



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 14944-14952

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Defect Proses Brazing pada Line Assembly Heat Exchanger Menggunakan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) di PT DIID

Della Putrica, Suhendra, Yudi Prastyo

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

dellaputrica31@gmail.com

Abstrak

Proses produksi *heat exchanger* terdiri atas serangkaian tahapan yang saling berkaitan dalam menentukan kualitas produk akhir. Salah satu tahapan yang memiliki peran paling penting adalah proses brazing. Apabila terjadi kegagalan pada proses ini, maka dapat menyebabkan penurunan kualitas produk, meningkatnya jumlah scrap, serta berkurangnya efisiensi proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis defect yang muncul pada proses brazing, menganalisis faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya defect, menentukan prioritas risiko kegagalan, serta menyusun usulan perbaikan pada proses produksi di PT DIID. Metode yang diterapkan adalah Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) untuk menentukan tingkat prioritas risiko melalui perhitungan Risk Priority Number (RPN) berdasarkan nilai Severity, Occurrence, dan Detection. Analisis tersebut didukung oleh penggunaan Fishbone Diagram dengan pendekatan 6M yang meliputi (Man, Machine, Method, Material, Measurement, dan Environment) guna mengidentifikasi akar penyebab terjadinya defect. Data penelitian diperoleh melalui observasi langsung, wawancara dengan pihak terkait, serta dokumentasi perusahaan selama periode Januari-Maret 2026. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pin hole merupakan jenis defect yang paling dominan dengan persentase sebesar (64,20% dari total defect) yang ditemukan. Selain itu, hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa *failure mode* berupa "ketidakstabilan temperatur torch" memiliki nilai RPN tertinggi, yaitu sebesar (432) sehingga menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Usulan perbaikan difokuskan pada pengendalian kebersihan material, pengaturan kestabilan temperatur proses, standarisasi pelaksanaan SOP, serta peningkatan kompetensi operator melalui pelatihan. Penerapan rekomendasi tersebut diharapkan mampu menekan jumlah defect, meningkatkan kualitas produk, serta mendukung peningkatan efisiensi proses produksi pada Line Assembly Heat Exchanger di PT DIID.

Kata kunci: Defect, Brazing, FMEA, Fishbone Diagram, Heat Exchanger.

1. Latar Belakang

Industri manufaktur global saat ini mengalami persaingan yang sangat ketat, terutama pada sektor produksi komponen teknik seperti *heat exchanger* yang digunakan dalam sistem pendingin udara (*air conditioner*). Dalam industri modern, kualitas produk menjadi faktor utama yang menentukan daya saing perusahaan, kepuasan pelanggan, serta efisiensi biaya produksi akibat adanya produk cacat (*defect*). Oleh karena itu, pengendalian kualitas pada setiap tahapan proses produksi menjadi aspek penting untuk memastikan produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, sekaligus menjaga efisiensi biaya operasional perusahaan secara berkelanjutan. *Heat exchanger* merupakan komponen utama pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai media pertukaran panas antara dua fluida tanpa terjadi pencampuran di antara keduanya. Salah satu tahapan paling kritis dalam proses produksinya adalah proses *brazing*, yaitu proses penyambungan logam menggunakan *filler metal* pada suhu tertentu tanpa melelehkan logam induk. Proses ini banyak digunakan khususnya pada material aluminium karena mampu menghasilkan sambungan yang kuat, rapat, dan presisi, sehingga menjadi metode penyambungan pilihan utama pada industri *heat exchanger* berskala besar.

Proses *brazing* merupakan *critical process* karena kualitas sambungan yang dihasilkan sangat menentukan integritas produk akhir secara keseluruhan. Kegagalan pada proses ini tidak dapat diperbaiki pada tahap lanjutan tanpa *rework* yang signifikan, bahkan pada kondisi tertentu dapat menyebabkan produk menjadi *scrap* sepenuhnya, sehingga menimbulkan kerugian material dan waktu produksi. Selain itu, proses *brazing* sangat sensitif terhadap variasi parameter, baik yang berasal dari faktor manusia, mesin, metode kerja, material, sistem

pengukuran, maupun kondisi lingkungan, sehingga proses ini tergolong rawan menimbulkan berbagai jenis *defect* proses. Penelitian oleh Mirski dkk. menunjukkan bahwa pada proses *brazing* aluminium *heat exchanger*, fenomena *dissolution* dan *erosion* dapat terjadi akibat pengaruh temperatur dan aliran *filler metal* yang tidak stabil, sehingga berpotensi menyebabkan cacat pada sambungan *brazing* [1]. Selain faktor proses itu sendiri, penelitian lain juga menunjukkan bahwa *defect* dalam proses manufaktur pada umumnya tidak berdiri sendiri, melainkan dipengaruhi oleh kombinasi berbagai faktor seperti manusia, mesin, metode, material, pengukuran, dan lingkungan kerja [2]. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa proses *brazing* memiliki tingkat risiko yang relatif tinggi terhadap terjadinya *defect*, sehingga membutuhkan pengendalian kualitas yang lebih ketat dan sistematis dibandingkan proses produksi lainnya.

Dalam upaya pengendalian kualitas tersebut, diperlukan metode analisis yang mampu mengidentifikasi akar penyebab masalah secara sistematis, bukan sekadar menangani gejala permukaan dari *defect* yang muncul. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis potensi kegagalan pada suatu proses serta menentukan tingkat prioritas risiko berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN), yang diperoleh dari perkalian tiga parameter, yaitu *Severity* (tingkat keparahan dampak), *Occurrence* (frekuensi kejadian), dan *Detection* (kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan). Melalui pendekatan ini, setiap potensi kegagalan dapat dinilai secara kuantitatif sehingga prioritas perbaikan dapat ditentukan secara objektif, bukan berdasarkan asumsi semata. Untuk memperkuat proses identifikasi akar penyebab sebelum dilakukan penilaian FMEA, penelitian ini juga menggunakan *Fishbone diagram* (*Cause and Effect Diagram*), yang memungkinkan pengelompokan faktor-faktor penyebab *defect* secara terstruktur berdasarkan pendekatan 6M, yaitu *Man* (manusia), *Machine* (mesin), *Method* (metode kerja), *Material* (bahan baku), *Measurement* (sistem pengukuran), dan *Environment* (lingkungan kerja) [2]. Kombinasi kedua *tools* ini memungkinkan penelitian tidak hanya berhenti pada tahap mengetahui jenis dan jumlah *defect*, tetapi juga mampu menelusuri akar penyebabnya secara lebih mendalam serta menentukan urutan prioritas tindakan perbaikan yang paling mendesak untuk dilakukan.

PT DIID sebagai perusahaan manufaktur sistem pendingin udara turut mengalami permasalahan pada line produksi *Assembly heat exchanger*, khususnya pada tahapan proses *brazing*. Berdasarkan data *defect* yang dikumpulkan selama periode penelitian, ditemukan beberapa jenis *defect* yang berulang, yaitu *overflow*, *pin hole*, *fillet NG*, *flare melt*, dan *overheat/fin burn*, dengan *defect* yang paling dominan adalah *pin hole* dengan persentase mencapai 64% dari keseluruhan *defect* yang tercatat. Tingginya tingkat *defect* tersebut berdampak langsung pada meningkatnya aktivitas *rework*, *line out*, dan *scrap*, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi produksi secara keseluruhan serta berpotensi menambah beban biaya produksi perusahaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses *brazing* menjadi titik kritis yang memerlukan perhatian khusus, karena memiliki kontribusi terbesar terhadap terjadinya *defect* pada produk akhir dibandingkan tahapan produksi lainnya pada line yang sama.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan pokok, yaitu masih terdapatnya *defect* pada proses *brazing* di line produksi *Assembly heat exchanger*; belum diketahuinya secara pasti faktor-faktor dominan yang menyebabkan *defect* tersebut; belum adanya prioritas penanganan risiko yang disusun berdasarkan tingkat kegagalan yang sesungguhnya terjadi di lapangan; serta belum tersedianya upaya perbaikan yang tepat sasaran untuk menurunkan tingkat *defect* pada proses tersebut. Dari permasalahan-permasalahan tersebut, penelitian ini dirumuskan untuk menjawab tiga pertanyaan utama, yaitu: (1) apa saja jenis *defect* yang terjadi pada proses *brazing* di line *assembly heat exchanger* PT DIID; (2) bagaimana metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dapat digunakan untuk menganalisis tingkat risiko proses *brazing* pada line tersebut; dan (3) rekomendasi apa yang dapat diberikan untuk menurunkan tingkat risiko proses *brazing* sehingga dapat mengurangi terjadinya *defect* secara berkelanjutan.

Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis *defect* yang terjadi pada proses *brazing* di line *assembly heat exchanger* PT DIID, mengimplementasikan metode FMEA untuk menganalisis tingkat risiko kegagalan pada proses tersebut, serta menyusun usulan perbaikan yang applicable guna menurunkan tingkat risiko dan mengurangi terjadinya *defect*. Agar penelitian tetap terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, ruang lingkup penelitian dibatasi hanya pada line produksi *Assembly heat exchanger* di PT DIID dengan fokus khusus pada proses *brazing*, menggunakan data *defect* selama periode penelitian berlangsung, serta menerapkan metode analisis *Fishbone diagram* dan FMEA tanpa membahas aspek biaya implementasi usulan perbaikan secara rinci maupun sampai pada tahap eksekusi perbaikan itu sendiri. Dengan cakupan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa pengetahuan mengenai tingkat potensi *defect* pada proses *brazing* sehingga perusahaan dan karyawan memiliki dasar untuk meminimalkan potensi kegagalan tersebut, memberikan pemahaman mengenai akar penyebab *defect* melalui

pendekatan *Fishbone diagram* sebagai landasan penentuan langkah perbaikan yang tepat dan terarah, serta menghasilkan solusi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses produksi di PT DIID secara berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus (*case study*). Metode deskriptif dipilih karena penelitian ini bertujuan menggambarkan kondisi aktual proses produksi *brazing* pada line *Assembly Heat exchanger* di PT DIID secara objektif, tanpa melakukan manipulasi terhadap variabel penelitian, melainkan hanya mengamati dan menganalisis fenomena yang terjadi di lapangan sebagaimana adanya, khususnya terkait jenis-jenis *defect* yang terjadi serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan dalam proses pengukuran tingkat risiko *defect* melalui metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), khususnya dalam perhitungan nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) yang menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN tersebut digunakan sebagai dasar kuantitatif untuk menentukan tingkat prioritas perbaikan berdasarkan derajat risiko kegagalan yang paling kritis dalam proses *brazing*. Pendekatan studi kasus digunakan karena fokus penelitian hanya diarahkan pada satu objek spesifik, yaitu line produksi *Assembly Heat exchanger* di PT DIID, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang mendalam, spesifik, dan relevan dengan kondisi nyata di lapangan, bukan generalisasi lintas perusahaan.

Penelitian dilaksanakan di PT DIID, tepatnya pada line produksi *Assembly Heat exchanger*. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa line tersebut merupakan salah satu proses kritis dalam pembuatan sistem pendingin udara (*air conditioner*), khususnya pada tahap penyambungan komponen melalui proses *brazing* yang sangat menentukan kualitas akhir produk. Pada area produksi tersebut, proses *brazing* dilakukan secara *mass production* sehingga memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dan rentan terhadap terjadinya *defect*, menjadikan lokasi ini sangat relevan untuk dilakukan analisis pengendalian kualitas menggunakan metode FMEA. Penelitian dilaksanakan dalam periode Januari 2026 sampai dengan Maret 2026, mencakup enam tahapan utama, yaitu observasi awal untuk memahami kondisi umum proses produksi, wawancara dengan pihak terkait, pengambilan data primer dan sekunder, pengolahan data, observasi akhir untuk verifikasi temuan, hingga penyusunan kesimpulan penelitian. Objek penelitian adalah proses *brazing* pada line produksi *Assembly Heat exchanger*, dengan fokus utama pada identifikasi *defect* yang terjadi serta analisis faktor penyebabnya secara sistematis. Objek penelitian juga mencakup data historis *defect* produksi yang meliputi jenis *defect*, jumlah *defect*, serta tingkat kejadian *defect* selama periode penelitian, yang digunakan sebagai dasar dalam analisis dan perhitungan FMEA.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung dari sumber pertama di lapangan melalui tiga metode. Pertama, observasi langsung yang dilakukan dengan mengamati secara langsung proses *brazing* pada line produksi untuk mengetahui kondisi aktual proses kerja, potensi terjadinya *defect*, serta faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk. Kedua, wawancara yang dilakukan kepada operator produksi, *leader*, *supervisor*, dan personel *quality control* untuk memperoleh informasi mengenai proses kerja, kendala yang sering terjadi, serta penyebab *defect* berdasarkan pengalaman langsung di lapangan. Ketiga, diskusi dengan pihak-pihak terkait untuk mengidentifikasi faktor-faktor potensial penyebab *defect* serta memvalidasi hasil observasi dan wawancara agar diperoleh data yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Adapun data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari dokumen perusahaan dan literatur terkait, meliputi data jumlah *defect* pada proses *brazing*, *Standard Operating Procedure* (SOP) proses *brazing*, laporan *quality control* produksi, dokumen inspeksi kualitas produk, serta data historis produksi pada line *Assembly Heat exchanger*. Data sekunder ini digunakan untuk memperkuat hasil analisis kualitatif dan mendukung proses pengolahan data secara kuantitatif, khususnya dalam penentuan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* pada tahap FMEA.

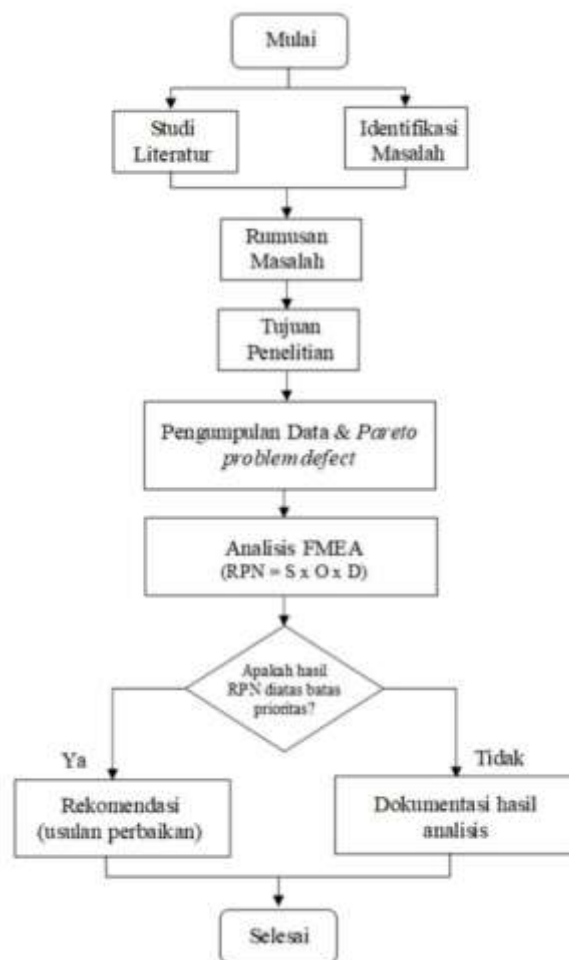
Teknik pengolahan dan analisis data dilakukan secara sistematis dan bertahap dengan menggunakan FMEA sebagai metode utama untuk mengidentifikasi dan menganalisis tingkat risiko penyebab *defect* pada proses *brazing*, yang dalam pelaksanaannya didukung oleh *Fishbone diagram* sebagai alat bantu untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya *defect* secara lebih terstruktur. Tahapan pengolahan dan analisis data yang dilakukan meliputi: (1) pengumpulan data *defect* proses *brazing* selama periode penelitian; (2) rekapitulasi dan klasifikasi data *defect* berdasarkan jenisnya, kemudian divisualisasikan melalui diagram Pareto untuk menentukan jenis *defect* yang paling dominan; (3) analisis penyebab *defect* menggunakan *Fishbone diagram* berdasarkan pendekatan 6M, yaitu *Man*, *Machine*, *Method*, *Material*, *Measurement*, dan *Environment*; (4) identifikasi *failure mode* dari setiap akar penyebab yang telah diperoleh; (5) penentuan nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) untuk

setiap *failure mode* berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan operator serta *supervisor* produksi; (6) perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dengan persamaan

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

dengan S adalah tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan apabila kegagalan terjadi, O adalah frekuensi atau kemungkinan terjadinya kegagalan pada proses produksi, dan D adalah kemampuan sistem kontrol atau inspeksi dalam mendeteksi kegagalan sebelum produk memasuki tahap berikutnya atau sampai ke tangan pelanggan [1]; (7) penentuan prioritas risiko dengan mengurutkan nilai RPN dari yang tertinggi hingga terendah, sehingga dapat diketahui *failure mode* yang paling mendeSSak untuk ditangani; dan (8) penyusunan rekomendasi atau usulan perbaikan menggunakan pendekatan 5W+1H terhadap *failure mode* dengan prioritas risiko tertinggi.

Tahapan penelitian secara keseluruhan disusun dalam bentuk flowchart penelitian agar alur kerja dapat dipahami secara jelas dan terstruktur dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur dan identifikasi masalah untuk memperoleh landasan teori serta mengetahui permasalahan aktual yang terjadi pada proses produksi. Hasil dari kedua tahap tersebut digunakan untuk menyusun rumusan masalah dan menetapkan tujuan penelitian sebagai pedoman pelaksanaan penelitian selanjutnya. Setelah itu dilakukan pengumpulan data yang berkaitan dengan *defect* pada proses produksi, yang kemudian dianalisis menggunakan diagram Pareto untuk menentukan jenis *defect* paling dominan sebagai fokus penelitian. Tahap berikutnya adalah analisis menggunakan FMEA, yang dilakukan dengan menilai tingkat keparahan (*Severity*), frekuensi kejadian (*Occurrence*), dan kemampuan deteksi (*Detection*) untuk memperoleh

nilai RPN sebagai dasar penentuan prioritas risiko. Nilai RPN yang diperoleh kemudian dievaluasi untuk mengetahui apakah berada di atas batas prioritas yang ditetapkan; apabila nilai RPN melebihi batas prioritas, disusun usulan perbaikan untuk mengurangi potensi terjadinya *defect*, sedangkan apabila nilai RPN tidak melebihi batas prioritas, hasil analisis didokumentasikan sebagai catatan evaluasi untuk pengendalian kualitas berkelanjutan. Rangkaian tahapan tersebut memastikan bahwa proses analisis berjalan secara runtut, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara metodologis.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Data Produksi dan Defect

Rekapitulasi hasil produksi Line Heat Exchanger Assembly periode Januari–Maret 2026 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Produksi Line Heat Exchanger Assembly Periode Jan–Maret 2026

Bulan	Target Produksi (Unit)	Hasil Produksi (Unit)	Persentase (%)
Januari	20.114	19.554	97,22
Februari	16.650	15.925	95,65
Maret	18.117	17.318	95,59
Total	54.881	52.797	96,20

Selama periode Januari–Maret 2026, realisasi produksi mencapai 96,20% dari target. Selisih antara target dan realisasi dipengaruhi antara lain oleh produk yang tidak memenuhi standar kualitas sehingga harus *repair/line out* maupun *scrap* akibat *defect* pada proses produksi, khususnya proses *brazing*.

Rekapitulasi jenis *defect* pada proses *brazing* selama periode yang sama disajikan pada Tabel 2.

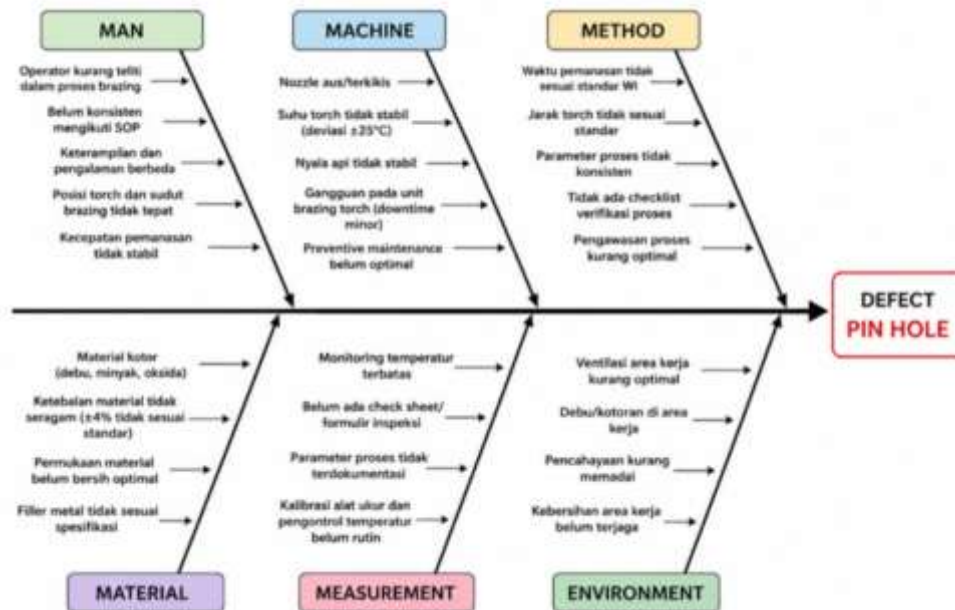
Tabel 2. Rekapitulasi Jenis Defect Proses Brazing Periode Jan–Mar 2026

No	Jenis Defect	Jumlah Defect (Unit)	Persentase (%)
1	Overflow	90	13,60
2	Fillet NG	130	19,64
3	Flare Melt	13	1,96
4	Pin Hole	425	64,20
5	Fin Burn	4	0,60

Analisis diatas menunjukkan bahwa *Pin Hole* merupakan *defect* paling dominan dengan 425 unit (64,20%), diikuti *Fillet NG* 130 unit (19,64%), *Overflow* 90 unit (13,60%), *Flare Melt* 13 unit (1,96%), dan *Fin Burn* 4 unit (0,60%). Garis persentase kumulatif menunjukkan *Pin Hole* dan *Fillet NG* bersama-sama berkontribusi 83,84% terhadap keseluruhan *defect*. Berdasarkan hasil tersebut, *Pin Hole* ditetapkan sebagai *Critical to Quality (CTQ)* karena memiliki frekuensi kejadian paling tinggi, sehingga analisis akar penyebab difokuskan pada *defect* ini.

3.2 Analisis Akar Penyebab dengan Fishbone Diagram

Identifikasi akar penyebab *defect Pin Hole* dilakukan berdasarkan pendekatan 6M dari hasil observasi, wawancara dengan pihak yang terkait, dan data *quality control*. Hasil dari *fishbone diagram* menunjukkan bahwa *defect Pin Hole* dipengaruhi oleh enam kelompok faktor yang saling berkaitan dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Fishbone Diagram Defect Pin Hole

Pada faktor **Man**, operator brazing yang diobservasi belum konsisten menerapkan SOP, dengan 5 kejadian ketidaksesuaian kerja terkait kesalahan sudut brazing dan ketidakstabilan kecepatan pemanasan. Pada faktor **Machine**, tercatat 8 kali gangguan (downtime minor) pada unit brazing torch selama periode penelitian serta ketidakstabilan suhu pada 3 unit mesin utama dengan deviasi hingga $\pm 25^{\circ}\text{C}$ dari setting standar. Pada faktor **Method**, parameter waktu pemanasan dan jarak torch belum sesuai standar Work Instruction (WI), dan belum tersedia checklist verifikasi proses. Pada faktor **Material**, ditemukan 20 unit (4%) dengan ketebalan material tidak sesuai standar, disertai indikasi kontaminasi minyak atau oksidasi ringan pada permukaan. Pada faktor **Measurement**, monitoring parameter proses seperti temperatur pemanasan dan waktu brazing belum terdokumentasi secara konsisten, dan kalibrasi alat ukur belum dilakukan secara rutin. Pada faktor **Environment**, ventilasi area kerja yang belum optimal dan kebersihan area kerja yang belum terjaga secara konsisten berpotensi mengontaminasi permukaan material serta mengubah karakteristik nyala api selama proses brazing.

Ringkasan hasil *Root Cause Analysis (RCA)* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Root Cause Analysis (RCA) Defect Pin Hole

Faktor (6M)	Akar Penyebab	Dampak terhadap Defect Pin Hole
Man	Operator belum konsisten mengikuti SOP; posisi torch dan sudut pembakaran kurang tepat	Proses pemanasan tidak seragam; panas tidak terdistribusi merata
Machine	Suhu torch tidak stabil; nozzle aus; preventive maintenance belum optimal	Filler metal tidak meleleh optimal; nyala api tidak stabil
Method	Parameter waktu pemanasan belum konsisten; belum tersedia check sheet verifikasi	Sambungan tidak terbentuk sempurna; penyimpangan proses sulit dikendalikan
Material	Permukaan material terdapat minyak/debu/oksida; ketebalan material tidak seragam	Aliran filler metal terhambat; penyerapan panas tidak merata
Measurement	Monitoring temperatur belum konsisten; kalibrasi alat ukur belum berkala	Penyimpangan parameter tidak segera diketahui
Environment	Ventilasi kurang optimal; kebersihan area kerja belum terjaga; pencahayaan kurang memadai	Kontaminasi permukaan material; ketelitian inspeksi visual berkurang

3.3 Analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Setiap akar penyebab yang diperoleh dari *Fishbone diagram* dijadikan *failure mode* dalam analisis FMEA, dengan penilaian *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) berdasarkan observasi lapangan dan wawancara. Hasil analisis dan perhitungan RPN disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

No	Failure Mode	Dampak Kegagalan	S	O	D	RPN
1	Temperatur torch tidak stabil	Pin Hole pada sambungan	9	8	6	432
2	Operator belum konsisten mengikuti SOP	Sambungan tidak sempurna	8	7	6	336
3	Posisi torch tidak sesuai standar	Distribusi panas tidak merata	8	6	6	288
4	Permukaan material kotor	Filler tidak melekat sempurna	8	6	5	240
5	Parameter waktu pemanasan tidak konsisten	Pin Hole dan Fillet NG	8	5	6	240
6	Nozzle aus	Nyala api tidak stabil	7	5	6	210
7	Preventive maintenance belum optimal	Performa mesin menurun	7	5	5	175
8	Monitoring temperatur belum konsisten	Penyimpangan proses terlambat diketahui	7	5	5	175
9	Kalibrasi alat ukur belum rutin	Hasil pengukuran tidak akurat	6	4	6	144
10	Ventilasi area kerja kurang baik	Proses pembakaran terganggu	6	4	5	120
11	Pencahayaan kurang memadai	Kesalahan inspeksi visual	5	3	5	75

Peringkat nilai RPN menunjukkan bahwa *failure mode* "temperatur torch tidak stabil" memiliki nilai tertinggi (432), diikuti "operator belum konsisten mengikuti SOP" (336), "posisi torch tidak sesuai standar" (288), serta "permukaan material kotor" dan "parameter waktu pemanasan tidak konsisten" yang masing-masing bernilai 240. Nilai RPN tertinggi pada faktor temperatur torch menunjukkan bahwa kombinasi *severity* tinggi, frekuensi kejadian yang cukup sering, dan kemampuan deteksi yang masih rendah menyebabkan *filler metal* tidak meleleh secara optimal sehingga meningkatkan potensi terjadinya *Pin Hole*. Nilai RPN yang relatif lebih rendah pada faktor monitoring, kalibrasi, ventilasi, dan pencahayaan tetap perlu ditindaklanjuti sebagai bagian dari upaya peningkatan kualitas proses secara berkelanjutan.

3.4 Usulan Perbaikan

Usulan perbaikan disusun menggunakan metode 5W+1H (*What, Why, Where, When, Who, How*) berdasarkan akar penyebab yang telah diidentifikasi, mencakup pengendalian kontaminasi material untuk mengurangi *Pin Hole*, stabilisasi temperatur pada proses *brazing* untuk mencegah *leakage*, standarisasi waktu pemanasan untuk mengurangi *incomplete joint*, pengaturan penggunaan *filler material* untuk meminimalkan *overflow*, serta pengendalian parameter suhu untuk mencegah *fin burn*. Selain perbaikan teknis, disusun pula usulan dari sisi manusia dan sistem berupa pelatihan operator serta penerapan *preventive maintenance* dan kalibrasi mesin secara berkala.

Berdasarkan hasil FMEA dan peringkat RPN, rekomendasi perbaikan yang difokuskan pada penanganan *defect Pin Hole* sebagai prioritas utama meliputi: (1) peningkatan kebersihan material sebelum proses *brazing* melalui *cleaning* menyeluruh untuk menghilangkan minyak, debu, dan oksidasi; (2) pengendalian proses *handling* material agar tidak terjadi kontaminasi ulang setelah pembersihan; (3) optimasi aliran gas pada proses *brazing* dengan pengecekan kondisi *furnace* secara berkala; (4) standarisasi SOP persiapan sebelum *brazing*; (5) peningkatan pengawasan oleh QC dan *supervisor* pada tahap awal proses; (6) pelatihan operator terkait *critical defect Pin Hole*; dan (7) peningkatan kondisi pencahayaan pada area proses *brazing* untuk membantu deteksi *defect* secara lebih akurat. Penerapan rekomendasi tersebut diharapkan dapat menurunkan secara signifikan tingkat *defect Pin Hole*, meningkatkan stabilitas kualitas produk, serta mengurangi tingkat *rework* dan *scrap* pada lini produksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada proses *brazing* di line *assembly heat exchanger* PT DIID dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, dapat disimpulkan bahwa jenis *defect* yang terjadi pada proses tersebut meliputi *Pin Hole*, *Fillet NG*, *Overflow*, *Flare Melt*, dan *Fin Burn*. Dari kelima jenis *defect* tersebut, *Pin Hole* merupakan *defect* yang paling dominan dengan jumlah 425 unit atau sebesar 64,20% dari total *defect* selama periode Januari–Maret 2026, dan sekaligus memiliki dampak paling signifikan terhadap kualitas produk karena berpotensi menyebabkan kegagalan *leak test* pada *heat exchanger*. *Defect Pin Hole* ditetapkan sebagai *Critical to Quality (CTQ)* penelitian ini. Metode FMEA yang diterapkan terbukti mampu digunakan secara efektif untuk mengidentifikasi dan menganalisis tingkat risiko pada proses *brazing* secara sistematis dan terukur. Melalui penilaian tiga parameter utama, yaitu *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)*, penelitian ini berhasil menghitung nilai *Risk Priority Number (RPN)* untuk sebelas *failure mode* yang teridentifikasi dari hasil analisis *Fishbone diagram* dan *Root Cause Analysis (RCA)* berdasarkan pendekatan 6M. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat risiko antar *failure mode* bervariasi cukup signifikan, mulai dari RPN tertinggi sebesar 432 hingga RPN terendah sebesar 75, sehingga metode ini memberikan dasar kuantitatif yang jelas dalam menentukan urutan prioritas penanganan, alih-alih hanya mengandalkan penilaian kualitatif atau intuisi lapangan semata. Berdasarkan hasil perhitungan dan pemeringkatan RPN, diperoleh bahwa *failure mode* "temperatur torch tidak stabil" merupakan risiko dengan prioritas tertinggi (RPN = 432), diikuti oleh "operator belum konsisten mengikuti SOP" (RPN = 336), "posisi torch tidak sesuai standar" (RPN = 288), serta "permukaan material kotor" dan "parameter waktu pemanasan tidak konsisten" yang masing-masing memperoleh RPN sebesar 240. Temuan ini mengindikasikan bahwa akar permasalahan *defect Pin Hole* bersifat *multifaktor*, melibatkan kombinasi faktor mesin (kestabilan temperatur dan kondisi *nozzle*), manusia (kepatuhan terhadap SOP dan konsistensi teknik kerja), metode (standarisasi parameter waktu dan posisi kerja), serta material (kebersihan permukaan sebelum proses), dan bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal. Oleh karena itu, usulan perbaikan yang disusun menggunakan pendekatan 5W+1H turut bersifat multidimensi, mencakup peningkatan kebersihan dan penanganan material sebelum *brazing*, stabilisasi dan kalibrasi parameter mesin secara berkala, standarisasi SOP dan waktu pemanasan, penguatan pengawasan oleh QC dan supervisor, pelatihan operator secara berkala terkait *critical defect Pin Hole*, serta perbaikan kondisi pencahayaan area kerja guna mendukung ketelitian inspeksi visual. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan FMEA yang dipadukan dengan *Fishbone diagram* mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai akar penyebab kegagalan proses *brazing* sekaligus arah prioritas perbaikan yang terukur, sehingga implementasi rekomendasi yang dihasilkan berpotensi menurunkan tingkat *defect Pin Hole* secara signifikan, meningkatkan stabilitas dan konsistensi kualitas proses produksi, serta mengurangi aktivitas *rework* dan *scrap product* pada Line Assembly Heat Exchanger di PT DIID. Sejalan dengan temuan tersebut, perusahaan disarankan untuk memprioritaskan pengendalian kualitas pada tahap-tahap dengan RPN tertinggi, menerapkan SOP secara lebih ketat dan konsisten khususnya pada tahap persiapan material sebelum *brazing*, meningkatkan kegiatan *preventive maintenance* dan kalibrasi mesin secara berkala, serta menyelenggarakan pelatihan operator secara rutin agar pemahaman terhadap proses dan potensi *defect* semakin baik. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan pengembangan analisis dengan mengombinasikan FMEA bersama tools pengendalian kualitas lain seperti *Pareto Analysis* lanjutan, *Root Cause Analysis* yang lebih mendalam, atau pendekatan *Six Sigma*, agar cakupan analisis dan efektivitas usulan perbaikan yang dihasilkan dapat lebih optimal dan terverifikasi secara statistik.

Referensi

1. Z. Mirski, J. Pabian, and T. Wojdat, "Dissolution and erosion phenomena in the brazing of aluminum heat exchangers," *Archives of Metallurgy and Materials*, 2021, doi: 10.24425/amm.2021.136438.
2. S. Adi Kurniawan, "Analisis pengendalian kualitas produk Tigercat 005 menggunakan Fishbone diagram dan FMEA," *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, vol. 3, no. 1, pp. 650–660, Feb. 2026.
3. B. Hanum, "Quality control analysis of metal baseplate finishing process using Statistical Process Control (SPC) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA): A case study of Indonesia company," *International Journal of Scientific and Academic Research*, 2022, doi: 10.54756/ijisar.2022.v2.i6.2.
4. R. K. Hadi, A. Sulaeman, and K. Komarudin, "Pengaruh kualitas produk dan kualitas pelayanan terhadap kepuasan konsumen pada Istiqomah Mart Kabupaten Tangerang," *J-MAS (Jurnal Manajemen dan Sains)*, 2023, doi: 10.33087/jmas.v8i2.1363.
5. F. Novianti and R. Rochmoeljati, "Quality control of edamame products using Statistical Quality Control (SQC) and Failure Mode Effect Analysis (FMEA) methods in PT. XYZ," *IJIEM – Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 2023, doi: 10.22441/ijiem.v4i2.20550.
6. T. N. Sani and Sumiati, "Pengendalian kualitas pengelasan pada project fabrikasi metal duct MBI menggunakan metode SQC dan FMEA," *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 2023, doi: 10.55606/juprit.v3i1.3221.
7. G. A. Putra and N. Fajrah, "Pengendalian kualitas produk pipa di PT. Citra Tubindo Tbk," *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, vol. 4, no. 3, pp. 126–133, 2021.

8. W. Tillmann, T. Henning, L. Wojarski, and C. Timmer, "Finite element modeling and simulation of vacuum brazing processes with a focus on cycle-dependent component distortion," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 128, pp. 2537–2550, 2023, doi: 10.1007/s00170-023-11905-0.
9. T. Trimintarsih, "Fishbone analysis method adaptation in UD Nugraha Jaya Kediri defective products quality control," *Proceedings of Islamic Economics, Business, and Philanthropy*, 2023.
10. B. Hanželič, J. Kralj, T. Bončina, B. Nečemer, J. Kramberger, R. Satošek, and S. Glodež, "Fatigue behaviour of brazed joints for heat exchangers," *Materials*, 2024, doi: 10.3390/ma17020479.
11. M. F. Saffiudeen, A. Syed, and F. T. Mohammed, "Failure analysis of heat exchanger using Internal Rotary Inspection System (IRIS)," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2021, doi: 10.1007/s11668-020-01093-4.
12. A. Suherman and B. J. Cahyana, "Pengendalian kualitas dengan metode Failure Mode Effect and Analysis (FMEA) dan pendekatan Kaizen untuk mengurangi jumlah kecacatan dan penyebabnya," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 16 Okt. 2019.
13. S. A. Dzakirah and K. M. 2, "ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK PLYWOOD METODE STATISTICAL QUALITY CONTROL (SQC) DAN FAULT MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)", *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)* E-ISSN : 2746-0835 Volume 4 No 4 (2024), n.d..
14. N. A. Asfahani, Y. P. Negoro, and Hidayat, "PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK BOGIE DENGAN METODE SIX SIGMA DAN FMEA PADA PT. XYZ", *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)* Volume 8 Nomor 3, Tahun 2025 e-ISSN : 2614-1574 p-ISSN : 2621-3249, n.d..
15. P. Pamungkas, S. Rahayu, and F. E. Putra, "Analisis pengendalian kualitas produk dengan menggunakan metode seven tools dan FMEA di PT. XYZ", Volume 6, Nomor 1, 2025, hlm 70-81 *Jurnal Terapan Teknik Industri* ISSN [print] 2722 3469 | ISSN [Online] 2722 4740, n.d., doi: 10.37373/jenius.v6i1.