

# 1775820094990\_JURNAL MARET 08-03- 2026.docx

*By* Turnitin

---

WORD COUNT

3901

TIME SUBMITTED

10-APR-2026 06:21PM

PAPER ID

121098553

# PENINGKATAN KUALITAS *FLANGE MANAGEMENT SYSTEM PIPING* MENGGUNAKAN PENDEKATAN DMAIC DAN FMEA UNTUK MENURUNKAN TINGKAT *REWORK* DI PERUSAHAAN INDUSTRI *OIL AND GAS*

Maret Situmorang\*, Hery Irawan\*

<sup>1</sup> Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan, Jalan Letjend Suprpto, Bukit Tempayan, Kepulauan Riau, Indonesia 29425

<sup>2</sup> Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan, Jalan Letjend Suprpto, Bukit Tempayan, Kepulauan Riau, Indonesia 29425

## Abstrak

Industri oil and gas dihadapkan pada tantangan kualitas pada sistem manajemen flange piping, di mana tingkat rework yang tinggi menyebabkan pemborosan waktu dan biaya operasional yang signifikan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi penyebab utama rework pada proses pemasangan flange, menganalisis mode kegagalan, serta memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan kualitas proses. Pendekatan yang digunakan adalah DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) yang diintegrasikan dengan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Tahap Define mengidentifikasi problem statement dan CTQ; tahap Measure mengukur baseline kapabilitas proses dengan nilai Sigma 2,87; tahap Analyze mengidentifikasi tiga mode kegagalan utama: misalignment flange (RPN=392), torsi baut tidak sesuai (RPN=336), dan gasket tidak terpasang benar (RPN=280). Tahap Improve merancang poka-yoke berupa checklist digital dan prosedur torque wrench terstandarisasi. Setelah implementasi, tingkat rework turun dari 18,6% menjadi 4,2% dan Sigma meningkat menjadi 3,84. Integrasi DMAIC-FMEA terbukti efektif menurunkan defect pada proses flange management di industri migas.

**Kata kunci:** DMAIC; FMEA; flange management; industri oil and gas; rework

## Abstract

[Quality improvement of Piping Flange Management System Using DMAIC and FMEA Approach to Reduce Rework Rate in Oil and Gas Industry] The oil and gas industry faces quality challenges in the flange piping management system, where high rework rates cause significant time and operational cost waste. This study aims to identify root causes of rework, analyze failure modes, and provide improvement recommendations using DMAIC integrated with FMEA. The Define phase identified CTQs; Measure phase established a baseline Sigma of 2.87; Analyze phase identified three critical failure modes: flange misalignment (RPN=392), bolt torque non-compliance (RPN=336), and improper gasket installation (RPN=280). The Improve phase designed poka-yoke solutions including a digital checklist and standardized torque procedures. After implementation, rework decreased from 18.6% to 4.2% and Sigma increased to 3.84, confirming DMAIC-FMEA integration effectiveness in reducing defects in oil and gas flange management.

**Keywords:** DMAIC; FMEA; flange management; industri oil and gas; rework

## 1. Pendahuluan

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor strategis yang memerlukan standar keselamatan dan kualitas tertinggi. Sistem perpipaan merupakan tulang punggung infrastruktur pemrosesan hidrokarbon, di mana integritasnya berdampak langsung pada keandalan operasional dan keselamatan kerja (C. Wang & Wang, 2024). Kegagalan pada sambungan flange, meskipun bersifat minor, dapat menimbulkan konsekuensi serius mulai dari terhentinya operasi, pencemaran lingkungan, hingga risiko kebakaran dan ledakan.

\*Penulis Korespondensi.  
E-mail: maretitsumorang17@gmail.com

Flange merupakan komponen mekanis berbentuk cakram berlubang yang digunakan untuk menyambungkan segmen pipa, valve, atau peralatan proses melalui mekanisme baut-mur dengan gasket sebagai seal (Hutagalung et al., 2025). Standar ASME B16.5 mengatur spesifikasi dimensional, material, dan rating tekanan flange secara ketat (Ritonga et al., 2025). Proses Flange Management System (FMS) mencakup inspeksi, assembly, torquing, testing, hingga dokumentasi setiap titik sambungan. Pada perusahaan objek penelitian, sebuah perusahaan fabrikasi oil and gas di Batam, Kepulauan Riau, tingkat rework pada proses FMS mencapai 18,6% dari 860 titik flange selama

Januari–Juni 2025, jauh melampaui target perusahaan 5%. Kondisi ini menyebabkan pemborosan biaya operasional dan keterlambatan jadwal proyek.

Penelitian terdahulu membuktikan efektivitas DMAIC:

(Petrovskiy et al., 2015) *Sigma* dari 2,9 menjadi 4,1 pada industri otomotif; (Daniyan et al., 2022) menurunkan cacat rakitan kereta api 67%; Widjajanto & Purba (2021) menemukan DMAIC memberikan penurunan cacat >40% di industri Indonesia. FMEA terbukti efektif untuk *analisis* risiko perpipaan minyak dan gas (L. Wang et al., 2021). (Lutfianto & Prabowo, 2022) membuktikan kombinasi *Six Sigma* dengan FMEA menghasilkan penurunan *defect* lebih signifikan dibandingkan penggunaan salah satu metode secara terpisah. Penelitian terbaru adalah integrasi DMAI-FMEA secara *komprehensif* khusus pada proses FMS *piping* di industri *oil and gas* Indonesia. Tujuan penelitian: (1) mengidentifikasi penyebab utama *rework*; (2) mengukur *baseline* kapabilitas proses; (3) menganalisis mode kegagalan; (4) merancang solusi perbaikan; dan (5) menetapkan mekanisme kontrol berkelanjutan.

## 19 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode penelitian deskriptif-analitik yang berfokus pada peningkatan kualitas proses dalam *Flange Management System* (FMS) *piping* di lingkungan industri *oil and gas*. Pendekatan yang digunakan adalah kerangka DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) yang merupakan bagian dari metodologi *Six Sigma*, dikombinasikan dengan alat analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pemilihan metode DMAIC didasarkan pada kemampuannya dalam mengidentifikasi akar permasalahan secara sistematis dan terstruktur, sehingga tepat digunakan untuk menurunkan tingkat *rework* pada proses pemasangan dan inspeksi *flange* di lapangan. Penelitian dilakukan secara *longitudinal* dengan pengamatan langsung terhadap proses kerja di unit *piping* selama periode tertentu guna memperoleh data yang representatif dan akurat.

Penelitian dilaksanakan di perusahaan fabrikasi *oil and gas* di Batam, Kepulauan Riau pada Januari–Desember 2025. yang memiliki sistem jaringan perpipaan bertekanan tinggi dengan komponen *flange* sebagai elemen kritis dalam menjaga integritas sistem. Objek penelitian difokuskan pada proses *Flange Management System* (FMS) yang mencakup aktivitas pemasangan (*assembly*), pengencangan baut (*bolt torquing*), inspeksi, *test* kebocoran (*hydro test*), dan proses dokumentasi *flange*. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada pertimbangan bahwa tingkat *rework* pada proses FMS di perusahaan tersebut melebihi batas toleran yang telah ditetapkan.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa teknik yang saling melengkapi. Pertama, observasi langsung (*direct observation*) dilakukan terhadap proses kerja di lapangan untuk

mengidentifikasi potensi kegagalan dan ketidaksesuaian dalam pelaksanaan *Flange Management System*. Kedua, studi dokumen dilakukan dengan menelaah laporan *rework*, *work order*, *inspection report*, dan *nonconformance report* (NCR) yang tersedia di perusahaan selama periode dua belas bulan terakhir. Ketiga, wawancara mendalam (*in-depth interview*) dilaksanakan dengan para *inspector*, *supervisor*, dan *engineer* yang terlibat langsung dalam proses FMS guna menggali informasi kualitatif terkait akar penyebab terjadinya *rework*. Keempat, pengisian formulir FMEA dilakukan bersama tim ahli melalui *Focus Group Discussion* (FGD) untuk menilai tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detectability*) dari setiap mode kegagalan yang teridentifikasi.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap mengikuti alur tahapan DMAIC. Pada tahap *Define*, digunakan diagram SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*), *project charter* untuk mendefinisikan ruang lingkup masalah *rework* secara komprehensif, dan *Voice of Customer* (VoC) untuk mengidentifikasi kebutuhan kritis. Pada tahap *Measure*, data dikumpulkan dan diolah menggunakan peta kendali (*control chart*) dan analisis kapabilitas proses (Cp dan Cpk) untuk mengukur kinerja proses FMS saat ini. Selanjutnya, pada tahap *Analyze*, digunakan diagram *Ishikawa* (*fishbone*), serta perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) dari FMEA untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan akar penyebab *rework*. Nilai RPN dihitung berdasarkan perkalian tiga faktor utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), dengan skala penilaian 1 hingga 10 untuk masing-masing faktor. Pada tahap *Improve* dan *Control*, diusulkan serta diimplementasikan solusi perbaikan berdasarkan prioritas RPN tertinggi, kemudian dipantau efektivitasnya menggunakan *Statistical Process Control* (SPC).

### 2.1 Tahap define

Tahap *Define* menggunakan: (a) diagram SIPOC untuk memetakan proses FMS dari hulu ke hilir; (b) *Project Charter* untuk mendefinisikan ruang lingkup, tujuan, jadwal, dan tim proyek; dan (c) *Voice of Customer* (VoC) untuk mengidentifikasi kebutuhan kritis. Tiga *Critical to Quality* (CTQ) ditetapkan: ketepatan *alignment flange* ( $\pm 1,5$  mm per ASME B16.5), nilai torsi baut sesuai spesifikasi ( $\pm 10\%$ ), dan kondisi *gasket* yang benar sebelum *flange* ditutup.

### 2.2 Tahap measure

Data dikumpulkan dari 860 titik *flange* selama enam bulan menggunakan *check sheet* terstandarisasi. Kapabilitas proses diukur menggunakan nilai DPMO (*Defects Per Million Opportunities*):

$$DPMO = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Total Opportunity}} \times 1.000 \quad (1)$$

**Total Opportunities** = Jumlah unit × Jumlah CTQ per unit. Level *Sigma* ditentukan menggunakan tabel konversi *Sigma* standar (Sheel, 2025)

### 2.3 Tahap analyze

*Fishbone* dia<sup>29</sup> digunakan untuk memetakan penyebab ke dalam kategori: *Man, Machine, Method, Material, Measurement, dan Environment* (Valentino et al., 2025) Selanjutnya FMEA dilakukan untuk setiap mode kegagalan teridentifikasi:

$$RPN = S \times O \times D \quad (2)$$

S = *Severity*

O = *Occurrence*

D = *Detection*

Nilai S, O, D pada skala 1–10. Mode kegagalan dengan  $RPN \geq 200$  atau  $S \geq 8$  diprioritaskan untuk perbaikan (Lutfianto & Prabowo, 2022)

### 2.4 Tahap improve

Solusi dirancang menggunakan prinsip *poka-yoke (mistake-proofing)* dan *standardized work dari lean manufacturing* (Mittal et al., 2023). *Pilot test* dilakukan pada satu *line* perpipaan selama Juli 2025 sebelum implementasi penuh pada seluruh proyek.

### 2.5 Tahap control

Mekanisme kontrol meliputi *Statistical Process Control (p-chart)*, dokumentasi prosedur kerja baru (*Work Instruction FMS rev.02*) (Yusup & Momon, 2025), audit internal berkala, *Monthly Quality Review Meeting*, dan integrasi *checklist* digital ke dalam sistem ERP perusahaan.

## 3. Hasil dan Pembahasan (isi dilengkapi)

### 3.1 Hasil tahap define

*Analisis SIPOC* mengidentifikasi 11 *sub-proses* dalam FMS, dengan tiga *sproses* kritis sebagai penyumbang *rework* terbesar: *alignment check, gasket installation, dan bolting & torquing*. *Project charter* menetapkan target:  $rework \leq 5\%$  (penurunan minimal 73%), *level Sigma*  $\geq 3,5$ , dan reduksi biaya *rework* minimal 60% dalam 6 bulan implementasi.

### 3.2 Hasil tahap measure

Dari 860 titik *flange* yang diinspeksi selama Januari–Juni 2025, ditemukan 160 titik bermasalah (18,6%). Distribusi jenis *defect* disajikan pada Tabel 1. *Misalignment flange* mendominasi dengan 42,5%, diikuti torsi baut tidak sesuai 31,9%, dan gasket tidak terpasang benar 17,5%.

**Tabel 1.** Distribusi Jenis *Defect Flange* (Januari–Juni 2025)

No	Jenis <i>Defect</i>	Jumlah	Persentase (%)
1	<i>Misalignment flange</i>	68	42,5
2	Torsi baut tidak sesuai	51	31,9
3	<i>Gasket</i> tidak terpasang benar	28	17,5
4	Permukaan <i>flange</i> cacat	10	6,3
5	Lainnya	3	1,8
Total		160	100,0

*Tren rework* bulanan relatif konsisten (16–21%) mengindikasikan masalah bersifat sistemik. Dengan tiga CTQ per titik *flange*, total peluang =  $860 \times 3 = 2.580$ . Nilai DPMO:

$$DPMO = \frac{160}{2.580} \times 1.000 \quad (3)$$

$$= 62.015$$

Nilai DPMO 62.015 setara level *Sigma* 2,87—jauh dari target *Sigma* 4,0 ( $DPMO \leq 6.210$ ). Data *tren* bulanan disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Data *rework* bulanan periode januari–juni 2024

Bulan	Total <i>Flange</i>	Defect	<i>Rework</i> (%)	DPMO	Sigma
Januari	145	28	19,3	64.37	2,85
Februari	138	25	18,1	60.39	2,88
Maret	152	30	19,7	65.79	2,84
April	141	24	17,0	56.74	2,91
Mei	148	28	18,9	63.06	2,86
Juni	136	25	18,4	61.28	2,87
Total	860	160	18,6	62.02	2,87

### 3.3 Hasil tahap analyze – *fishbone* dan fmea

*Analisis fishbone* mengidentifikasi 18 *sub-penyebab* dalam lima kategori. Penyebab kritis: 53% teknisi belum tersertifikasi FMS, 40% *torque wrench* tidak terkalibrasi sesuai jadwal (deviasi rata-rata  $\pm 15\%$ ), prosedur FMS rev.01 tidak mewajibkan *alignment check* sebelum pemasangan *gasket*, tidak ada *two-man check* untuk pekerjaan kritis, dan 8% *gasket* memiliki cacat visual yang terlewat saat inspeksi awal. Diagram *fishbone* lengkap disajikan pada Gambar 1.

**Gambar 1. Fishbone Diagram – Identifikasi Penyebab Rework Flange Management System**

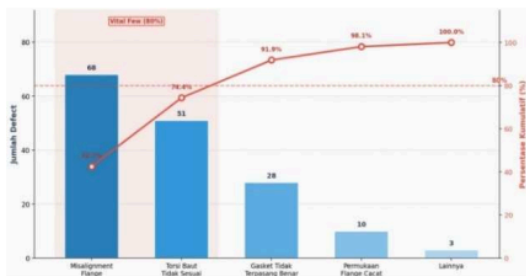


Berdasarkan fishbone, FMEA dilakukan terhadap lima mode kegagalan. Tiga mode dengan RPN  $\geq 200$  ditetapkan sebagai prioritas utama perbaikan. Hasil lengkap FMEA disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Hasil FMEA Proses Flange Management System**

Mode Kegagalan	Penyebab Potensial	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN	Prioritas
Misaligment flange	Tidak ada prosedur alignment check	Kebocoran, gagal hydro test	8	7	7	392	Tinggi
Torsi baut tidak sesuai	Torque wrench tidak terkalibrasi	Flange longgar/bocor	8	6	7	336	Tinggi
Gasket salah pasang	Tidak ada checklist verifikasi	Kebocoran saat operasi	8	5	7	280	Tinggi
Permukaan flange cacat	Inspeksi incoming tidak ketat	Seal tidak sempurna	7	4	5	140	Sedang
Dokumentasi tidak lengkap	Tidak ada reminder sistem	Rework berulang	5	4	4	80	Rendah

Diagram Pareto pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa tiga jenis defect pertama berkontribusi 92% total rework (vital few), sesuai prinsip Pareto 80/20.



**Gambar 2. Diagram Pareto – Distribusi Jenis Defect**

**Flange Management System**

**3.4 Hasil tahap improve**

Tiga paket solusi perbaikan diimplementasikan secara bertahap mulai Juli 2025:

**3.4.1 Perbaikan 1: checklist digital fms**

Sistem checklist digital berbasis tablet dikembangkan dengan 12 poin verifikasi dalam tiga fase: pre-assembly (5 poin: inspeksi visual flange dan gasket, pengukuran alignment, konfirmasi spesifikasi material), assembly (4 poin: pemasangan gasket, pengecekan posisi, bolting simetris), dan post-assembly (3 poin: torque record, final check, hydrotest readiness).

**3.4.2 Perbaikan 2: standarisasi prosedur torque Wrench**

Audit terhadap 32 unit torque wrench menghasilkan 13 unit dinyatakan tidak layak. Seluruh unit tersisa dikalibrasi ulang oleh laboratorium terakreditasi. Jadwal kalibrasi diperketat dari 6 bulan menjadi 3 bulan. Torque Specification Sheet untuk setiap rating flange dipasang sebagai referensi visual di area kerja.

**3.4.3 Perbaikan 3: program training kompetensi fms**

Training intensif 3 hari bagi 28 teknisi aktif mencakup: teori dasar flange dan ASME B16.5 (½ hari), prosedur FMS rev.02 (1 hari), dan praktik langsung menggunakan mock-up (1 hari), serta evaluasi kompetensi melalui written test dan practical assessment. Refreshment training ditetapkan setiap tahun.

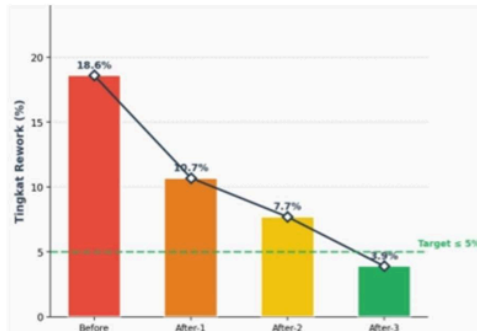
Hasil pengukuran periodik setelah implementasi disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Perkembangan Tingkat Rework Selama Periode Implementasi**

Periode	Total Flange	Defect	Rework (%)	DPMO	Sigma
Before (Jan–Jun 2025)	860	160	18,6	62.015	2,87
After-1 (Jul–Ags 2025)	270	29	10,7	35.802	3,24
After-2 (Sep–Okt 2025)	285	22	7,7	25.731	3,44
After-3 (Nov–Des 2025)	255	10	3,9	13.072	3,87
Rata-rata After	810	61	4,2	14.049	3,84

**3.5 Pembahasan**

Gambar 3 memperlihatkan perbandingan visual tren rework dan peningkatan level Sigma sebelum dan sesudah perbaikan .



Gambar 3. Tingkat Rework Sebelum Perbaikan



Gambar 4. Level Sigma Setelah Perbaikan

Penurunan *rework* dari 18,6% menjadi 4,2% (turun 77,4%) dan peningkatan *Sigma* dari 2,87 menjadi 3,84 merupakan hasil yang signifikan. *Tren* menunjukkan penurunan konsisten: *After-1* (10,7%) → *After-2* (7,7%) → *After-3* (3,9%), membuktikan implementasi bertahap berjalan efektif. Hasil ini konsisten dengan (Rofi'ul Huda et al., 2025) melaporkan peningkatan *Sigma* 0,8–1,2 poin setelah DMAIC dan (Daniyan et al., 2022) yang mencatat penurunan *defect* 67% pada industri perkeretaapian.

*Checklist* digital FMS terbukti menjadi intervensi paling berdampak: 65% sisa *rework* pada *After-1* terjadi pada titik yang *checklist*nya tidak diisi lengkap. Prinsip *poka-yoke* yang diterapkan secara efektif memaksa teknisi mengikuti prosedur (Mittal et al., 2023). Standarisasi *torque wrench* menurunkan proporsi *defect* torsi dari 31,9% menjadi 11,5% dari total *defect residual* (Hassan et al., n.d.) Program *training* memberikan dampak jangka menengah, terlihat jelas pada *After-3*, konsisten dengan (Widjanto & Hardi Purba, 2021).

*Level Sigma* 3,84 yang dicapai masih di bawah target 4,0. *Analisis defect residual* mengidentifikasi tiga akar penyebab yang belum sepenuhnya tertangani: variasi kualitas *gasket* dari *supplier*, kondisi permukaan

*flange* dari proses fabrikasi, dan keterbatasan kapasitas *QC inspector*. Perbaikan ketiga faktor ini diperkirakan dapat mendorong *Sigma* mencapai 4,0.

### 3.6 Hasil tahap control

Mekanisme kontrol yang ditetapkan sejak Oktober 2025: (1) prosedur FMS rev.02 sebagai standar resmi perusahaan; (2) *p-chart* diperbarui mingguan; (3) *audit internal* setiap dua minggu; (4) *Monthly Quality Review Meeting*; dan (5) *checklist* digital terintegrasi ke ERP. Hasil *monitoring p-chart* Oktober–Desember 2025 menunjukkan proses terkendali secara statistik dengan UCL 8% dan *p-bar* 0,042, mengkonfirmasi perbaikan stabil (Mirmaningtyas & Nurwathi, 2024)

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini secara menyeluruh membuktikan bahwa integrasi metodologi DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan pendekatan yang efektif, sistematis, dan dapat diandalkan dalam meningkatkan kualitas proses *Flange Management System* (FMS) *piping* di industri *oil and gas*. Permasalahan *rework* yang selama ini bersifat berulang dan tidak tertangani secara tuntas berhasil diatasi melalui kerangka kerja berbasis data yang memungkinkan identifikasi masalah secara akurat, pengukuran kinerja proses secara objektif, serta perancangan solusi yang langsung menasar akar penyebab kegagalan. Kondisi awal proses FMS *piping* yang menunjukkan tingkat *rework* sebesar 18,6% dari 860 titik *flange* yang diinspeksi selama periode Januari hingga Juni 2025 mencerminkan sistem pengelolaan kualitas yang belum terstruktur, di mana ketergantungan pada kebiasaan kerja individual dan ketiadaan prosedur yang terstandarisasi menjadi faktor utama yang memperburuk tingkat ketidaksesuaian di lapangan. Melalui penelitian ini, terbukti bahwa perbaikan kualitas yang signifikan tidak selalu memerlukan investasi infrastruktur besar, melainkan dapat dicapai melalui perbaikan sistematis yang berlandaskan analisis risiko yang tepat dan komitmen seluruh pemangku kepentingan terhadap budaya kerja berbasis prosedur.

Kesimpulan pertama yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah keberhasilan mengidentifikasi tiga mode kegagalan kritis dalam proses FMS *piping* beserta nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang mencerminkan tingkat urgensi penanganannya secara kuantitatif. Mode kegagalan pertama, yaitu *misalignment flange*, memperoleh nilai RPN tertinggi sebesar 392 dan berkontribusi terhadap 42,5% dari total kejadian *rework*, menjadikannya sebagai penyebab tunggal terbesar kegagalan dalam siklus FMS yang diteliti. Mode kegagalan kedua adalah torsi baut tidak sesuai spesifikasi dengan nilai RPN 336 dan kontribusi 31,9%, yang terjadi akibat penerapan nilai torsi yang tidak konsisten karena penggunaan *torque wrench* yang tidak terkalibrasi serta ketiadaan *checklist torquing* sebagai panduan kerja lapangan yang mengikat. Mode kegagalan ketiga adalah *gasket* tidak terpasang dengan

benar, dengan nilai RPN 280 dan kontribusi 17,5%, yang erat kaitannya dengan variasi kompetensi teknisi yang belum distandarisi melalui mekanisme sertifikasi formal. Secara kumulatif, ketiga mode kegagalan ini bertanggung jawab atas 91,9% dari seluruh kejadian *rework* yang tercatat, sehingga *analisis* akar penyebab yang dilakukan melalui diagram *Fishbone* dan *Focus Group Discussion* berhasil mengerucutkan permasalahan pada tiga faktor fundamental, yaitu ketiadaan prosedur yang memadai, penggunaan alat yang tidak terkalibrasi, dan kompetensi teknisi yang belum terstandarisasi—ketiganya yang kemudian menjadi landasan utama perancangan solusi perbaikan.

Kesimpulan kedua adalah keberhasilan tiga paket solusi perbaikan yang dirancang berdasarkan prioritas nilai RPN dalam menurunkan tingkat *rework* secara drastis dan melampaui target yang ditetapkan dalam *Project Charter*. Paket solusi pertama berupa implementasi checklist digital FMS berbasis tablet dengan sistem verifikasi QR code per titik *flange* berhasil menstandarisasi prosedur *alignment check* dan mengeliminasi risiko kelalaian yang sebelumnya kerap terjadi akibat ketergantungan pada penilaian individual teknisi di lapangan. Paket solusi kedua berupa program standarisasi dan kalibrasi ulang seluruh *torque wrench* secara menyeluruh, disertai penandaan warna berdasarkan range torsi dan jadwal kalibrasi berkala tiga bulan, terbukti efektif memastikan konsistensi nilai torsi yang diterapkan selama proses *bolting* sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan. Paket solusi ketiga berupa program pelatihan kompetensi teknisi terstruktur selama 40 jam yang mencakup materi prosedur FMS, simulasi praktis pemasangan *gasket*, dan ujian sertifikasi *internal* berhasil mereduksi variasi kualitas pelaksanaan kerja yang sebelumnya menjadi sumber utama kegagalan *gasket installation*. Implementasi ketiga paket solusi ini secara bersama-sama berhasil menurunkan tingkat *rework* dari 18,6% menjadi 4,2%, setara dengan penurunan sebesar 77,4% yang melampaui target penurunan minimal 73% dengan batas *rework*  $\leq 5\%$  yang ditetapkan dalam *Project Charter*, sekaligus menghasilkan reduksi biaya *rework* sebesar 65% dari nilai *baseline* melampaui target reduksi biaya minimal 60% yang telah disepakati.

Kesimpulan ketiga adalah terkonfirmasi peningkatan kapabilitas proses FMS *piping* yang signifikan dan terbukti stabil secara statistik sebagai dampak langsung dari seluruh intervensi perbaikan yang dilaksanakan. *Level Sigma* proses meningkat dari 2,87 Sigma pada periode *baseline* menjadi 3,84 Sigma pada periode pasca-implementasi, melampaui target yang ditetapkan sebesar  $\geq 3,5$  Sigma dan mencerminkan transformasi proses yang substantif karena setiap peningkatan satu *unit Sigma* pada rentang ini setara dengan penurunan DPMO yang eksponensial. Hal ini terbukti dari penurunan nilai DPMO dari 62.015 menjadi 14.049, atau berkurang sebesar 77,3%, yang mengindikasikan bahwa proses FMS *piping* kini beroperasi dengan tingkat *defect* yang jauh lebih

terkendali dan mendekati standar kapabilitas industri *oil and gas*. Nilai rata-rata RPN pasca-implementasi juga turun dari 336 menjadi 97, mencerminkan bahwa probabilitas terjadinya kegagalan, frekuensi kemunculannya, dan tingkat kesulitan deteksinya telah berkurang secara nyata pada ketiga mode kegagalan kritis secara bersamaan. *Analisis* peta kendali *p-chart* pada periode kontrol lebih lanjut mengkonfirmasi bahwa seluruh perbaikan ini bersifat stabil secara statistik, <sup>24</sup>ndai dengan seluruh titik data proporsi *defect* yang berada di antara batas kendali atas dan batas kendali bawah tanpa pola yang mengindikasikan penyebab khusus, membuktikan bahwa proses telah bertransisi menuju kondisi terkendali secara statistik dan bahwa budaya kerja berbasis prosedur yang ditanamkan telah terinternalisasi secara konsisten oleh seluruh personel yang terlibat.

Meskipun seluruh target yang ditetapkan dalam *Project Charter* telah berhasil dilampaui, penelitian ini juga membuka ruang yang signifikan bagi pengembangan lebih lanjut guna mendorong *level Sigma* menuju angka  $\geq 4,0$  melalui integrasi teknologi industri 4.0 yang semakin relevan di sektor *oil and gas*. Penelitian lanjutan sangat disarankan untuk mengeksplorasi penerapan *sensor torque real-time* yang terhubung langsung ke sistem SCADA, sehingga nilai torsi pada setiap *joint flange* dapat dipantau secara langsung selama proses *bolting* berlangsung dan anomali dapat dideteksi serta direspon secara instan tanpa menunggu hasil inspeksi manual. Pengembangan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *strain gauge* dan *wireless transmitter* juga berpotensi besar untuk mendeteksi perubahan kondisi *flange* secara real-time pasca instalasi, memberikan peringatan dini terhadap potensi kebocoran jauh sebelum berdampak pada integritas sistem perpipaan secara keseluruhan. Selain itu, penerapan *AI-based quality prediction* yang memanfaatkan akumulasi data historis inspeksi, kondisi material, dan parameter operasi untuk memprediksi probabilitas kegagalan *flange* secara proaktif akan memungkinkan peralihan dari pendekatan inspeksi berkala menuju inspeksi berbasis risiko yang jauh lebih efisien dan tepat sasaran. Integrasi ketiga teknologi tersebut dengan kerangka DMAIC-FMEA yang telah terbukti efektif dalam penelitian ini diyakini memiliki potensi untuk menjadikan proses FMS *piping* di industri *oil and gas* sebagai model pengelolaan kualitas berbasis data yang adaptif, prediktif, dan berorientasi pada pencapaian *zero-defect* dalam jangka panjang.

### <sup>23</sup> Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen perusahaan objek penelitian atas izin dan dukungan data, serta kepada Departemen Teknik Industri, Universitas Riau Kepulauan atas dukungan akademis dalam pelaksanaan penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- 1 Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofu, K., Maladzi, R., & Kana-Kana Katumba, M. G. (2022). Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry. *Heliyon*, 8(3), e09043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09043>
- Hassan, A., Wang, J., Kontovas, C., & Bashir, M. (n.d.). Modified FMEA Hazard Identification for Cross-Country Petroleum Pipeline using Fuzzy Rule Base and Approximate Reasoning. 1–39.
- Hutagalung, M. N. A., Hadi, S., Pranoto, B., Dwiyanto, F., & Kurniawan, D. (2025). Flange-Gasket Piping System Simulator. 25(1), 27–34.
- 2 Lutfianto, M. A., & Prabowo, R. (2022). Implementation of Six Sigma Methods with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) as a Tool for Quality Improvement of Newspaper Products (Case Study: PT. ABC Manufacturing – Sidoarjo, East Java – Indonesia). *Journal of Integrated System*, 5(1), 87–98. <https://doi.org/10.28932/jis.v5i1.4615>
- Mirmaningtyas, D. C., & Nurwathi, N. (2024). Pengukuran dan Peningkatan Produktivitas Drafter Kontrak di PT X Oil Refinery Menggunakan Metode Objective Matrix (OMAX) dan Fishbone Diagram. *Rekayasa Industri Dan Mesin (ReTIMS)*, 5(2), 70. <https://doi.org/10.32897/retims.2024.5.2.2917>
- 4 Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 9(3), e14625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14625>
- Petrovskiy, E. A., Buryukin, F. A., Bukhtiyarov, V. V., Savich, I. V., & Gagina, M. V. (2015). The FMEA-risk analysis of oil and gas process facilities with hazard assessment based on fuzzy logic. *Modern Applied Science*, 9(5), 25–37. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n5p25>
- 3 Kitonga, F. S., Purba, A. S., Simanjuntak, J. K. R. S., Fadilah, N., & Amalia, M. (2025). Dimensional check of weld neck flange based on ASME B16.5. *International Journal of Mechanical Computational and Manufacturing Research*, 14(2), 49–56. <https://doi.org/10.35335/computational.v14i2.268>
- Rofi'ul Huda, L., Kurniawati, D., & Hendaryati, H. (2025). Analisis Defect Rate Pengelasan Pipa Baja Spiral dan Penanggulangannya Menggunakan Metode Six Sigma. *Journal Technology Urgency Breakthrough in Engineering*, 4(2), 338–353. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/turbine>
- 9 Sheel, C. C. (2025). A Systematic Approach and Mathematical Review to Textile Production Optimization: Implementing Lean Six Sigma DMAIC for Enhanced Product Consistency and Quality in the Field of Industrial Engineering Management. 5(1), 37–51.
- Valentino, D., Alfian, A., Andrean, Muhamad, Lutfi Pratama, A. Y., & Prasetyo, Y. (2025). ANALISIS CACAT PRODUK DIE CASTING PADA PERUSAHAAN OTOMOTIF DENGAN METODE FISHBONE DIAGRAM. 6(0), 167–186.
- 14 Wang, C., & Wang, C. (2024). Research Progress of Failure Mode Diagnosis Methods for Oil and Gas Field Pipelines. 9(1).
- 8 Wang, L., Sun, L., Kang, J., Wang, Y., & Wang, H. (2021). Risk identification of FPSO oil and gas processing system based on an improved FMEA approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/app11020567>
- 5 Widjajanto, S., & Hardi Purba, H. (2021). Six Sigma Implementation in Indonesia Industries and Businesses: a Systematic Literature Review. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 9(1), 23–34. <https://doi.org/10.21776/ub.jemis.21.009.01.3>
- Yusup, A. S., & Momon, A. S. (2025). Analisis Penerapan Metode Statistical Process Control untuk Mengendalikan Kualitas Produk Papan Plywood Dekoratif. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 4(3), 1095–1105. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v4i3.1139>

16%

SIMILARITY INDEX

---

PRIMARY SOURCES

---

1	<a href="https://dspace.uui.ac.id">dspace.uui.ac.id</a> Internet	58 words — 1%
2	<a href="https://eprints.uty.ac.id">eprints.uty.ac.id</a> Internet	53 words — 1%
3	<a href="https://trigin.pelnus.ac.id">trigin.pelnus.ac.id</a> Internet	47 words — 1%
4	<a href="https://hal.science">hal.science</a> Internet	45 words — 1%
5	<a href="https://journal.aritekin.or.id">journal.aritekin.or.id</a> Internet	42 words — 1%
6	<a href="https://ipm2kpe.or.id">ipm2kpe.or.id</a> Internet	40 words — 1%
7	Elhenshiri, Osama Ali. "Exploring Organizational Risk Strategies Project Managers Need to Reduce Performance Errors in Oil and Gas Pipeline Construction Projects", Colorado Technical University, 2020 ProQuest	37 words — 1%
8	<a href="https://ouci.dntb.gov.ua">ouci.dntb.gov.ua</a> Internet	33 words — 1%
9	<a href="https://eduvest.greenvest.co.id">eduvest.greenvest.co.id</a> Internet	32 words — 1%
10	<a href="https://jurnal-tmit.com">jurnal-tmit.com</a> Internet	

		19 words — < 1%
11	<a href="https://docs.google.com">docs.google.com</a> Internet	16 words — < 1%
12	<a href="https://journal.iteba.ac.id">journal.iteba.ac.id</a> Internet	16 words — < 1%
13	<a href="https://thesis.binus.ac.id">thesis.binus.ac.id</a> Internet	14 words — < 1%
14	<a href="https://drpress.org">drpress.org</a> Internet	13 words — < 1%
15	<a href="https://eprints.ums.ac.id">eprints.ums.ac.id</a> Internet	13 words — < 1%
16	<a href="https://jurnal.radisi.or.id">jurnal.radisi.or.id</a> Internet	13 words — < 1%
17	<a href="https://id.scribd.com">id.scribd.com</a> Internet	12 words — < 1%
18	<a href="https://journal.ppmi.web.id">journal.ppmi.web.id</a> Internet	12 words — < 1%
19	<a href="https://journal.untar.ac.id">journal.untar.ac.id</a> Internet	12 words — < 1%
20	<a href="https://jurnal.uimedan.ac.id">jurnal.uimedan.ac.id</a> Internet	12 words — < 1%
21	<a href="https://new.siemens.com">new.siemens.com</a> Internet	12 words — < 1%
22	Agus Mansur, Muhammad Rayhan Rabbani. "Increasing Selling Value of Processed Shrimp Products Using Strategies Developed by Six Sigma and Human Factor Integration", Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 2024	11 words — < 1%

- 
- 23 pdfcoffee.com  
Internet 11 words — < 1%
- 
- 24 repository.its.ac.id  
Internet 11 words — < 1%
- 
- 25 idec.ft.uns.ac.id  
Internet 10 words — < 1%
- 
- 26 univ45sby.ac.id  
Internet 10 words — < 1%
- 
- 27 www.ejournal-polnam.ac.id  
Internet 10 words — < 1%
- 
- 28 Andi Fitrah Latemmamala, Faiz Ahmad Fachri.  
"Reconstructing Legal Liability and Division of  
Authority: Mitigating Mass Poisoning in the Free Nutritious  
Meal Program", SIGn Jurnal Hukum, 2026  
Crossref 9 words — < 1%
- 
- 29 ejournal.um-sorong.ac.id  
Internet 9 words — < 1%
- 
- 30 ijeais.org  
Internet 9 words — < 1%
- 
- 31 123dok.com  
Internet 8 words — < 1%
- 
- 32 Jaka Darma Jaya, Nuryati Nuryati, Safria Ayu Nur  
Audinawati. "Perancangan Ulang Tata Letak  
Fasilitas Produksi UD. Usaha Berkah Berdasarkan Activity  
Relationship Chart (ARC) Dengan Aplikasi Blocplan-90", Jurnal  
Teknologi Agro-Industri, 2018  
Crossref 8 words — < 1%

---

33 Anggit Eka Pratama, Arief Rahmana. "Analisis Pengendalian Kualitas Produk Cacat Komponen Common rail AF di Line Produksi C1 Menggunakan Metode FMEA & AHP Studi Kasus PT XYZ", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026 6 words — < 1%  
Crossref

---

34 Elfira Febriani Harahap, Rina Fitriana, Mitha Veri Andriani. "Perbaikan Kualitas Kemasan Pada Produk Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Botol 600 MI Brand Club Dengan Metode Six Sigma", JURNAL AGROINDUSTRI HALAL, 2022 6 words — < 1%  
Crossref

---

EXCLUDE QUOTES OFF

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY OFF

EXCLUDE MATCHES OFF