan yang signifikan. Selain manfaat *tangible*, perbaikan ini juga berdampak pada meningkatnya kepercayaan pelanggan, perolehan proyek baru, serta peningkatan citra perusahaan.

Kata kunci: otomatisasi, Industri 4.0, efisiensi proses, kualitas produksi, *spot welding*,

ABSTRACT

PT X faced quality challenges in its spot-welding process, resulting in a high product defect rate and reduced competitiveness. Reliance on manual processes led to inconsistencies, which impacted customer satisfaction and the company's reputation. To address this issue, researchers initiated an Industry 4.0 based transformation with a Six Sigma approach. Improvements were made by implementing servo robots to automate the spot-welding process. This step was accompanied by modifications to the jig, the use of Jundate pallets, and the adoption of Zirconium cup tips to overcome downtime due to sticking. As a result, the company succeeded in significantly reducing the DPMO from 255 to 12, increasing productivity by 16%, and generating significant annual cost savings. In addition to tangible benefits, these improvements also resulted in increased customer trust, the acquisition of new projects, and an improved corporate image.

Keywords: automation, industry 4.0, process efficiency, production quality, spot welding

1. Pendahuluan

Industri otomotif secara luas dipandang sebagai penggerak utama Revolusi Industri Keempat (Industri 4.0), dengan integrasi otomasi, robotika, kecerdasan buatan (AI), dan teknologi berbasis sensor yang berperan sentral dalam meningkatkan efisiensi produksi serta daya saing (Papulova et al., 2022). Industri 4.0 juga ditandai dengan konvergensi teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), analitik big data, dan *cyber-physical systems*, yang membuka peluang baru dalam peningkatan kualitas serta keunggulan operasional. Di Indonesia, pemerintah meluncurkan peta jalan *Making Indonesia 4.0* yang menargetkan lima sektor prioritas, termasuk industri otomotif, dengan tujuan menempatkan Indonesia di jajaran 10 besar ekonomi dunia pada tahun 2030 (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2018).

PT X salah satu pelaku utama dalam rantai pasok otomotif nasional. Sebagai bagian dari strategi dalam mengadopsi Industri 4.0, PT X dihadapkan pada tuntutan peningkatan kualitas, efisiensi, serta konsistensi produksi. Namun, salah satu tantangan krusial yang diidentifikasi adalah tingginya tingkat *defect* pada proses *spot welding*, yang pada tahun 2023 tercatat menyumbang hampir 50% dari total *defect* atau setara dengan 150-unit produk cacat (Chuenmee et al., 2025). *Spot welding*, yaitu proses penyambungan lembaran logam dengan menggunakan arus listrik dan tekanan, tetap menjadi teknik penting dalam industri otomotif, namun sangat rentan terhadap variasi proses dan kinerja operator (Aliyari et al., 2025).

Data empiris dari PT X menunjukkan bahwa sekitar 89% proses *spot welding* masih dilakukan secara manual, sehingga menghasilkan variasi dan ketidakstabilan kualitas las. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan biaya produksi akibat *reject* dan *rework*, tetapi juga mengganggu kepuasan pelanggan serta menurunkan daya saing perusahaan dalam pasar pemasok yang semakin kompetitif. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan perbaikan yang terstruktur dan berbasis data, yang melampaui metode kontrol kualitas konvensional.

Six Sigma telah diakui sebagai pendekatan yang kuat untuk mengurangi variasi proses, meningkatkan efisiensi, dan menghasilkan kualitas yang terukur (Padmarajan & Selvaraj, 2021; Mittal et al., 2023). Berbeda dengan *Lean Manufacturing* yang berfokus pada penghilangan pemborosan, atau metode Taguchi yang menekankan pada optimasi desain, kerangka kerja DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dari *Six Sigma* menyediakan peta jalan sistematis untuk mengurangi *defect* dalam proses yang sedang berjalan (Jimenez et al., 2019; Hemalatha & Anusha, 2025). Penerapan *Six Sigma* dalam industri manufaktur telah terbukti mampu memberikan peningkatan signifikan dalam pengurangan cacat, efisiensi biaya, dan kepuasan pelanggan (Costa et al., 2019; Wang et al., 2024). Namun, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada faktor mesin atau metode saja, tanpa mengintegrasikan otomatisasi maupun mekanisme *error-proofing*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi *Six Sigma* DMAIC dengan teknologi Industri 4.0 dan mekanisme *pokayoke*. *Pokayoke* atau *mistake-proofing* berfungsi sebagai kontrol preventif yang menjamin *occurred-prevention* dan *outflow-prevention*, sehingga mampu memastikan stabilitas proses sekaligus mengurangi ketergantungan pada operator (Silva et al., 2020). Melalui penerapan otomatisasi dan perangkat pencegah kesalahan pada *spot welding*, penelitian ini mengatasi faktor teknis maupun faktor manusia yang menjadi penyebab variasi kualitas, sebagaimana dirumuskan dalam kerangka 4M1E (*man, machine, method, material, environment*) (Xu et al., 2018).

Kontribusi penelitian ini bersifat ganda. Secara praktis, penelitian ini menawarkan model perbaikan terstruktur bagi industri otomotif di Indonesia, untuk meningkatkan kualitas las, menurunkan tingkat *defect*, serta memperkuat kepercayaan pelanggan. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya literatur terkait penerapan *Six Sigma* dengan menunjukkan bagaimana integrasinya dengan Industri 4.0 dan *pokayoke* dapat menghasilkan peningkatan kualitas yang berkelanjutan dalam konteks nyata industri otomotif. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung agenda nasional Indonesia dalam mewujudkan sasaran *Making Indonesia 4.0*.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini merumuskan hipotesis sebagai berikut:

H0: Tidak terdapat perbedaan signifikan tingkat *defect spot welding* sebelum dan sesudah implementasi perbaikan berbasis Industri 4.0 dengan *pokayoke*.

H1: Terdapat perbedaan signifikan tingkat *defect spot welding* sebelum dan sesudah implementasi perbaikan berbasis Industri 4.0 dengan *pokayoke*.

2. Metode

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif terapan yang berfokus pada upaya perbaikan (*improvement*) untuk meningkatkan kualitas melalui pengurangan variasi *defect* pada proses *spot welding*. Desain penelitian dipilih untuk memecahkan permasalahan nyata yang terjadi di perusahaan berdasarkan data historis *defect* kualitas yang tercatat pada tahun 2023.

2.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis variabel, yaitu:

- Variabel dependen: *defect spot welding*, yaitu *defect* yang muncul akibat proses *spot welding* seperti spot lepas, spot meleset, dan spot kurang, yang menyebabkan produk tidak memenuhi standar kualitas.
- Variabel independen: faktor penyebab *defect* yang dianalisis menggunakan pendekatan 4M1E, yaitu *man*, *machine*, *method*, *material*, dan *environment* (Xu et al., 2018).

2.3 Jenis dan Sumber Data

Data penelitian terdiri atas dua jenis:

- Data primer diperoleh melalui observasi langsung (*genba*) terkait aktivitas produksi dan faktor penyebab produk cacat.
- Data sekunder diperoleh dari dokumentasi bagian *Quality Section*, berupa laporan *defect* kualitas tahun 2023, mencakup jenis *defect* dan jumlah kejadian.

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan memanfaatkan dokumen *Quality Section* terkait *defect* yang tercatat di perusahaan. Data tersebut kemudian dianalisis dengan pembobotan menggunakan beberapa faktor internal, antara lain *claim performance*, *claim cost*, waktu pemeriksaan, tingkat kesulitan metode pemeriksaan, *corporate image*, serta jumlah *defect*.

2.5 Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah seluruh *defect* kualitas yang tercatat di perusahaan sepanjang tahun 2023, yang telah tervalidasi oleh bagian *Quality Assurance*. Data menunjukkan terdapat 150 kejadian *defect spot welding*. Teknik pengambilan sampel menggunakan *non-probability purposive sampling* dengan kriteria: (1) *defect* kualitas terkait *spot welding*; (2) tercatat dalam laporan resmi *Quality Section*; dan (3) terjadi pada tahun 2023. Berdasarkan analisis diagram Pareto, jenis *defect* dominan yang digunakan sebagai sampel adalah spot lepas, spot meleset, dan spot kurang, dengan total sampel 150 unit.

2.6 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan berdasarkan prinsip *Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk mengidentifikasi, menganalisis, serta mengendalikan variasi *defect*. Analisis awal dilakukan menggunakan *fault tree analysis* untuk menguraikan akar penyebab terjadinya *defect spot welding*.

Untuk pengujian hipotesis, digunakan uji beda dua sampel berpasangan. Jika data berdistribusi normal, digunakan *paired sample t-test*; sedangkan untuk data tidak berdistribusi normal digunakan *Wilcoxon signed-rank test* (Sugiyono, 2013; Widiyanto, 2013). Kriteria pengambilan keputusan adalah:

- Jika nilai signifikansi $< 0,05$, maka H_1 diterima dan H_0 ditolak.
- Jika nilai signifikansi $> 0,05$, maka H_1 ditolak dan H_0 diterima.

Pengujian dilakukan untuk membuktikan perbedaan signifikan pada nilai *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) sebelum dan sesudah perbaikan. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS.

2.7 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah PT X yang bergerak di bidang manufaktur komponen otomotif. PT X memiliki dua lokasi pabrik, yaitu di Bekasi dan Karawang, Jawa Barat. Lingkup utama usahanya meliputi proses stamping, welding, dan die making untuk produksi komponen otomotif. Perusahaan telah menerapkan sistem manajemen mutu otomotif ISO IATF 16949 sebagai standar pengendalian kualitas.

Pemilihan PT X sebagai objek penelitian didasarkan pada kontribusinya dalam rantai pasok otomotif nasional serta tingginya angka *defect* pada proses *spot welding*. Data tahun 2023 menunjukkan bahwa *spot welding* menyumbang hampir 50% dari *total defect* produksi, sehingga menjadikannya fokus utama dalam upaya perbaikan kualitas dan stabilitas produksi.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil

3.1.1. Define

Berdasarkan hasil identifikasi *business case*, aspek kualitas yang dipersepsikan oleh pelanggan terhadap PT X menjadi perhatian utama yang harus segera diperbaiki, terutama pada bagian *nobi ware*, *projection nut*, dan *spot welding*. Dalam konteks efisiensi produksi dan pencapaian standar kualitas, manajemen PT X menekankan pentingnya kelancaran proses produksi tanpa hambatan guna memenuhi kebutuhan pelanggan. Selanjutnya, peneliti menerjemahkan *Voice of Business* (VOB) dan *Voice of Process* (VOP) ke dalam *Critical to Quality* (CTQ) sebagai dasar penetapan prioritas perbaikan, Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Translate to CTQ

Voice	Detail Voice	Service/Quality Issue	Kebutuhan Spesifik	CTQ OUTPUT	
VOB	Dimata customer PT X harus meningkatkan kualitas part yang dibuat	Quality	Customers menginginkan PT X untuk improvement terutama pada faktor kualitas part, agar tetap kompetitif	Sigma Level 5	CTQ 1
VOP	Produksi yang terhambat berdampak pada pengiriman yang tidak tepat	Operasional	Management mengharapkan produksi berjalan dengan lancar dan tanpa hambatan	Increase Spot/Hours	CTQ 2

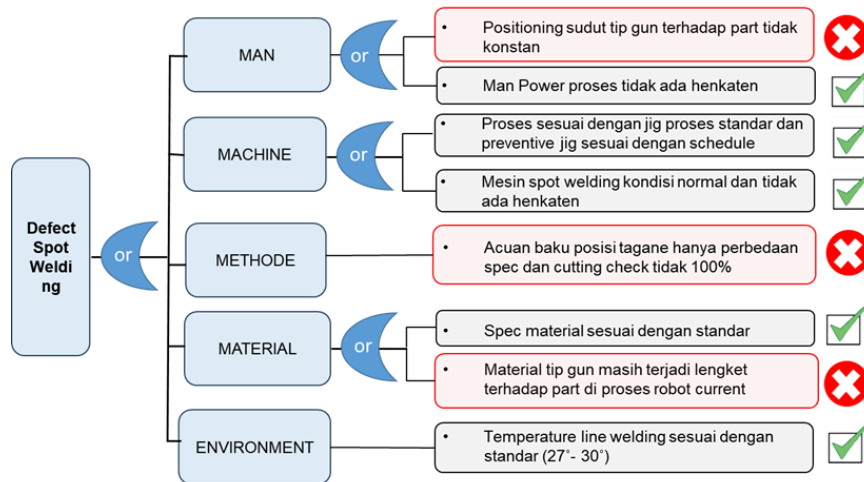
Keterangan Simbol			Productivity	Quality Competitive
5	: Hubungan Kuat	Reliability Up		
3	: Hubungan Moderate			
1	: Hubungan Lemah			
CTQ Output				
CTQ 1	: Level Up Sigma Level	3	5	5
CTQ 2	: Increase Spot / Hours	3	5	5
Total Bobot		6	10	10

Persaingan antar pemasok yang semakin ketat menuntut PT X bergerak cepat melakukan perbaikan untuk memperkuat quality competitiveness. Berdasarkan klasifikasi dan pembobotan *defect*, diketahui bahwa jenis cacat dominan adalah *spot* lepas dengan nilai pembobotan sebesar 24. Analisis melalui SIPOC diagram juga menunjukkan bahwa sumber utama terjadinya cacat berasal dari proses *welding*, sehingga fokus penelitian diarahkan pada upaya peningkatan kualitas *spot welding*. Untuk mewujudkan kebijakan perusahaan di tengah kompetisi global, strategi manufaktur yang diusung menekankan pada peningkatan kualitas (*level up quality*), optimalisasi proses (*process optimization*), dan efisiensi di setiap lini produksi. Selanjutnya, peneliti menyusun kerangka strategi menggunakan 3W Concept, yang mencakup *winning concept* (penerapan nilai perusahaan, perbaikan efektif, dan peningkatan proses garansi), *winning team* (pemerataan kompetensi, peningkatan keterampilan melalui berbagi pengetahuan, serta kolaborasi aktif tim dalam mengontrol pencapaian proyek), dan *winning system* (orientasi pada target aktivitas dengan siklus PDCA, berfokus pada kepuasan pelanggan, serta peningkatan berlandaskan otomasi dan Industri 4.0). Dalam menjalankan penelitian ini, peneliti menyadari adanya keterbatasan dalam analisis efisiensi proses dan automasi, sehingga dilakukan *development skill* sebagai upaya penguatan kapasitas. Selain itu, peneliti juga

menyusun *project control activity* agar seluruh rencana perbaikan dapat berjalan sesuai target yang telah ditetapkan.

3.1.2 Measure

Dalam rangka membangun budaya keberlanjutan (*sustainable growth*) sekaligus memenuhi kebutuhan produksi, peneliti melakukan telaah terhadap pencapaian *Key Performance Indicator* (KPI) yang mencakup aspek *safety*, *quality*, dan *productivity*. Hasil telah menunjukkan bahwa prioritas utama perbaikan terletak pada aspek *defect* dalam proses *spot welding*, yang menjadi tantangan signifikan bagi perusahaan untuk dihilangkan. Untuk menelusuri akar penyebab permasalahan tersebut, peneliti menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) berbasis kerangka 4M1E (*man, machine, method, material, environment*), yang memungkinkan identifikasi faktor penyumbang cacat produksi secara sistematis. Selanjutnya, hasil FTA divalidasi melalui teknik observasi lapangan guna memastikan akurasi temuan terkait penyebab utama terjadinya *defect* pada proses *spot welding*, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

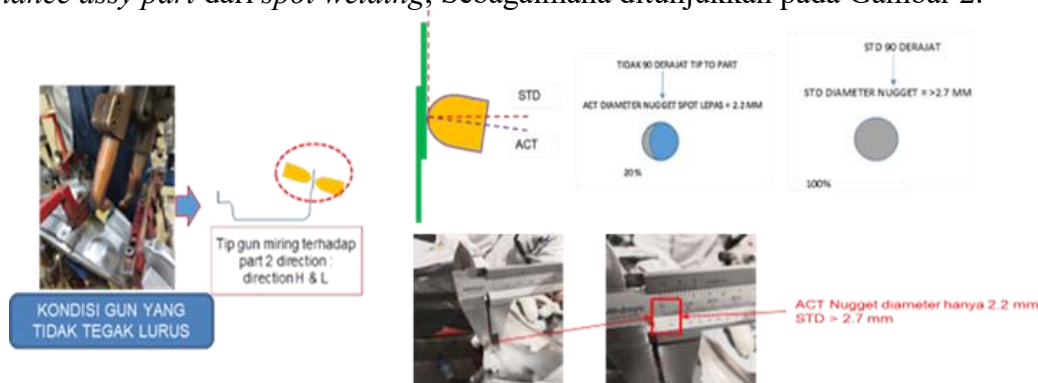


Gambar 1. *Fault Tree Analysis*

Didapatkan 3 faktor penyebab terjadinya *defect spot welding* yaitu pada faktor *man*, *method*, dan *material*.

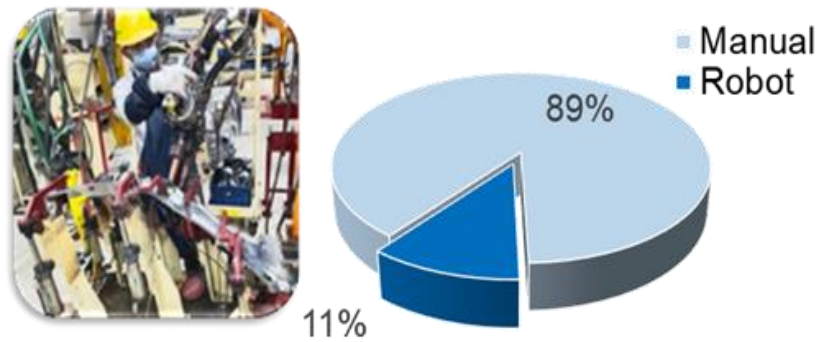
• Man

Kondisi saat ini *positioning gun* saat proses masih manual, dimana Jika proses *spot weld* tidak penetrasi / *melting* (*cutting check*) minimal 20% *thickness material*, maka tidak ada jaminan *performance assy part* dari *spot welding*, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Positioning gun terhadap part*

Positioning gun terhadap part saat proses yang tidak tegak lurus dikarenakan proses yang masih manual, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Presentase proses *welding*

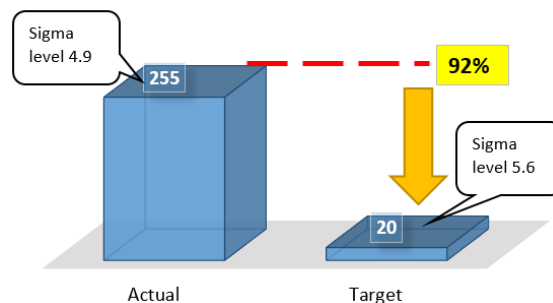
Proses *spot welding* di PT X yang masih mengandalkan tenaga manual sebanyak 89% menghasilkan ketidakstabilan dalam konsistensi hasil produk. Proses manual rentan terhadap variasi kualitas seperti posisi dan tekanan yang tidak konsisten, serta potensi kesalahan pada posisi sudut *tip gun* terhadap *part*.

- *Method*

Drawing tagane hanya mengacu 1 titik spot yang ditangani berdasarkan spesifikasi material dan garansi *cutting check* hanya mewakili tipe *gun*, spesifikasi dan tebal material bukan 100%.

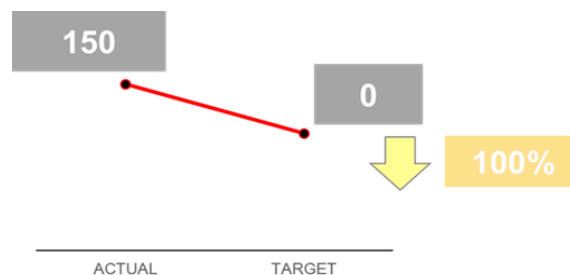
- *Material*

Berdasarkan data historis, ditemukan beberapa kasus *cup tip* yang lengket pada *part* sehingga menyebabkan *cup tip* terlepas dari *shank tip*. Hasil validasi *fault tree analysis* menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya *defect* pada proses *spot welding* mencakup tiga faktor, yaitu: (1) posisi sudut *tip gun* terhadap *part* yang tidak konstan akibat 89% proses *spot welding* masih dilakukan secara manual, (2) ketiadaan acuan baku posisi *tagane* yang hanya didasarkan pada perbedaan spesifikasi dan *point cutting check* yang tidak mencapai 100%, serta (3) fenomena *cup tip* yang lengket dengan *part*. Berdasarkan identifikasi permasalahan tersebut, peneliti merumuskan target *challenge activity* berupa penurunan angka *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) dari 255 DPMO dengan tingkat sigma 4,9 menjadi 20 DPMO dengan tingkat sigma 5,6, atau penurunan sebesar 92%. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Target DPMO

Dengan menghilangkan angka *defect spot welding*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Target penurunan *defect*

3.1.3. *Analyze*

- *Matriks SWOT*

Berdasarkan *business case*, peneliti melakukan analisis SWOT untuk merumuskan solusi perbaikan dengan menggunakan strategi W-O, yaitu mengatasi kelemahan dengan memanfaatkan peluang. Strategi yang dihasilkan meliputi dua langkah utama, yaitu pelatihan dan pengembangan pengetahuan tim terkait konsep serta penerapan Industri 4.0, dan implementasi perbaikan secara bertahap untuk meminimalkan risiko sekaligus meningkatkan daya saing. Implementasi dilakukan dengan mengubah mesin *spot welding* manual menjadi sistem berbasis robot secara bertahap, dimulai dari lini produksi yang paling kritis.

- *Why Analyze*

Berdasarkan masalah yang ada saat ini, kemudian peneliti melakukan *why analyze* guna mencari akar masalah yang ada, Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. *Why analyze*

<i>Target Challenge</i>	<i>Aspek</i>	<i>Faktor</i>	<i>Fenomena</i>	<i>Why 1</i>	<i>Why 2</i>	<i>Why 3</i>
Menurunkan angka DPMO	<i>Quality</i>	<i>Methode</i>	DPMO <i>spot welding</i> masih tinggi (255)	Acuan baku posisi <i>tagane</i> hanya perbedaan spesifikasi dan <i>cutting check</i> tidak 100%	Standar <i>current</i> hanya mengacu 1 titik <i>tagane</i> berdasarkan <i>spec material</i> dan <i>cutting check</i> tidak 100%	Belum ada acuan baku untuk posisi <i>tagane</i> dan <i>point cutting check</i>
Menurunkan angka DPMO	<i>Quality</i>	<i>Methode</i>	DPMO <i>spot welding</i> masih tinggi (255)	Positioning sudut tip gun terhadap part tidak konstan	Proses <i>spot welding</i> dilakukan secara manual (89%)	
Menurunkan angka DPMO	<i>Quality</i>	<i>Methode</i>	DPMO <i>spot welding</i> masih tinggi (255)	<i>Cup tip</i> lengket dengan part	Bahan <i>cup tip</i> tidak tahan pada suhu <i>spot</i> > 1085 derajat	

Untuk menurunkan angka DPMO yang masih tinggi, yaitu sebesar 255 DPMO, hasil *why analyze* mengidentifikasi beberapa akar masalah utama. Pertama, proses *spot welding* hanya mengacu pada satu titik *tagane* berdasarkan spesifikasi material, sementara *point cutting check* tidak dilakukan secara menyeluruh, sehingga belum terdapat acuan baku yang jelas mengenai posisi *tagane* dan *cutting check*. Kedua, posisi sudut tip gun terhadap part tidak konstan karena 89% proses *spot welding* masih dilakukan secara manual, sehingga rentan menimbulkan variasi kualitas. Ketiga, fenomena *cup tip* yang sering lengket pada part disebabkan oleh keterbatasan material *cup tip* yang tidak mampu bertahan pada suhu *spot welding* di atas 1085°C

- *Idea selection*

Dari fase *analysis & brainstorming*, peneliti membuat matrik untuk menentukan apakah ide perbaikan yang akan peneliti lakukan memiliki dampak serta menghasilkan *benefit*. Rincian penilaian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Idea selection

Rencana Perbaikan	Safety	Quality	Effect to Perform	Point	Judge	Remarks
Automation proses spot welding	4	4	4	12	○	1
Modifikasi jig proses	4	4	4	12	○	2
Instalasi pallet jundate	4	4	4	12	○	3
Drawing tagane	4	4	4	12	○	4
Teaching zero touch dan sudut ketegaklurusan tip gun	4	4	4	12	○	5
Positioning cup tip dengan gun guide manual	3	4	2	9	✗	Masih ada potensi tidak stabil
Resources cup tip	4	4	4	12	○	6

Point:

1. Sangat rendah
2. Rendah
3. Sedang
4. Tinggi
5. Sangat tinggi

Dari matrik diatas, peneliti menemukan 6 ide perbaikan yang akan diimplementasikan. Namun peneliti juga melakukan *brainstorming* dan *control progress activity* dengan tujuan semua perencanaan yang telah dibuat dapat berjalan sesuai *lead time* pengerjaannya.

3.1.4. Improve

● Improvement plan

Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan, selanjutnya melakukan rencana perbaikan. Rencana perbaikan tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rencana perbaikan.

No	Problem *What	Rootcause *Why	Rencana Perbaikan *How	Area *Where	PIC *Who	Due Date *When
1	Angka DPMO masih tinggi. Target 20 DPMO Aktual 255 DPMO	Positioning sudut tip gun terhadap part tidak konstan karena 89% proses spot welding masih manual	1. Install servo robot 2. Modifikasi jig proses 3. Instalasi pallet jundate	Sub Assy	HPR	Aug-24
2			Zero touch welding spot	Sub Assy	ARP	Aug-24
3		Acuan baku posisi tagane hanya perbedaan spec dan point cutting check tidak 100%	Development drawing tagane & cutting check based on CPPP	Sub Assy	ARP	Aug-24
4		Bahan cup tip tidak tahan pada suhu spot > 1085	Resources new cup tip	Sub Assy	ARP	Aug-24

Sesuai rencana perbaikan yang sudah dilakukan, kemudian dilakukan *feasibility study* guna menentukan bahwa investasi untuk rencana perbaikan layak atau tidak. Di Tahap awal melakukan perhitungan nilai investasi kemudian dilakukan perhitungan nilai IRR dan NPV.

Umur aset masih diperkirakan di angka 10 tahun. Berdasar perhitungan investasi didapatkan nilai NPV sebelum tahun ke 10 yaitu pada tahun ke 6 sudah menunjukkan nilai positif dan nilai IRR

pada tahun ke 6 berada di atas *discount rate* (16%) yaitu sebesar 18,8%. Berdasarkan analisa bahwa investasi ini layak sehingga melanjutkan *improvement* implementasinya.

● *Improvement Implementation*

Berdasarkan hasil analisis investasi yang menunjukkan kelayakan implementasi, langkah perbaikan utama yang dilakukan adalah instalasi *robot spot welding*. Sebelumnya, proses *spot welding* masih mengandalkan tenaga manusia yang berpotensi menimbulkan inkonsistensi dalam hasil produksi. Perubahan dilakukan dengan mengganti proses manual menjadi berbasis robot untuk mengurangi variasi kualitas dan meningkatkan stabilitas produksi. Keunggulan penggunaan robot pada proses *spot welding* adalah adanya sistem *pokayoke* yang meliputi *auto dresser & tip change*, *auto sensing* untuk memastikan posisi *cup tip* tepat di tengah, deteksi otomatis terhadap kekurangan jumlah atau kesalahan posisi *nut*, serta *teaching robot* yang berfungsi mencegah deformasi pada hasil *spot*. Dengan demikian, penggunaan robot tidak hanya meningkatkan konsistensi, tetapi juga memperkuat jaminan mutu dibandingkan dengan proses manual. Sebagaimana yang tersaji pada Tabel 5

Tabel 5. Garansi proses

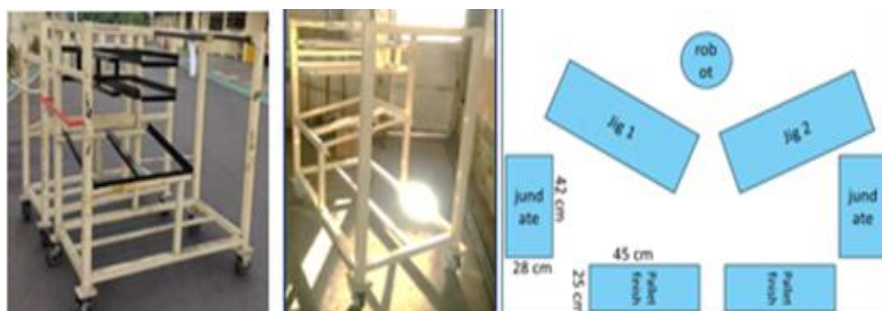
No	<i>Potential Defect Spot Weld</i>	<i>Proses Spot Weld</i>		<i>Level Up Quality Garansi</i>
		Manual	Robot	
1	Titik <i>spot weld</i> kurang	Jumlah titik spot hanya hitungan manual MP proses	Jumlah titik spot <i>weld</i> dikunci by <i>teaching robot</i>	T/A potensi kurang <i>quantity</i> titik spot
2	Posisi <i>spot weld</i> meleset	<i>Positioning gun spot weld</i> tidak konstan	Posisi <i>spot weld</i> konstan sesuai program/ <i>setting teaching & zero touch</i>	T/A potensi titik <i>spot</i> meleset (salah satu part tidak <i>full</i> terkena titik <i>spot</i>)
3	<i>Spot weld misplace/unposition</i>	<i>Positioning gun spot weld</i> salah posisi <i>spot</i>		T/A potensi titik <i>spot</i> salah posisi
4	<i>Ex spot weld pecok/deform</i>	Ketidaklurusan <i>gun</i> terhadap <i>part</i> tidak konstan		T/A potensi part pecok/ <i>deform ex spot/ handling gun</i>
5	<i>Spot weld</i> tidak stabil	Proses manual orang tidak konsisten	Proses konstan & stabil	<i>Full auto pokayoke system</i>

Benefit yang didapat dari perbaikan instalasi robot *spot welding* yaitu efisiensi *cycle time* sejumlah 61,5%.

1. *Instalasi pallet jundate*

Kondisi sebelumnya proses kerja memerlukan banyak langkah kerja yaitu 8 langkah kerja dan setiap jenis *part* berada di *pallet* yang berbeda- beda, rata-rata dalam membuat 1 *item finish part* mempunyai lebih dari 5 *single part*.

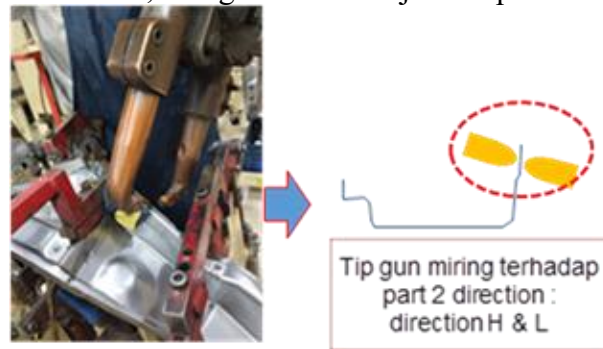
Peneliti melakukan *improvement pallet Jundate* dengan proses lebih efisien, desain dan implementasi secara *inhouse*, dengan *jundate* langkah kerja lebih efisien yaitu 3 langkah kerja dikarenakan dalam 1 *jundate* bisa menampung lebih dari 4 *single part*. Kemudian peneliti melakukan yokoten ke semua proses di area *sub assy*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Jundate* dan *layout* setelah perbaikan

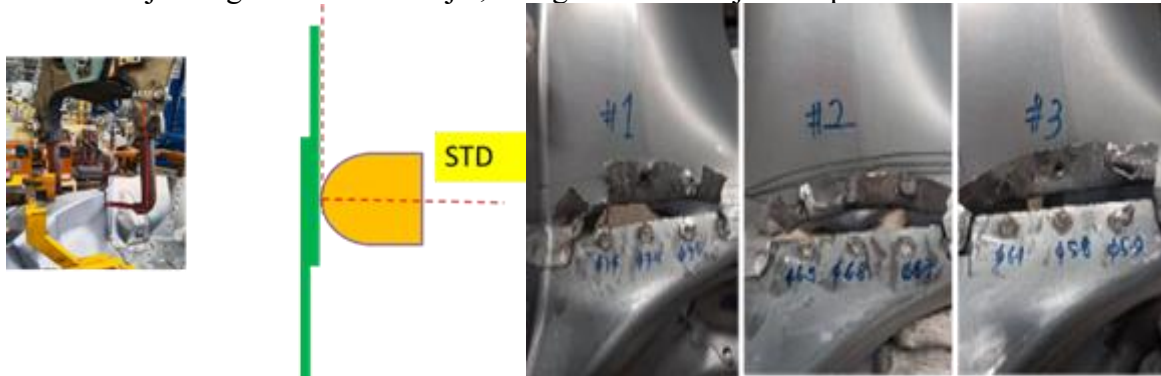
2. Zero touch welding spot

Kondisi sebelumnya *gun* tidak tegak lurus terhadap *part*, sehingga mengakibatkan hasil *spot* yang tidak penetrasi secara maksimal, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Posisi *gun* terhadap *part*

Perbaikan yang dilakukan oleh peneliti yaitu melakukan *teaching* robot yang semula tidak tegak lurus menjadi tegak lurus 90 derajat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbaikan posisi *gun*

Setelah dilakukan perbaikan hasil diameter *nugget spot* menjadi lebih besar yaitu di angka 5,8 mm – 7,6 mm (standar minimum 2,7 mm).

3. Development drawing tagane & cutting check based on CPPP

Kondisi sebelumnya *tagane* hanya mengacu pada 1 titik *spot* berdasarkan spesifikasi *material*, dan *cutting check* hanya dilakukan sampling berdasarkan tipe *gun* dan spesifikasi *material*.

Kemudian peneliti melakukan pengembangan melalui *study* berdasarkan CPPP, dimana *tagane* mengacu pada 30% titik *spot* berdasarkan spesifikasi *material* dan tipe *gun*. Dalam melakukan *cutting check* setelah adanya aktivitas yang dilakukan di proses seperti *preventive maintenance* dan alih proses dilakukan 100%/semua titik *spot welding*. Selanjutnya peneliti melakukan *yokoten* ke semua *item spot welding*.

4. Resources new cuptip

Kondisi sebelumnya fenomena yang terjadi *cuptip* sering lengket terhadap *part* saat sedang proses produksi, oleh karena itu peneliti melakukan studi berdasarkan referensi metalurgi yang bersumber dari ANT international mengenai *Welding of Zirconium Alloys*, proses *spot welding* memiliki suhu sekitar 800 – 1600 derajat celcius, jika *cuptip* tidak mengandung bahan Zirconium, titik lelehnya maksimal di angka 1086 derajat celcius. Zirconium memiliki titik lebur yang tinggi yaitu 1866 derajat celcius, memiliki ketahanan oksidasi pada suhu tinggi sehingga meningkatkan umur pakai dan sifatnya non reaktif. Selain itu lebih ramah lingkungan karena tidak mengandung timbal dan arsenik. Kemudian peneliti melakukan pencarian dan didapatkan 3 jenis *cuptip*, selanjutnya dilakukan *trial* dengan syarat untuk parameter *setting*, *cuptip change*, *cuptip dresser* tidak dilakukan perubahan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.

TYPE CUP TIP	PROSES		TYPE CUP TIP	RESULT TRIAL		
GKLT				TAGANE	PEELING CEK	CUTTING CHECK
ZP	ROBOT SPOT WELD	Current (tidak mengandung zirconium)	ZP	OK	OK	OK
CZ			CZ	OK	NG	NG
CUC1ZR		Memiliki kandungan Zr (Zirconium)	CUC1ZR	OK	NG	NG

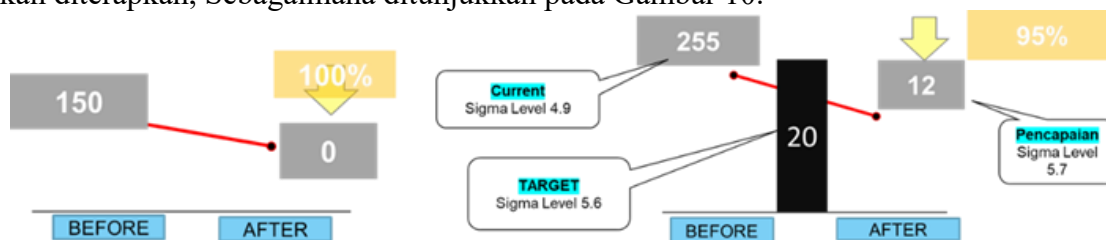
Gambar 9. Properties trial

Berdasarkan *trial lifetime* tipe ZP mempunyai kualitas yang lebih bagus dan irit dibanding tipe *current* GKLT yaitu dengan *productivity up* sejumlah 78,57%.

Setelah penggantian *cuptip* dengan kandungan Zr, kejadian *cuptip* yang lengket terhadap *part* hilang, dan berefek terhadap *productivity up* yang semula dalam satu bulan mengakibatkan *downtime* selama 195 menit, setelah penggantian menjadi 0 menit *downtime*.

3.1.5. Control

Setelah implementasi perbaikan, peneliti melakukan pemantauan berkelanjutan melalui aktivitas *Problem Identification and Corrective Action* (PICA) untuk memastikan efektivitas tindakan yang telah diterapkan. Monitoring hasil perbaikan dilakukan secara sistematis guna mengevaluasi pencapaian target kualitas, stabilitas proses, serta konsistensi kinerja produksi setelah intervensi perbaikan diterapkan, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Penurunan defect spot & DPMO

Implementasi perbaikan proses *spot welding* menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan pada berbagai aspek kualitas dan produktivitas. Nilai *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) berhasil diturunkan dari 255 menjadi 12 atau menurun sebesar 95%, yang disertai dengan peningkatan level sigma dari 4,9 menjadi 5,7. Perbaikan ini tidak hanya menekan tingkat cacat, tetapi juga berdampak pada peningkatan efisiensi, ditunjukkan oleh kenaikan nilai *spot/hours* sebesar 16% serta penurunan *cost/spot* sebesar 6%.



Gambar 11. Increase sales

Lebih lanjut, peningkatan kualitas dan konsistensi proses memberikan implikasi positif terhadap aspek komersial, yang terlihat dari respon pelanggan berupa kenaikan penjualan sebesar 16,04% serta diperolehnya proyek baru bagi PT X. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi

perbaikan berbasis teknologi Industri 4.0 dan *pokayoke* mampu memperkuat daya saing perusahaan dalam industri manufaktur otomotif, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.

Hasil perbaikan tidak hanya memberikan manfaat yang bersifat *tangible*, tetapi juga menghasilkan sejumlah manfaat *intangible* yang signifikan. Peningkatan jaminan kualitas membuka peluang bagi masuknya proyek baru, sekaligus memperkuat citra perusahaan di mata pelanggan. Selain itu, jaminan kualitas yang lebih baik juga berdampak pada penghapusan potensi klaim pelanggan terkait *reject cost* maupun *cost sakanabory*, sehingga mendukung tercapainya kondisi *zero claim*. Perbaikan ini juga berkontribusi langsung terhadap jaminan kualitas di sisi pelanggan dan meningkatkan aspek keselamatan proses manufaktur. Selanjutnya, peneliti melakukan evaluasi melalui penyusunan ulang *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) setelah adanya perubahan proses. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh potensi kegagalan telah berhasil ditanggulangi melalui rencana perbaikan yang diterapkan, Sebagaimana tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil FMEA

No.	Potensi Masalah	Dampak	Skala RPN Sebelum	Skala RPN Sesudah	Judge
1	Titik <i>spot welding</i> kurang	Kekuatan <i>welding</i> berkurang	<i>HIGH</i>	<i>LOW</i>	OK
2	Posisi <i>spot welding</i> meleset		<i>HIGH</i>	<i>LOW</i>	OK
3	<i>Spot welds miss place</i>		<i>HIGH</i>	<i>LOW</i>	OK
4	<i>Spot weld</i> pecok/deform	<i>Appearance</i> tidak baik	<i>HIGH</i>	<i>LOW</i>	OK
5	Hasil <i>spot weld</i> tidak stabil terkait akurasi <i>part</i>	Pada saat proses <i>assembling</i> terjadi <i>gap</i> /tidak match dengan <i>join part</i>	<i>HIGH</i>	<i>LOW</i>	OK

Untuk menjaga keberlanjutan hasil perbaikan, peneliti menetapkan pengendalian proses melalui kegiatan standarisasi yang bertujuan memastikan stabilitas operasional sekaligus mencegah timbulnya masalah serupa di masa mendatang. Langkah standarisasi mencakup penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP), penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) dan *Preventive Maintenance* (PM) pada robot spot serta *pallet jundate*, pembuatan petunjuk kerja khusus untuk robot spot, penetapan spesifikasi *cuptip* dengan kandungan zirconium, serta pelaksanaan audit SSAS dan sertifikasi auditor *spot welding*. Selain itu, dilakukan pula pendaftaran Hak Kekayaan Intelektual (HKI) untuk desain industri *jundate* sebagai bentuk perlindungan inovasi perusahaan.

Di sisi lain, PT X memperoleh pengakuan eksternal melalui kegiatan *benchmarking*, yang menunjukkan bahwa implementasi perbaikan tidak hanya berdampak pada peningkatan kualitas internal, tetapi juga diakui oleh pihak eksternal. Salah satu bentuknya ditunjukkan melalui keikutsertaan PT X dalam *booth* pada acara Honshitsu yang dihadiri oleh lebih dari 50 pemasok. Dalam kesempatan tersebut, PT X ditetapkan sebagai salah satu acuan (*benchmark*) oleh pelanggan dalam hal implementasi otomasi pada proses *spot welding*, yang sekaligus memperkuat citra perusahaan di mata industri otomotif.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi perbaikan proses *spot welding* melalui integrasi teknologi industri 4.0 dan konsep *pokayoke* mampu memberikan peningkatan signifikan terhadap kualitas dan stabilitas produksi di PT X. Penerapan strategi perbaikan yang dirumuskan melalui analisis SWOT, *fault tree analysis*, serta pemilihan ide berbasis *cost-benefit* menghasilkan enam langkah kunci, antara lain: automasi proses *spot welding*, modifikasi *jig*, instalasi *pallet jundate*,

pengembangan *drawing tagane*, *teaching zero touch welding*, serta penggunaan *cuptip* berbahan zirconium.

Perubahan signifikan ditunjukkan pada tingkat *defect*. Angka DPMO menurun drastis dari 255 menjadi 12 atau sebesar 95%, yang berimplikasi pada peningkatan level sigma dari 4,9 menjadi 5,7 dengan menghilangkan defect spot welding dari 150 menjadi 0 pcs. Penurunan ini sejalan dengan temuan Antony et al. (2019), yang menegaskan bahwa penerapan metodologi *Six Sigma* berbasis DMAIC efektif dalam mengurangi variasi proses dan meningkatkan kualitas secara berkelanjutan. Lebih lanjut, penggantian material *cuptip* dengan kandungan zirconium terbukti menghilangkan masalah lengket (*sticking*) sehingga *downtime* dapat ditekan hingga 100%. Hasil ini konsisten dengan studi Silva et al. (2020), yang menunjukkan bahwa material berbasis zirconium memiliki ketahanan tinggi terhadap suhu dan oksidasi sehingga meningkatkan reliabilitas dalam aplikasi pengelasan.

Selain kualitas, perbaikan juga berdampak pada produktivitas. Peningkatan nilai *spot/hour* sebesar 16% disertai penurunan *cost/spot* sebesar 6% menunjukkan bahwa integrasi automasi dan *pokayoke* tidak hanya meningkatkan mutu tetapi juga efisiensi proses. Temuan ini mendukung literatur Papulova et al. (2022), yang menekankan bahwa adopsi teknologi industri 4.0 seperti automasi robotik berperan penting dalam memperkuat daya saing perusahaan manufaktur melalui peningkatan efisiensi dan konsistensi produksi.

Dampak positif lainnya adalah peningkatan *respons* pelanggan dan performa finansial. Peningkatan kualitas yang konsisten memperkuat kepercayaan *customer*, tercermin dari kenaikan penjualan sebesar 16,04% dan bertambahnya proyek baru. Secara finansial, total *tangible benefit* tercapai dengan *Net Quality Income* (NQI) sebesar rasio NQI 90,02. Hal ini sejalan dengan temuan Snee (2017) yang menegaskan bahwa keberhasilan penerapan *Six Sigma* tidak hanya meningkatkan kualitas, tetapi juga menghasilkan dampak finansial yang signifikan pada profitabilitas perusahaan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi antara teknologi industri 4.0 dan metode *pokayoke* yang didukung oleh analisis *Six Sigma* dapat meningkatkan kualitas, produktivitas, dan kinerja finansial perusahaan. Lebih jauh, hasil ini juga mendukung visi “*Making Indonesia 4.0*” yang dicanangkan pemerintah, dengan mendorong adopsi teknologi *digital* dan automasi untuk memperkuat daya saing sektor otomotif nasional.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa perbaikan proses *spot welding* melalui integrasi teknologi industri 4.0 dan sistem *pokayoke* mampu meningkatkan kualitas produk dan stabilitas produksi. Strategi perbaikan menggunakan pendekatan W-O (*weakness–opportunity*), yaitu mengatasi kelemahan internal dengan memanfaatkan peluang eksternal. Implementasi dilakukan melalui instalasi robot *spot welding* yang dilengkapi dengan *pokayoke*, didukung pengembangan *pallet jundate*, modifikasi *jig* proses, pengembangan *drawing tagane*, *zero-touch welding* dengan ketegaklurusan posisi *gun*, serta penggunaan *cuptip* berbahan zirconium. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kualitas yang signifikan, ditandai dengan kenaikan level sigma dari 4,9 menjadi 5,7 dan penurunan *defect* dari 255 DPMO menjadi 12 DPMO atau berkurang sebesar 95%. Uji statistik juga mengkonfirmasi adanya perbedaan signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah perbaikan. Temuan ini menegaskan bahwa integrasi industri 4.0 dengan *pokayoke* dapat memperkuat daya saing dalam industri manufaktur otomotif. Namun, ruang lingkup penelitian ini terbatas pada instalasi robot dan *pokayoke* di proses *spot welding*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas penerapan industri 4.0 dengan mengintegrasikan teknologi lain seperti *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI), serta diterapkan pada proses produksi lain seperti *projection nut*, *stamping*, dan *shearing* agar transformasi digital di industri otomotif dapat dipahami secara lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- Antony, J., Sony, M., & McDermott, O. (2019). Reducing defects in manufacturing through Six Sigma DMAIC: A case study. *The TQM Journal*, 31(5), 705–720. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2018-0194>
- Aliyari, M., Rezaei, A., & Karimi, H. (2025). Advances in resistance spot welding for automotive applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 309, 117726. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117726>
- Chuenmee, S., Phithakkitnukoon, S., & Kato, H. (2025). Quality improvement in automotive welding: A data-driven approach. *Journal of Manufacturing Processes*, 89, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.12.005>
- Costa, A. A., Ferraz, F., & Martins, R. A. (2019). Six Sigma in manufacturing: Evidence from case studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(4), 648–666. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2017-0246>
- Hemalatha, K., & Anusha, S. (2025). Comparative analysis of quality improvement methods: Lean, Six Sigma, and Taguchi. *Quality Engineering*, 37(2), 211–223. <https://doi.org/10.1080/08982112.2024.1789903>
- Jimenez, R., Molina, A., & Rodriguez, M. (2019). DMAIC methodology as a framework for continuous improvement in manufacturing. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(5–6), 567–584. <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1400376>
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2018). *Making Indonesia 4.0: Roadmap menuju Indonesia top 10 ekonomi dunia*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Mittal, V., Gupta, P., & Sharma, A. (2023). Six Sigma implementation in automotive sector: Current trends and future prospects. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(1), 55–73. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2021-0087>
- Padmarajan, R., & Selvaraj, T. (2021). Six Sigma applications in manufacturing industries: A review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4236–4242. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.550>
- Papulova, Z., Gazova, A., & Papula, J. (2022). Industry 4.0 in automotive sector: Opportunities and challenges. *Procedia Computer Science*, 200, 1234–1242. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.314>
- Silva, L. A., Gomes, R., & Costa, M. (2020). Pokayoke as a mistake-proofing approach in manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Processes*, 49, 246–258. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.11.027>
- Snee, R. D. (2017). Why Six Sigma will continue to thrive. *Quality Progress*, 50(5), 22–28.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Widiyanto, J. (2013). *Statistik terapan: Konsep dan aplikasi SPSS/LISREL dalam penelitian pendidikan, psikologi & ilmu sosial lainnya*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Wang, Y., Li, X., & Zhou, D. (2024). The impact of Six Sigma on operational performance: Evidence from automotive firms. *Operations Management Research*, 17(2), 178–190. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00291-5>
- Xu, Y., Li, W., & Zhang, J. (2018). 4M1E-based quality control analysis in automotive manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(14), 4901–4914. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391418>