

## Identifikasi akar penyebab dan prioritas risiko ketidaksesuaian *air handling unit* (AHU) menggunakan RCA-FMEA terintegrasi

### *Identification of Root Cause and Risk Prioritization of air handling unit (AHU) performance nonconformities using an integrated RCA-FMEA*

Syifa Puspitasari, Silvia Merdikawati\*

\*Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Puspitek, Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

\*Email: [silvia\\_merdika@yahoo.com](mailto:silvia_merdika@yahoo.com)

#### Informasi Artikel

- Histori Artikel
- Artikel dikirim  
17/03/2026
  - Artikel diperbaiki  
16/04/2026
  - Artikel diterima  
21/04/2026

#### Abstrak

Berdasarkan hasil observasi, ketidaksesuaian kinerja *Air Handling Unit* (AHU) pada tahap validasi di PT XYZ masih sering terjadi dan berpotensi menurunkan kualitas lingkungan terkontrol. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab dan menentukan prioritas risiko ketidaksesuaian kinerja AHU menggunakan pendekatan terintegrasi *Root Cause Analysis* (RCA) yaitu *fishbone* dan 5 *Why's* serta *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Penelitian dilakukan melalui studi kasus di PT XYZ dengan metode observasi, wawancara, dan kuesioner kepada tim validasi. Hasil identifikasi menunjukkan empat ketidaksesuaian utama, yaitu *airflow*/ACH tidak sesuai, *Temperature* dan RH tidak tercapai, *pressure* ruangan mengalami penurunan, serta jumlah partikel tidak memenuhi syarat. Analisis FMEA menunjukkan bahwa aktivitas manusia di dalam ruangan merupakan penyebab dominan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 504, diikuti oleh filter udara tersumbat dengan RPN 225, *air balancing* belum dilakukan dengan RPN 243, dan kebocoran pipa *refrigerant* dengan RPN 162. Hasil penelitian menegaskan bahwa faktor operasional dan pengendalian memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja AHU. Hasil penelitian ini merekomendasikan standarisasi prosedur *air balancing*, monitoring *differential pressure*, dan pengendalian personel ruangan terkontrol.

Kata Kunci: *Air Handling Unit; Failure Mode and Effect Analysis; Fishbone; Risk Priority Number; Root Cause analysis.*

#### Abstract

*Based on the observation results, the non-conformity of the performance of the Air Handling Unit (AHU) at the validation stage at PT XYZ still occurs frequently and has the potential to reduce the quality of the controlled environment. This study aims to identify the root causes and determine the priority risk of non-conforming AHU performance using the integrated approach of Root Cause Analysis (RCA), namely fishbone and 5 Why's and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). The research was conducted through a case study at PT XYZ using observation, interview, and questionnaire methods to the validation team. The identification results showed four main discrepancies, namely airflow/ACH was not achieved, Temperature and RH were not achieved, room pressure decreased, and the number of particles did not meet the requirements. FMEA analysis showed that indoor human activities were the dominant cause with the highest Risk Priority Number (RPN) value of 504, followed by clogged air filters with RPN*

225, air balancing that had not been carried out with RPN 243, and refrigerant pipe leaks with RPN 162. The results of the study confirm that operational and control factors have a significant influence on AHU's performance. The results of this study recommend standardization of air balancing procedures, differential pressure monitoring, and controlled room personnel control

*Keywords:* Air Handling Unit; Failure Mode and Effect Analysis; Fishbone; Risk Priority Number; Root Cause analysis.

## 1. Pendahuluan

*Air Handling Unit* (AHU) merupakan salah satu komponen utama dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) yang berfungsi untuk mengatur sirkulasi, filtrasi, serta distribusi udara pada ruang yang dikondisikan, termasuk *temperature*, kelembaban, tekanan udara, aliran udara, dan kualitas udara sebelum udara tersebut disalurkan ke area layanan [1],[2]. Kinerja AHU sangat krusial terutama pada lingkungan industri dan bangunan dengan standar kualitas udara tertentu, karena berpengaruh langsung terhadap kenyamanan, efisiensi energi, serta kualitas proses dan produk yang dihasilkan. Perawatan dan pengelolaan AHU yang tidak optimal dapat menyebabkan penurunan performa sistem serta gangguan terhadap kondisi lingkungan terkontrol [3].

PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dalam layanan pemasangan dan perawatan sistem HVAC. Berdasarkan hasil observasi ditemukan bahwa pada pelaksanaan proses validasi kinerja *Air Handling Unit* (AHU), mencakup pengukuran dan evaluasi terhadap beberapa parameter utama, yaitu *airflow* atau *Air Changes per Hour* (ACH), *Temperature* dan kelembaban, *pressure* ruangan, serta konsentrasi partikel udara. Seiring dengan meningkatnya tuntutan kualitas dan keandalan sistem HVAC, permasalahan ketidaksesuaian kinerja AHU masih sering terjadi di berbagai sektor. Beberapa bentuk ketidaksesuaian yang umum meliputi penurunan tekanan udara, kenaikan *Temperature*, peningkatan kelembaban, serta penyumbatan pada filter udara yang berdampak pada penurunan performa sistem. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja AHU tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis, tetapi juga oleh faktor operasional dan pemeliharaan yang belum optimal.

Penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji kinerja AHU, terutama dari aspek perawatan dan identifikasi kerusakan. Studi mengenai perawatan AHU sebelumnya menekankan pentingnya perawatan rutin seperti pembersihan filter dan *cooling coil* untuk menjaga stabilitas *temperature* dan kualitas udara. Namun, penelitian tersebut masih bersifat deskriptif dan berfokus pada tindakan perawatan tanpa analisis sistematis terhadap akar penyebab permasalahan [3]. Sementara itu, penelitian lainnya yang menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi kerusakan komponen AHU dan menentukan prioritas perawatan berdasarkan nilai risiko. Meskipun demikian, penelitian ini lebih menitikberatkan pada identifikasi kegagalan komponen tanpa mengkaji akar penyebab secara mendalam [4].

Berdasarkan tinjauan tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yaitu belum adanya pendekatan terintegrasi yang mampu mengidentifikasi akar penyebab ketidaksesuaian kinerja AHU secara mendalam sekaligus menentukan prioritas risiko secara sistematis. Sebagian besar penelitian masih menggunakan pendekatan parsial, baik hanya berfokus pada perawatan maupun hanya pada analisis risiko, sehingga belum memberikan solusi komprehensif terhadap permasalahan kinerja AHU.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab dan menentukan prioritas risiko ketidaksesuaian kinerja AHU menggunakan pendekatan terintegrasi *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) serta 5 *Why's*. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan analisis yang lebih komprehensif dengan menggabungkan identifikasi penyebab mendasar dan penilaian tingkat risiko secara kuantitatif. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan terintegrasi RCA-FMEA dalam menganalisis ketidaksesuaian kinerja AHU, yang tidak hanya mampu mengidentifikasi akar penyebab utama

## Identifikasi akar penyebab dan prioritas risiko ketidaksesuaian *air handling unit* (AHU) menggunakan RCA-FMEA terintegrasi

tetapi juga menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko untuk memprediksi masalah sehingga tindakan proaktif dapat diambil untuk memecahkan masalah ini dan dengan demikian mengurangi risiko [5]. Selain itu, penelitian ini memberikan rekomendasi perbaikan yang lebih sistematis dan aplikatif bagi industri dalam meningkatkan keandalan dan kinerja sistem AHU.

### 2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif (*mixed-method*), di mana pendekatan kualitatif digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab ketidaksesuaian kinerja AHU melalui observasi dan wawancara menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) [6], sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk menilai tingkat risiko menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) [7]. Penelitian dilakukan di PT XYZ selama 2 bulan dengan penilaian oleh satu orang senior HVAC engineer (*expert judgment*) berpengalaman lebih dari 10 tahun yang dipilih secara *purposive sampling* [8]. Pendekatan berbasis *expert judgment* ini umum digunakan dalam analisis FMEA untuk menentukan tingkat risiko secara sistematis [8], sehingga analisis tidak dibatasi pada jumlah unit AHU tertentu, melainkan merepresentasikan kondisi umum permasalahan AHU di lingkungan industri. Data diperoleh melalui:

- a. Observasi langsung terhadap kinerja AHU pada tahap validasi
- b. Wawancara terstruktur dengan responden
- c. Kuesioner penilaian risiko (FMEA)

*expert judgment* yang dipilih menggunakan *purposive sampling*, dengan kriteria:

- a. Memiliki pengalaman minimal 2–3 tahun di bidang HVAC/AHU
- b. Terlibat langsung dalam proses *instalasi*, validasi, atau *maintenance* AHU
- c. Memahami kondisi operasional sistem

Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat relevan dan representatif terhadap kondisi aktual di lapangan. Tahapan penelitian dilakukan dengan tahap pertama mengidentifikasi ketidaksesuaian kinerja *Air Handling Unit* (AHU) berdasarkan hasil observasi dan data validasi di lapangan. Pada tahap ini ditentukan jenis-jenis permasalahan yang terjadi, seperti *airflow* tidak sesuai, *temperature* dan kelembaban tidak sesuai, serta penurunan tekanan ruangan.

Tahap kedua adalah analisis akar penyebab (*Root Cause Analysis/RCA*). Pada tahap ini dilakukan identifikasi penyebab utama dari setiap permasalahan menggunakan teknik seperti *Fishbone* Diagram yang memiliki susunan menyerupai kerangka tulang ikan, dengan bagian kepala ikan terletak di sisi kanan [9],[10]. *Fishbone* Diagram dengan pendekatan 5M + 1E (*Man, Machine, Method, Material, dan Environment*) [11] sehingga diperoleh faktor-faktor yang berkontribusi terhadap ketidaksesuaian kinerja AHU [12],[13].

Tahap ketiga adalah identifikasi mode kegagalan (*Failure Mode*) menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Setiap potensi kegagalan diidentifikasi berdasarkan penyebab dan dampaknya terhadap sistem AHU, sehingga diperoleh daftar risiko yang mungkin terjadi. Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), yang diperoleh dari perkalian nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* dengan rumus [14].

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

Penilaian faktor risiko (S, O, D) dengan skala 1 hingga 10 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penjelasan Skala pada FMEA

Parameter	Skala
Severity (S)	1-3: <i>Minor</i>
	4-6: <i>Moderate</i>
	7-10: <i>Critical</i>

Parameter	Skala
<i>Occurrence (O)</i>	1: <i>Rare (&lt;1/100)</i>
	5: <i>Occasional</i>
	10: <i>Frequent (&gt;1/10)</i>
<i>Detection (D)</i>	1: <i>Almost certain</i>
	10: <i>Impossible</i>

Pada [Tabel 1](#) validasi dilakukan menggunakan metode konsensus berbasis rata-rata bobot ahli dengan pengukuran *divergence*, sedangkan prioritas risiko ditentukan menggunakan batas  $RPN > 200$  [15]. Hasil perhitungan *Risk Priority Number (RPN)* digunakan untuk menentukan prioritas risiko yang memerlukan penanganan segera. Mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi selanjutnya dianalisis menggunakan metode 5 *Why's* untuk mengidentifikasi akar penyebab yang paling mendasar secara sistematis [16]. Berdasarkan hasil integrasi analisis *Root Cause Analysis (RCA)*, *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, dan 5 *Why's*, disusun rekomendasi perbaikan yang mencakup tindakan korektif dan preventif. Rekomendasi ini bertujuan untuk menurunkan tingkat risiko ketidaksesuaian kinerja AHU, meningkatkan efektivitas proses validasi, serta mencegah terulangnya permasalahan serupa di masa mendatang.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi permasalahan dilakukan melalui wawancara dengan tim validasi lapangan yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan *commissioning* sistem AHU pada PT XYZ. Ketidaksesuaian yang terjadi tidak hanya berdampak pada satu aspek, tetapi mencakup beberapa parameter utama pada AHU;

**Tabel 2.** Ketidaksesuaian pada proses validasi

No	Ketidaksesuaian pada Proses Validasi
1	<i>Airflow/ ACH (CFM)</i> tidak sesuai
2	<i>Temperature &amp; RH</i> tidak tercapai ( $^{\circ}c$ dan %)
3	<i>Pressure (Pascal)</i> ruangan mengalami penurunan
4	Jumlah partikel tidak memenuhi syarat

Berdasarkan [Tabel 2](#), terdapat empat bentuk utama ketidaksesuaian kinerja AHU pada proses validasi, yaitu ketidaktercapaian *airflow/ACH*, ketidaksesuaian *Temperature* dan kelembaban relatif (RH), penurunan tekanan ruangan, serta jumlah partikel yang tidak memenuhi persyaratan. Keempat parameter tersebut merupakan indikator utama dalam sistem AHU yang saling berkaitan, di mana ketidaktercapaian *airflow* dapat memengaruhi distribusi udara dan nilai ACH, yang selanjutnya berdampak pada kestabilan *Temperature* dan kelembaban. Selain itu, penurunan tekanan ruangan menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara aliran udara masuk dan keluar, yang berpotensi menyebabkan kontaminasi silang. Kondisi ini juga diperparah oleh tingginya jumlah partikel, yang mengindikasikan bahwa sistem filtrasi belum bekerja secara optimal. Oleh karena itu, keempat ketidaksesuaian tersebut saling memengaruhi dan secara keseluruhan dapat menurunkan kualitas lingkungan terkontrol serta kinerja sistem AHU.

#### Analisis *Root Cause Analysis (RCA)*

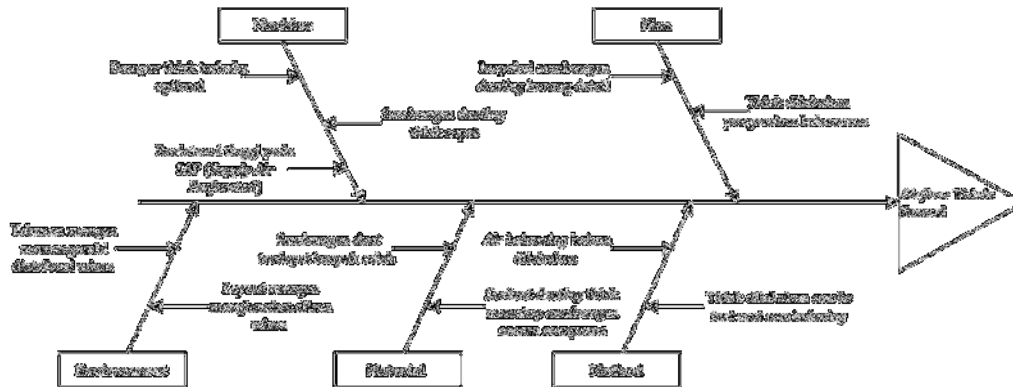
Analisis *Root Cause Analysis (RCA)* dilakukan menggunakan *Fishbone Diagram* (diagram sebab-akibat) dengan pendekatan 5M + 1E, yaitu *Man* (manusia), *Machine* (mesin), *Method* (metode/prosedur), *Material* (bahan), dan *Environment* (lingkungan).

#### *Fishbone* diagram *airflow/ACH* tidak sesuai

Berdasarkan [Gambar 1](#), hasil analisis *Fishbone Diagram* menunjukkan bahwa ketidaksesuaian *airflow* disebabkan oleh kombinasi faktor *man*, *machine*, *method*, *material*, dan *environment* yang saling berkaitan. Faktor dominan berasal dari aspek *method* dan *material*, yaitu belum

Identifikasi akar penyebab dan prioritas risiko ketidaksesuaian *air handling unit* (AHU) menggunakan RCA-FMEA terintegrasi

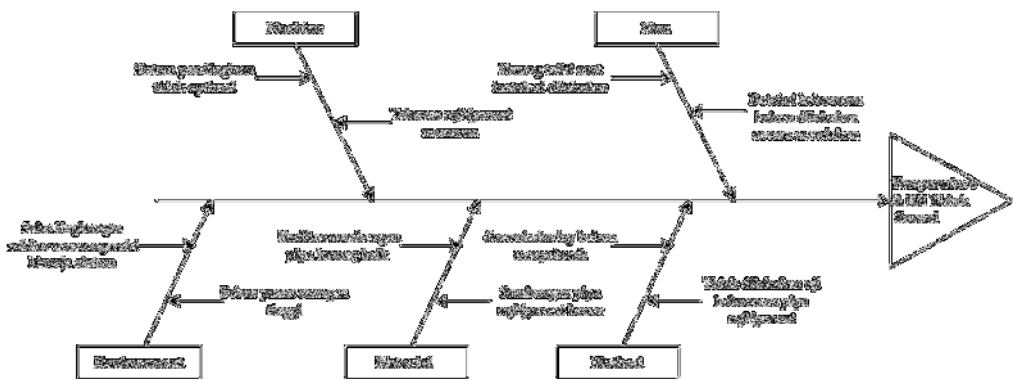
dilakukannya air balancing serta ketidaksempurnaan *sealant* pada sambungan *ducting* yang menyebabkan kebocoran udara. Selain itu, faktor *machine* seperti damper yang tidak terbuka optimal dan tingginya resistansi aliran udara turut memperbesar kehilangan *airflow*. Dari sisi *man*, kurangnya inspeksi detail dan tidak dilakukannya pengecekan kebocoran memperparah kondisi tersebut. Sementara itu, faktor *environment* seperti tekanan dan *layout* ruangan juga memengaruhi distribusi udara. Kombinasi faktor-faktor ini menunjukkan bahwa permasalahan *airflow* tidak hanya disebabkan oleh satu aspek teknis, tetapi merupakan hasil interaksi antara kesalahan operasional, instalasi, dan kondisi lingkungan, sehingga diperlukan pendekatan perbaikan yang terintegrasi.



Gambar 1. Fishbone diagram kehilangan airflow

Fishbone diagram *temperature* dan RH tidak tercapai

Berdasarkan Gambar 2, ketidaksesuaian *temperature* dan RH disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor, yaitu pada aspek *man* kurangnya ketelitian instalasi dan deteksi kebocoran, pada aspek *method* proses *commissioning* yang belum menyeluruh serta tidak dilakukannya uji kebocoran pipa *refrigerant*, pada aspek *machine* penurunan tekanan *refrigerant* yang menurunkan kapasitas pendinginan AHU, dan pada aspek *material* kualitas sambungan pipa *refrigerant* yang kurang baik sehingga terjadi kebocoran. Selain itu, faktor *environment* berupa tingginya beban panas ruangan dan pengaruh suhu lingkungan turut memperberat kinerja sistem, sehingga *temperature* dan RH tidak dapat dikendalikan sesuai set point.

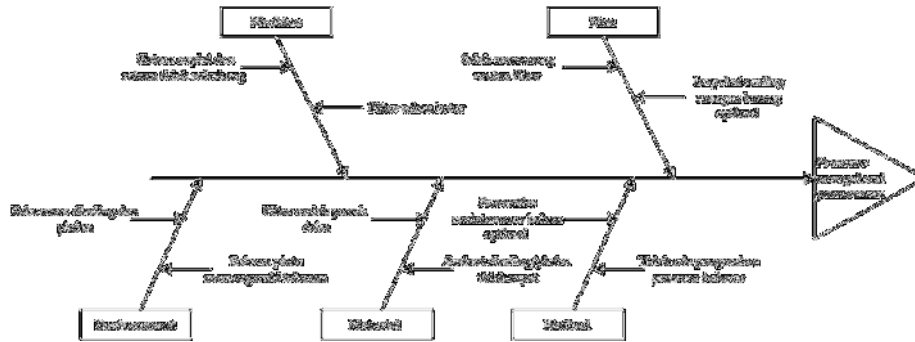


Gambar 2. Fishbone diagram temperature dan RH tidak tercapai

Fishbone diagram *pressure (Pascal)* ruangan mengalami penurunan

Berdasarkan Gambar 3, *Pressure* ruangan mengalami penurunan disebabkan oleh berbagai faktor, yaitu pada aspek *man* kesalahan pemasangan urutan filter dan kurang optimalnya inspeksi sealing, pada aspek *method* belum optimalnya *preventive maintenance* serta tidak adanya pengecekan *pressure balance* secara rutin, pada aspek *machine* ketidakseimbangan sistem *supply* dan *return* udara serta kondisi filter yang kotor, pada aspek *material* filter yang jenuh debu dan

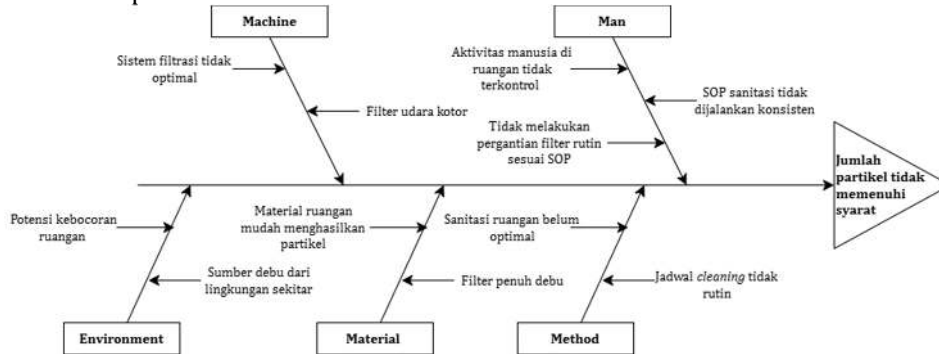
sealant dinding maupun plafon yang tidak rapat, serta pada aspek *environment* kebocoran ruangan dan aktivitas buka-tutup pintu yang mengganggu stabilitas tekanan ruangan.



Gambar 3. Fishbone diagram pressure mengalami penurunan

Fishbone diagram partikel udara tidak memenuhi persyaratan

Berdasarkan Gambar 4, ketidaksesuaian jumlah partikel udara disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pada aspek *man* aktivitas manusia yang tidak diimbangi dengan pengendalian akses, prosedur kebersihan, dan pergantian filter sesuai SOP, pada aspek *method* sanitasi ruangan yang belum optimal akibat jadwal *cleaning* yang tidak rutin, pada aspek *machine* sistem filtrasi yang tidak optimal dan kondisi filter udara yang kotor, pada aspek *material* filter yang jenuh debu serta kebocoran ruangan yang memungkinkan partikel masuk tanpa filtrasi, serta pada aspek *environment* kebocoran ruangan dan sumber debu dari lingkungan sekitar yang meningkatkan risiko kontaminasi partikel.



Gambar 4. Fishbone diagram jumlah partikel tidak memenuhi syarat

### 3.2 Analisis risiko dengan *Failure mode and Effect Analysis* (FMEA)

Analisis dilanjutkan menggunakan metode FMEA untuk menentukan prioritas risiko dari setiap mode kegagalan. Penilaian dilakukan dengan menentukan nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) berdasarkan hasil kuesioner

Tabel 3. Perhitungan *risk priority number* (RPN)

Failure Mode	Failure Effect	Failure Cause	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN
Airflow tidak sesuai	Sambungan ducting bocor	ACH tidak tercapai	9	3	7	189
	Resistansi tinggi pada SAP	Debit udara berkurang	3	2	8	48
	<i>Air balancing</i> belum dilakukan	Aliran tidak optimal	9	3	9	243
Temperature & RH tidak tercapai	Kebocoran pipa refrigerant	Temperature tidak tercapai	9	2	9	162

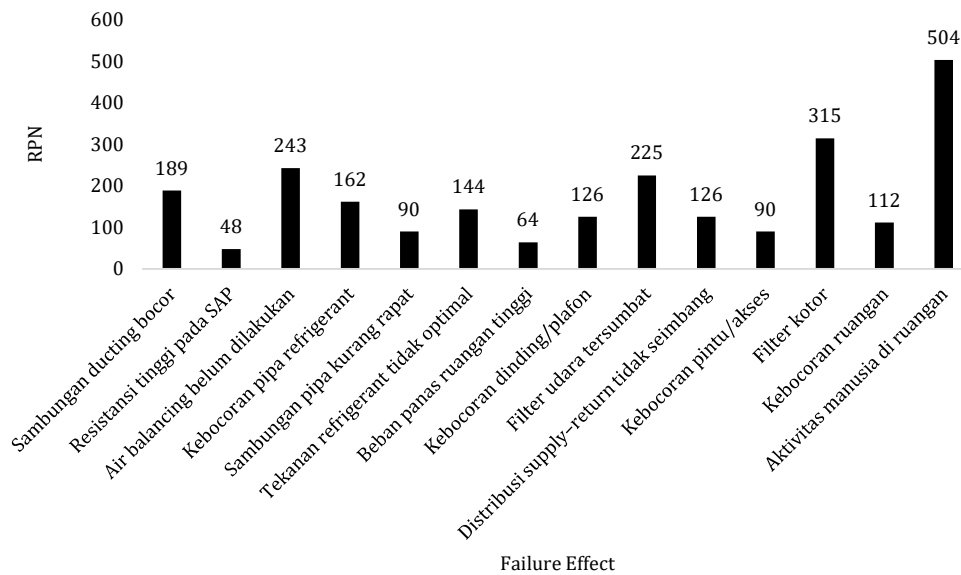
Identifikasi akar penyebab dan prioritas risiko ketidaksesuaian *air handling unit* (AHU) menggunakan RCA-FMEA terintegrasi

<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure Cause</i>	<i>Severity (S)</i>	<i>Occurrence (O)</i>	<i>Detection (D)</i>	RPN
	Sambungan pipa kurang rapat	RH tidak stabil	9	2	5	90
	Tekanan <i>refrigerant</i> tidak optimal	Pendinginan tidak maksimal	9	2	8	144
	Beban panas ruangan tinggi	Sistem bekerja berat	8	2	4	64
	Kebocoran dinding/plafon	Kontaminasi udara	9	2	7	126
<i>Pressure ruangan mengalami penurunan</i>	Filter udara tersumbat	Aliran terhambat	9	5	5	225
	Distribusi <i>supply-return</i> tidak seimbang	Tekanan tidak stabil	9	2	7	126
	Kebocoran pintu/akses	Udara keluar masuk	9	2	5	90
Partikel ruangan tidak memenuhi syarat	Filter kotor	Efisiensi filtrasi turun	9	5	7	315
	Kebocoran ruangan	Masuknya partikel luar	8	2	7	112
	Aktivitas manusia di ruangan	Peningkatan partikel	9	8	7	504

Berdasarkan Tabel 3, hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) menunjukkan bahwa aktivitas manusia di dalam ruangan menjadi penyebab paling dominan dengan nilai RPN tertinggi sebesar 504, yang berdampak pada peningkatan jumlah partikel. Selain itu, faktor lain dengan nilai RPN tinggi adalah filter udara tersumbat (RPN 225) dan belum dilakukannya *air balancing* (RPN 243), yang berkontribusi terhadap ketidaksesuaian *airflow* dan penurunan kualitas distribusi udara. Sementara itu, kebocoran pipa *refrigerant* (RPN 162) dan tekanan *refrigerant* yang tidak optimal (RPN 144) turut memengaruhi ketidaktercapaian *temperature* dan kelembaban. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa faktor operasional, pemeliharaan, dan kondisi sistem memiliki peran signifikan terhadap ketidaksesuaian kinerja AHU, sehingga prioritas perbaikan perlu difokuskan pada faktor dengan nilai RPN tertinggi untuk meningkatkan efektivitas sistem secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil perhitungan FMEA pada gambar 5, diperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang bervariasi untuk setiap *failure mode* yang berkontribusi terhadap ketidaksesuaian kinerja *Air Handling Unit* (AHU). Pada *failure mode* kehilangan *airflow*, nilai RPN tertinggi diperoleh pada penyebab *air balancing* belum dilakukan, dengan nilai RPN sebesar 243. Nilai ini tergolong tinggi karena kegagalan tersebut memiliki tingkat keparahan (*Severity*) yang tinggi akibat dampaknya langsung terhadap distribusi udara dan pencapaian ACH, serta memiliki tingkat deteksi (*Detection*) yang rendah karena ketidakseimbangan aliran udara sering kali tidak teridentifikasi tanpa pengujian khusus.

Pada Gambar 5 *failure mode temperature* dan RH tidak sesuai *set point*, nilai RPN tertinggi diperoleh pada penyebab kebocoran pipa *refrigerant*, dengan nilai RPN sebesar 162. Nilai ini menunjukkan bahwa kebocoran *refrigerant* memiliki dampak yang signifikan terhadap kemampuan sistem pendinginan dalam menjaga *temperature* dan kelembaban ruangan. Sedangkan pada *failure mode* penurunan tekanan ruangan, nilai RPN tertinggi diperoleh pada penyebab filter udara tersumbat, dengan nilai RPN sebesar 225. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi filter udara memiliki pengaruh besar terhadap stabilitas tekanan ruangan, karena filter yang kotor atau tersumbat akan meningkatkan resistansi aliran udara dan mengurangi tekanan efektif di dalam ruangan.



Gambar 5. Diagram nilai RPN failure effect paling dominan

Sementara itu untuk *failure mode* partikel ruangan tidak memenuhi syarat, nilai RPN tertinggi secara keseluruhan diperoleh pada penyebab aktivitas manusia di dalam ruangan, dengan nilai RPN sebesar 504, yang merupakan nilai RPN tertinggi dari seluruh *failure mode* yang dianalisis. Nilai yang sangat tinggi ini disebabkan oleh kombinasi *severity* yang tinggi, *occurrence* yang sangat sering, serta kemampuan deteksi yang rendah terhadap dampak aktivitas manusia terhadap peningkatan partikel udara.

Analisis akar penyebab prioritas dengan 5 *Why's*

Metode 5 *Why's* digunakan untuk menelusuri hubungan sebab-akibat secara berulang dengan mengajukan pertanyaan “mengapa” hingga diperoleh akar penyebab yang bersifat fundamental dan dapat ditindaklanjuti. Analisis 5 *Why's* difokuskan pada *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi pada setiap kelompok permasalahan kinerja AHU. Berdasarkan hasil analisis 5 *Why's* pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa ketidaksesuaian kinerja *Air Handling Unit* (AHU) tidak hanya disebabkan oleh faktor teknis, tetapi juga dipengaruhi oleh kelemahan pada aspek perencanaan, prosedur kerja, serta sistem pengendalian dan pengawasan. Pada permasalahan *airflow* yang tidak sesuai, akar penyebab utamanya adalah belum dilakukannya *air balancing* akibat sistem yang belum siap secara keseluruhan, termasuk *instalasi*, kelistrikan, dan proses *commissioning* yang belum terencana dengan baik. Kondisi ini menjadi faktor dominan karena *air balancing* merupakan tahap krusial dalam memastikan distribusi udara sesuai dengan desain, sehingga tanpa proses ini aliran udara yang dihasilkan tidak dapat mencapai nilai yang dipersyaratkan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa ketidakseimbangan sistem distribusi udara menjadi salah satu penyebab utama penurunan performa HVAC.

Tabel 4. Hasil analisis 5 *Why's*

Potensi Ketidaksesuaian	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
<i>Airflow</i> tidak sesuai	<i>Air balancing</i> belum dilakukan	Kondisi ruangan dan sistem belum siap untuk dilakukan <i>air balancing</i>	Beberapa <i>instalasi</i> mesin, listrik dan <i>finishing</i> ruangan	AHU dan sistem kelistrikan belum dapat dioperasikan	Perencanaan dan penjadwalan <i>commissioning</i> belum disesuaikan

Identifikasi akar penyebab dan prioritas risiko ketidaksesuaian *air handling unit* (AHU) menggunakan RCA-FMEA terintegrasi

Potensi Ketidaksesuaian	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
			belum selesai	secara penuh	dengan kesiapan seluruh sistem dalam ruangan
<i>Temperature &amp; RH</i> tidak tercapai	Kebocoran pipa <i>refrigerant</i>	Sambungan pipa <i>refrigerant</i> tidak rapat	Proses instalasi pipa tidak dilakukan dengan teliti	Pekerja tidak melakukan pemeriksaan ulang setelah pemasangan	Kurangnya pengawasan dan standar inspeksi instalasi <i>refrigerant</i>
<i>Pressure</i> ruangan mengalami penurunan	Filter udara tersumbat	Kondisi filter yang kotor tidak terdeteksi sejak awal	Nilai tekanan diferensial pada <i>differential pressure gate</i> (DPG) tidak dipantau secara rutin	Tidak ada prosedur atau jadwal pemantauan DPG	Kurangnya sistem pengendalian dan pengawasan <i>maintanace filter</i>
Jumlah partikel tidak memenuhi syarat	Terdapat aktivitas manusia yang cukup tinggi di dalam ruangan dan berkontribusi terhadap pelepasan partikel dari pergerakan, pakaian, dan peralatan kerja	Pengendalian aktivitas personel di dalam ruangan belum dilakukan secara optimal, seperti pembatasan jumlah personel dan pengaturan alur keluar masuk	SOP terkait kontrol personel dan kebersihan ruangan belum diterapkan secara konsisten, serta kurangnya pengawasan terhadap kepatuhan SOP	Pengawasan terhadap kepatuhan SOP masih lemah	Belum adanya sistem pengendalian dan evaluasi rutin yang terstruktur terkait kebersihan ruangan, pergantian filter, serta disiplin personel selama operasional

Sementara itu, pada ketidaktercapaian *temperature* dan RH, penyebab utamanya mengarah pada kebocoran pipa *refrigerant* yang dipicu oleh kualitas instalasi yang kurang teliti serta lemahnya proses inspeksi dan pengawasan. Adapun penurunan tekanan ruangan disebabkan oleh filter udara yang tersumbat, yang berakar dari tidak adanya sistem *monitoring* dan pemeliharaan rutin seperti pemantauan *differential pressure*. Sementara itu pada permasalahan jumlah partikel tidak memenuhi syarat dikarenakan lemahnya penerapan SOP kebersihan dan pengendalian aktivitas personel. Oleh karena itu, tindakan perbaikan yang direkomendasikan perlu difokuskan pada penguatan prosedur *commissioning*, peningkatan standar *inspeksi* dan *monitoring*, serta penerapan sistem pengendalian operasional yang konsisten guna mencegah terulangnya

ketidaksesuaian kinerja AHU. Berdasarkan hasil temuan akar penyebab prioritas masalah, dapat dilakukan rekomendasi perbaikan sebagai berikut:

- a. Peningkatan perencanaan dan penjadwalan *commissioning dengan air balancing* hanya setelah seluruh *instalasi* mekanikal, elektrik, sistem AHU, serta kondisi ruangan dinyatakan siap beroperasi secara penuh untuk memastikan hasil pengujian kinerja akurat.
- b. Standarisasi prosedur inspeksi instalasi dengan menetapkan *checklist* inspeksi wajib pada pemasangan *ducting* dan pipa *refrigerant*, termasuk pemeriksaan ulang sambungan dan uji kebocoran sebelum proses *commissioning*.
- c. Penerapan monitoring tekanan dan filter udara dengan melakukan pemantauan rutin terhadap nilai *differential pressure gauge* (DPG) sebagai indikator kondisi filter serta menetapkan jadwal pembersihan dan penggantian filter secara berkala.
- d. Penguatan SOP *commissioning* dan validasi dengan menyusun dan menerapkan SOP *commissioning* terintegrasi yang mencakup tahapan pemeriksaan sistem, pengujian kinerja, serta dokumentasi hasil validasi.
- e. Pengendalian aktivitas personel di ruangan terkontrol dengan membatasi jumlah personel, mengatur alur keluar-masuk ruangan, serta meningkatkan disiplin penggunaan *clean room* dan prosedur kebersihan untuk mengendalikan sumber partikel.
- f. Peningkatan pengawasan dan evaluasi operasional menggunakan pengawasan dan evaluasi secara rutin selama tahap *instalasi, commissioning*, dan awal operasional untuk memastikan seluruh parameter AHU tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, ketidaksesuaian kinerja *Air Handling Unit* (AHU) dipengaruhi oleh kombinasi faktor operasional, teknis, dan lingkungan. Hasil analisis FMEA mengidentifikasi bahwa aktivitas manusia di dalam ruangan menjadi faktor paling dominan dengan nilai RPN tertinggi sebesar 504, yang menyebabkan peningkatan jumlah partikel dan ketidakterpenuhannya standar kebersihan udara. Selain itu, faktor lain yang signifikan adalah belum dilakukannya *air balancing* serta kondisi filter yang tidak optimal, yang berdampak pada ketidaksesuaian *airflow* dan tekanan ruangan. Analisis lanjutan menggunakan 5 *Why's* menunjukkan bahwa permasalahan utama berkaitan dengan kelemahan pada proses *commissioning*, pengawasan operasional, dan penerapan prosedur kerja. Oleh karena itu, perbaikan difokuskan pada penguatan proses *commissioning*, peningkatan *monitoring* parameter kritis, serta pengendalian aktivitas personel. Penerapan rekomendasi ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan kinerja AHU dan mencegah terulangnya ketidaksesuaian pada proses validasi berikutnya.

#### Referensi

- [1] I. P. O. S. Wijaya and I. A. Atmika, "Perancangan Air Handling Unit (AHU) sebagai energi alternatif dalam penghematan energi listrik pada pendingin ruangan (AC)," *Jurnal Bakti Saraswati (JBS): Media Publikasi Penelitian dan Penerapan Ipteks*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [2] A. S. Al-Jehani and S. Y. Abed, "Reliability Centered Maintenance Applied on HVAC System," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 11, no. 7, 2022.
- [3] M. Y. Al Zabal and H. S. Utama, "Perawatan AHU (Air Handling Unit) pada sistem pendinginan di Hotel S Jakarta," *Jurnal Serina Abdimas*, vol. 2, no. 2, pp. 703–709, 2024. <https://doi.org/10.24912/jsa.v2i2.29299>
- [4] M. I. Ramadhan, J. Sumarjo, F. C. Suci, and D. T. Santoso, "Analisis kerusakan mesin AHU menggunakan pendekatan metode Failure Mode and Effect Analysis," *ROTOR*, vol. 14, no. 2, pp. 49–53, 2021. <https://doi.org/10.19184/rotor.v14i2.26460>
- [5] R. Saputra and D. T. Santoso, "Analisis kegagalan proses produksi plastik pada mesin cutting di PT. FKP dengan pendekatan Failure Mode and Effect Analysis dan diagram Pareto," *Barometer*, vol. 6, no. 1, pp. 322–327, 2021. <https://doi.org/10.35261/barometer.v6i1.4516>

- [6] D. Christian, A. Sutrisno, and J. Mende, "Penerapan metode Root Cause Analysis (RCA) untuk menentukan akar penyebab keluhan konsumen," *Jurnal Poros Teknik Mesin UNSRAT*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [7] H. Mryanto and R. Yulian, "Analisis pengendalian kualitas beton K500 menggunakan QCC dan FMEA untuk mengurangi defect kemasan," *JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 214–224, 2026. <https://doi.org/10.37373/jenius.v7i1.2209>
- [8] Y. Handayani, N. A. Achsan, and F. Ardiansyah, "Compliance risk analysis in the internal supervision by government internal supervisory apparatus (APIP)," *Owner: Riset dan Jurnal Akuntansi*, vol. 9, no. 1, pp. 303–309, 2025. <https://doi.org/10.33395/owner.v9i1.2491>
- [9] M. Saekan and E. Ismiyah, "Analisis pengendalian kualitas produk tas ransel menggunakan metode FMEA dan RCA (studi kasus: CV. SMY)," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 585–595, 2026. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v5i1.1690>
- [10] S. Merdikawati, A. B. Pamungkas, and N. M. Sudri, "Analisis penerapan Six Sigma sebagai strategi pengendalian mutu pada produksi lampu kendaraan di PT. XYZ," *Jurnal Industri dan Teknologi Terpadu*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2025. <https://doi.org/10.47080/intent.v8i1.4055>
- [11] B. D. S. Budianto and A. Suryadi, "Analisis penyebab terjadinya overcapacity pada gudang menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA) di PT. XYZ," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 10, no. 2, 2025.
- [12] M. A. Artamonova, F. Debora, and R. Wahyudin, "Analisis kualitas produk ammonium nitrate dengan fishbone dan 5 Why's di PT. X," *JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 11–21, 2026. <https://doi.org/10.37373/jenius.v7i1.1946>
- [13] S. Santoso and I. Apriasty, "Penerapan metode fishbone diagram dan 5 Why's analysis untuk meningkatkan kualitas produk pakaian jadi," *Jurnal Visionida*, vol. 8, no. 2, pp. 27–41, 2022.
- [14] H. I. Madyantoro, A. Adib, R. I. Yaqin, J. P. Siahaan, and B. Barokah, "Penerapan metode FMEA dalam perawatan mesin pendingin kapal penangkap ikan (studi kasus: KM. Sinar Bayu Utama)," *Aurelia Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 97–106, 2022. <https://doi.org/10.15578/aj.v4i1.11349>
- [15] H. Zhang, Y. Dong, J. Xiao, F. Chiclana, and E. Herrera-Viedma, "Consensus and opinion evolution-based failure mode and effect analysis approach for reliability management in social network and uncertainty contexts," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 208, p. 107425, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107425>
- [16] F. R. Zani and H. Supriyanto, "Analisis perbaikan proses pengemasan menggunakan metode Root Cause Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis dalam upaya meningkatkan kualitas produk pada CV. XYZ," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 9, no. 1, pp. 140–146, Oct. 2021.