

Optimasi Rantai Pasok Suku Cadang Kritis Perawatan Pesawat Terbang melalui Penerapan Prinsip *Lean Manufacturing*: Upaya Pengurangan *Aircraft Maintenance Down Time* di Area *Line Maintenance*

Optimizing the Supply Chain for Critical Aircraft Maintenance Parts through the Application of Lean Manufacturing Principles: Efforts to Reduce Aircraft Maintenance Down Time in Line Maintenance Area

Mukhammad Yusuf Hakim¹, Ahmad Gustian Hendra Wijaya², Zaenal Muttaqien³,
Xaverus Johnstone Dapa Ket⁴.

^{1,2,4}Logistik Industri Penerbangan, Politeknik Kirana

³Magister Manajemen Teknologi, Universitas Jenderal Ahmad Yani

¹myusuf.hakim@politeknikkirana.ac.id, ²ahmad.gustian@politeknikkirana.ac.id

, ³zaenal.muttaqien@lecture.unjani.ac.id

ABSTRACT

In the aircraft maintenance process, the timeliness of maintenance is a crucial factor. Given that aircraft are highly sophisticated modes of transportation, the numerous international regulations governing them, coupled with the high cost of aircraft spare parts, lead many airlines (air operators) to pay close attention to the maintenance of their aircraft at aircraft maintenance, repair, and overhaul (MRO) facilities. The availability of spare parts, maintenance support facilities, and their relationship to aircraft operations are key factors for airlines in conducting feasibility tests and evaluations of an aircraft maintenance facility (MRO). Lean Manufacturing is a system adapted from Japan that is considered highly beneficial for many companies, not only in the manufacturing sector but also increasingly in the aviation industry, particularly within aircraft maintenance processes. Many airlines have complained about the length of maintenance processes, which disrupt operations and can even lead to minor and major incidents.

Keywords: *Lean Manufacturing, Aircraft Maintenance, Supply Chain Management, Aviation Logistic.*

ABSTRAK

Dalam melakukan proses perawatan pesawat, ketepatan waktu perawatan pada Pesawat Terbang merupakan faktor yang sangat krusial. Mengingat bahwa pesawat merupakan moda transportasi yang sangat canggih, terdapat sekian banyak aturan Internasional yang menaungi serta mahal nya harga spare part Pesawat Terbang membuat banyak maskapai (*air operator*) yang sangat memperhatikan proses perawatan pesawat mereka pada bengkel perawatan Pesawat Terbang (MRO). Ketersediaan suku cadang, fasilitas penunjang perawatan dan kaitannya dengan operasional Pesawat Terbang menjadi kunci maskapai perlu melakukan uji kelayakan dan evaluasi terhadap suatu bengkel perawatan Pesawat Terbang (MRO). Lean Manufacturing merupakan suatu sistem yang diadaptasi dari Jepang yang dinilai sangat membantu banyak perusahaan tidak hanya di bidang produksi saja namun sudah mulai merambah ke area penerbangan dan khususnya dalam proses perawatan Pesawat Terbang. Maskapai banyak yang mengeluhkan lama nya proses perawatan dan menyebabkan terganggunya operasional bahkan sampai dengan *minor* dan *major incident*.

Kata Kunci: *Lean Manufacturing, Aircraft Maintenance, Supply Chain Management, Aviation Logistic.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia penerbangan yang semakin berkembang, setiap maskapai dituntut untuk dapat bersaing dengan kompetitor lain tetapi tidak ada toleransi terhadap aspek keselamatan. Pada akhirnya maskapai selalu mencari cara bagaimana agar dapat melakukan perawatan armada nya dengan sebaik mungkin dan seefisien mungkin. Salah satu hal yang menjadi pertimbangan dalam suatu perawatan pesawat yakni pada bagian pengadaan suku cadang perawatan Pesawat Terbang.

Banyak faktor yang menjadikan bengkel perawatan Pesawat Terbang (MRO) kian menekan pengeluaran dan mencari solusi terbaik untuk mencapai tingkat efektifitas dan efisiensi yang tinggi, mengingat hampir keseluruhan suku cadang Pesawat Terbang di impor dari luar negeri, dimana banyak sekali faktor eksternal yang dapat menyebabkan kenaikan harga pembelian dari periode ke periode lainnya.

Bengkel perawatan Pesawat Terbang (MRO) berlomba-lomba mencari permasalahan utama yang terjadi pada lini produksinya, untuk dapat melakukan perbaikan secara menyeluruh dan berkelanjutan supaya kedepannya sistem yang handal dapat terbentuk dan menjadikan perusahaan dapat *sustain* di kondisi pasar yang saat ini penuh dengan persaingan.

1.2 Regulasi Kelaikudaraan dan Pengelolaan Suku Cadang Pesawat

Dalam industri penerbangan, pengambilan keputusan logistik terkait suku cadang pesawat tidak dapat dilepaskan dari kerangka regulasi kelaikudaraan yang berlaku. Di Indonesia, Civil Aviation Safety Regulations (CASR), khususnya CASR Part 145, mewajibkan setiap Approved Maintenance Organization (AMO) untuk memastikan bahwa seluruh suku cadang yang digunakan dalam kegiatan perawatan berasal dari sumber yang disetujui, memiliki dokumentasi lengkap, dapat ditelusuri (traceable), serta disimpan sesuai dengan persyaratan pabrikan dan otoritas penerbangan. Ketentuan ini menjadi dasar utama dalam pengelolaan material dan logistik perawatan pesawat.

Kepatuhan terhadap CASR tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga berdampak langsung pada keselamatan penerbangan. Oleh karena itu, keputusan pemilihan warehouse dalam rantai pasok penerbangan harus mempertimbangkan aspek kepatuhan regulasi sebagai faktor utama, khususnya pada kondisi operasional yang bersifat kritis seperti *Aircraft on Ground (AOG)*.

1.3 Aircraft Maintenance Document

- a. *Aircraft Maintenance Manual (AMM)*: Dokumen ini adalah pusat acuan bagi teknisi, *engineer* dan tim pengadaan material. AMM diterbitkan oleh pabrikan pesawat (OEM seperti Boeing atau Airbus). AMM ini berisi instruksi langkah demi langkah tentang cara melakukan perbaikan, inspeksi, penggantian komponen, dan pengujian sistem pada tipe pesawat tertentu. Jika teknisi ingin mengganti ban atau melakukan perbaikan struktur, mereka wajib mengikuti prosedur di dalam AMM.
- b. *Aircraft Logbook (Technical Logbook)*: Merupakan dokumen operasional yang berada di dalam kokpit pesawat setiap saat. Berfungsi untuk mencatat status harian pesawat. Pilot mencatat temuan kerusakan selama penerbangan (pilot report atau PIREP), dan teknisi mencatat perbaikan yang dilakukan untuk menanggapi laporan tersebut. Dokumen ini juga berisi status "bisa terbang" (release) pesawat tersebut sebelum lepas landas.
- c. *Maintenance Planning Document (MPD)*: Merupakan dokumen perencanaan yang menentukan jadwal perawatan pesawat. MPD ini berisikan daftar semua tugas inspeksi yang harus dilakukan berdasarkan jam terbang (flight hours), siklus pendaratan (flight cycles), atau kalender waktu. Ini menjadi dasar bagi tim perencanaan maskapai untuk membuat jadwal check (seperti A-Check atau C-Check).
- d. *Component Maintenance Manual (CMM)*: Manual yang lebih spesifik untuk komponen individual (seperti unit pengereman, pompa hidrolik, atau instrumen elektronik). Jika AMM menjelaskan cara melepas komponen dari pesawat, CMM menjelaskan cara membongkar (overhaul), memperbaiki, dan menguji komponen itu sendiri di bengkel (workshop).
- e. *Airworthiness Directive (AD)*: Berisikan perintah wajib dari otoritas penerbangan (seperti FAA, EASA, atau DGCA Indonesia). AD dikeluarkan jika ditemukan kondisi yang tidak aman pada tipe pesawat tertentu yang harus segera ditangani. Kepatuhan terhadap AD adalah hukum wajib; jika sebuah AD tidak dipenuhi, pesawat dinyatakan tidak layak terbang.
- f. *Service Bulletin (SB)*: Dokumen pemberitahuan dari pabrikan (OEM) mengenai rekomendasi peningkatan, perbaikan, atau perubahan desain. Berbeda dengan AD, SB bersifat opsional kecuali jika otoritas penerbangan mewajibkannya atau jika maskapai memutuskan bahwa peningkatan tersebut diperlukan untuk efisiensi/keamanan operasional.
- g. Form 8130-3 (*Airworthiness Approval Tag*): Dokumen yang sangat penting dalam manajemen material. Form ini merupakan "sertifikat kelahiran" atau "paspor" bagi suku cadang pesawat.

Dokumen ini membuktikan bahwa komponen tersebut diproduksi atau diperbaiki sesuai dengan standar regulasi yang berlaku. Tanpa dokumen ini, suku cadang tidak boleh dipasang pada pesawat.

- h. *Structural Repair Manual* (SRM): Manual khusus untuk perbaikan bagian fisik/bodi pesawat. Memberikan batasan apa yang diperbolehkan untuk diperbaiki pada struktur pesawat (misalnya, seberapa besar penyok atau retakan yang boleh didiamkan atau harus ditambal/patch) tanpa mengurangi integritas struktur pesawat.
- i. *Master Minimum Equipment List* (MMEL) & MEL: Daftar perlengkapan yang boleh rusak atau tidak berfungsi namun pesawat tetap diizinkan terbang untuk durasi waktu tertentu. Fungsi dari dokumen ini adalah untuk memberikan panduan kepada pilot dan teknisi mengenai status sistem pesawat. Misalnya, jika satu lampu baca di kursi penumpang mati, pesawat tetap bisa terbang dengan batasan tertentu selama sistem vital lainnya berfungsi normal.

1.4 Peran Warehouse dalam Sistem Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO)

Dalam konteks *Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO)*, *warehouse* berfungsi sebagai simpul strategis dalam rantai pasok perawatan pesawat. Warehouse bertanggung jawab terhadap penyimpanan, pengendalian, dan distribusi suku cadang yang digunakan dalam kegiatan perawatan. MRO harus memastikan bahwa seluruh aktivitas tersebut memenuhi ketentuan CASR Part 21 terkait sertifikasi produk dan CASR Part 43 terkait pelaksanaan perawatan Pesawat Terbang.

Pemilihan warehouse dalam sistem MRO tidak semata-mata didasarkan pada efisiensi biaya, tetapi juga harus mempertimbangkan keandalan dokumentasi, keamanan penyimpanan, serta kemampuan distribusi yang cepat dan tepat. Hal ini menjadi semakin krusial pada situasi AOG, di mana keterlambatan distribusi suku cadang dapat menyebabkan gangguan operasional dan kerugian finansial yang signifikan.

1.5 Aircraft on Ground (AOG) dan Dampaknya terhadap Rantai Pasok

Aircraft on Ground (AOG) merupakan kondisi di mana pesawat tidak dapat dioperasikan akibat kerusakan teknis, ketidaktersediaan suku cadang, atau menunggu tindakan perawatan tertentu. Kondisi ini berdampak langsung terhadap kinerja operasional maskapai dan MRO. Bazargan (2016) menyatakan bahwa satu kejadian AOG dapat menimbulkan kerugian finansial mulai dari ribuan hingga jutaan dolar per hari, tergantung pada jenis pesawat dan tingkat intensitas operasi.

Dalam konteks rantai pasok penerbangan, warehouse tidak hanya berperan sebagai fasilitas penyimpanan, tetapi juga sebagai pusat respons strategis dalam situasi darurat AOG. Warehouse yang tepat harus mampu menjamin kecepatan distribusi, kepatuhan terhadap regulasi kelaikudaraan, serta keamanan dan ketertelusuran suku cadang pesawat (Bazargan, 2016). Oleh karena itu, penentuan lokasi dan pemilihan warehouse menjadi faktor kunci dalam meminimalkan waktu henti pesawat.

1.6 Proses dan Tahapan dalam Perawatan Pesawat Terbang

Dalam perawatan Pesawat Terbang terdapat beberapa tahapan yang harus di lalui sebuah maskapai untuk sampai ke proses akhirnya yakni laik terbang. Tahapan tersebut diantaranya:

- a. Fase *Initial Meeting*: Dilakukan pada saat awal sebelum proyek dimulai, tahapan ini dilakukan oleh maskapai dan bengkel perawatan Pesawat Terbang (MRO), pembahasan dilakukan untuk mengetahui jenis perawatan, peralatan yang akan digunakan, material, jumlah tenaga kerja, dan lain sebagainya.
- b. Fase *Preliminary*: Tahapan ini dilakukan setelah *initial meeting* dilakukan. Dalam tahapan ini pesawat yang akan dilakukan perawatan diperiksa terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi awal ketika pesawat datang. Proses ini biasanya dilakukan di dalam hangar dan di lakukan oleh teknisi atau *engineer* terkait. Dilakukan juga proses pendokumentasian untuk memastikan bahwa pesawat masuk dalam kondisi aslinya sehingga tidak akan ada komplain apabila di kemudian hari ada abnormalitas yang terjadi di pesawat tersebut.
- c. Fase *Removal*: Proses selanjutnya setelah dilakukan *preliminary*, dilakukan fase *removal* atau pembongkaran pesawat di area-area tertentu sesuai dengan referensi manual pesawat tersebut dan jenis perawatan yang dilakukan.

- d. Fase *Installation*: Suatu proses yang dilakukan setelah proses perawatan pesawat dinyatakan selesai, dalam tahapan ini dilakukan proses pemasangan kembali *access panel*, *component*, dan lainnya sebelum dilakukan tes operasional oleh *engineer* terkait.
- e. Fase *Operational Check / Test*: Tes / Pengecekan operasional ini dilakukan oleh *engineer* atau teknisi dibawah pengawasan *engineer*, guna mengetahui apakah suatu sistem atau suku cadang yang sudah terpasang dapat bekerja dengan sesuai.
- f. *Aircraft Return to Service*: Pada tahapan akhir ini pesawat telah dinyatakan siap untuk terbang dan dipergunakan kembali untuk operasional oleh maskapai.

1.8 Pengadaan Suku Cadang Perawatan Pesawat Terbang

Proses pengadaan suku cadang dalam proses perawatan Pesawat Terbang memang sangat kompleks. Mulai dari tahapan, dokumen dan proses yang banyak dapat menyebabkan terjadinya keterlambatan dan perubahan harga. Secara umum, alur pengadaan suku cadang pesawat mengikuti tahapan berikut:

- a. Identifikasi Kebutuhan (*Demand Planning*): Berawal dari tim teknik yang melakukan perencanaan perawatan berdasarkan *Maintenance Planning Document* (MPD) atau hasil inspeksi saat pesawat berada di hanggar. Jika ditemukan komponen yang perlu diganti, teknisi akan melakukan permintaan melalui sistem informasi (seperti SAP atau sistem ERP lainnya).
- b. Pengecekan Inventaris: Sistem akan mengecek apakah suku cadang tersedia di gudang (*warehouse*). Jika tersedia, barang langsung disiapkan. Jika tidak, proses pengadaan luar dimulai.
- c. Pemilihan Pemasok (*Sourcing*): Departemen pengadaan (*Procurement*) menghubungi pemasok, baik itu *Original Equipment Manufacturer* (OEM) seperti Boeing/Airbus atau distributor resmi yang tersertifikasi. Dalam tahap ini, spesifikasi teknis dan validasi sertifikat kelaikan udara (seperti *Form 8130-3*) menjadi prioritas utama.
- d. Pembelian dan Kontrak: Penerbitan *Purchase Order* (PO) kepada vendor yang dipilih. Pihak maskapai atau MRO (seperti GMF AeroAsia) sering kali memiliki kontrak jangka panjang untuk memastikan prioritas pasokan.
- e. Logistik dan *Customs Clearance*: Suku cadang dikirim melalui jasa kargo udara. Karena mayoritas suku cadang diimpor, proses kepabeanan (bea cukai) menjadi titik kritis yang memengaruhi waktu tunggu (*lead time*).
- f. Penerimaan dan Inspeksi (*Receiving Inspection*): Saat barang tiba di gudang, dilakukan verifikasi fisik dan dokumen oleh personel berwenang. Barang yang tidak memiliki dokumen sertifikasi lengkap tidak akan diterima dan tidak boleh dipasang pada pesawat.
- g. Penyimpanan dan Distribusi: Barang disimpan sesuai standar lingkungan (suhu/kelembapan) sebelum akhirnya dikeluarkan untuk digunakan oleh teknisi di lapangan.

Dari keseluruhan proses tersebut ada beberapa departemen yang terlibat di dalamnya yakni:

- a. Departemen Teknik / *Maintenance Planning*: Bertindak sebagai *user* yang mendefinisikan apa yang dibutuhkan, kapan dibutuhkan, dan spesifikasi teknis komponennya.
- b. Departemen *Procurement* (Pengadaan): Bertanggung jawab mencari vendor, menegosiasikan harga, mengelola kontrak, dan memastikan lead time sesuai dengan kebutuhan.
- c. Departemen Gudang (*Warehouse* / Logistik): Mengelola penyimpanan, melakukan inspeksi penerimaan, serta memastikan dokumen sertifikasi (seperti *Airworthiness Approval Tag*) tersimpan dengan benar.
- d. Departemen Keuangan (*Finance*): Mengatur pembayaran, anggaran pengadaan, dan memastikan kepatuhan pajak (seperti PPh Pasal 22 untuk kegiatan impor).
- e. Departemen *Quality Assurance and Safety* (QAS): Memastikan semua vendor dan suku cadang yang masuk memenuhi regulasi keselamatan penerbangan (CASR/FAA/EASA). QA memiliki hak untuk menolak material jika tidak sesuai standar.
- f. Departemen Impor/Ekspor: Mengurus perizinan dan kepatuhan terhadap regulasi bea cukai agar suku cadang dapat segera keluar dari area pabean bandara.

1.8 Sistem ERP dalam Industri MRO

Dalam aspek sistem kontrol untuk proses perawatan pesawat perusahaan menggunakan beberapa *Enterprise Resource Planning* (ERP) diantaranya:

- a. E-MRO: Merupakan platform manajemen perawatan pesawat berbasis web (ERP) dari Trax. Sistem ini mengintegrasikan rekayasa, perencanaan, inventaris, kualitas, dan keuangan menjadi satu ekosistem digital untuk membantu maskapai penerbangan dan industri perawatan pesawat (*Maintenance, Repair, and Operations* atau MRO) mengelola siklus operasional mereka secara efisien.
- b. N-Gen System: Digunakan untuk pelacakan pengiriman barang dari gudang, bandara dan hangar terkait dan dioperasikan oleh seseorang yang di tugaskan sebagai admin sistem tersebut.
- c. *Online Spreadsheet*: Merupakan sistem cadangan sebelum permintaan barang diinput ke sistem online baik itu E-MRO maupun N-Gen System.

1.9 Penerapan Lean Manufacturing dalam Perawatan Pesawat Terbang

a. Sejarah Lean Manufacturing:

Lean Manufacturing berakar dari Toyota Production System (TPS) yang dikembangkan di Jepang pasca-Perang Dunia II oleh Taiichi Ohno dan Eiji Toyoda. Konsep ini muncul sebagai respons atas keterbatasan sumber daya di Jepang saat itu, sehingga fokus utamanya adalah meminimalkan limbah (*waste*) atau *muda* tanpa mengurangi nilai bagi pelanggan. Istilah "Lean" sendiri pertama kali dipopulerkan oleh James Womack, Daniel Jones, dan Daniel Roos dalam buku mereka tahun 1990, *The Machine That Changed the World*, yang mendokumentasikan keunggulan produksi Toyota dibandingkan sistem produksi massal tradisional. **Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Rawson Associates. (Referensi utama sejarah dan prinsip Lean).**

b. Konsep dan Prinsip Lean Manufacturing

Konsep inti Lean adalah memaksimalkan nilai pelanggan (*value*) dengan meminimalkan pemborosan. Terdapat 5 prinsip dasar menurut Womack dan Jones:

- Specify Value: Menentukan apa yang benar-benar bernilai bagi pelanggan (misal: pesawat harus siap terbang tepat waktu).
- Map the Value Stream: Memetakan seluruh langkah proses, dari bahan mentah hingga ke tangan pengguna, dan mengidentifikasi langkah yang tidak memberikan nilai tambah.
- Create Flow: Memastikan proses berjalan lancar tanpa hambatan atau antrean (*bottleneck*).
- Establish Pull: Produksi/pengadaan hanya dilakukan saat dibutuhkan oleh proses berikutnya (*just-in-time*), bukan berdasarkan prediksi stok berlebih (*push*).
- Seek Perfection (*Kaizen*): Melakukan perbaikan berkelanjutan untuk terus menghilangkan pemborosan. **Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Rawson Associates. (Referensi utama sejarah dan prinsip Lean).**

Tujuh Pemborosan (7 Wastes): Transportasi, Inventaris berlebih, Gerakan berlebih, Waktu tunggu, Kelebihan proses, Produksi berlebih, dan Cacat produk.

c. Kaitannya dalam Pengadaan Suku Cadang Pesawat

Dalam perawatan pesawat (MRO), Lean diterapkan untuk mengatasi tantangan biaya tinggi dan urgensi ketersediaan barang.

- Mengurangi Inventaris (*Inventory Waste*): Suku cadang pesawat sangat mahal. Dengan prinsip Pull, perusahaan dapat mengurangi stok mati (*dead stock*) yang menumpuk di gudang, namun tetap memastikan Part tersedia saat dibutuhkan melalui kerja sama dengan vendor yang responsif.
- Mengatasi Waktu Tunggu (*Waiting Waste*): Lead time yang panjang dalam pengadaan sering menyebabkan pesawat harus Ground (*AOG - Aircraft on Ground*). Lean membantu menyederhanakan proses administratif dan customs clearance agar suku cadang segera tersedia bagi teknisi.

- Standardisasi: Dengan memetakan value stream, proses inspeksi barang (yang tadinya birokratis) bisa dioptimalkan tanpa melanggar regulasi keselamatan, sehingga teknisi tidak perlu menunggu lama untuk mulai bekerja.
- Preventing Defects: Lean menekankan quality at the source, memastikan bahwa sejak dari vendor, suku cadang sudah memenuhi standar (dengan sertifikat yang benar), sehingga tidak terjadi penolakan saat pemeriksaan di gudang yang membuang waktu dan biaya.

d. Jenis-jenis perawatan pada pesawat

Perawatan pesawat memiliki 2 jenis yakni terjadwal (*scheduled maintenance*) dan tidak terjadwal (*unscheduled maintenance*). Penjelasan rincinya adalah sebagai berikut:

Scheduled Maintenance adalah perawatan yang telah direncanakan sebelumnya berdasarkan:

- Flight Hours (FH)
- Flight Cycles (FC)
- Calendar Time (hari, bulan, tahun)
- Program Maintenance yang disetujui regulator

Tujuannya adalah mencegah terjadinya kerusakan dan menjaga airworthiness pesawat.

Jenis	Deskripsi Singkat
Transit Check	Pemeriksaan singkat saat pesawat transit sebelum penerbangan berikutnya
Daily Check	Pemeriksaan harian kondisi pesawat
Weekly Check	Pemeriksaan mingguan yang lebih detail
Service Check	Pemeriksaan berkala sistem dan komponen tertentu
A Check	Dilakukan setiap beberapa ratus FH/FC
C Check	Pemeriksaan mendalam terhadap struktur dan sistem pesawat
IL Check (Intermediate Layover)	Pemeriksaan antara A dan C Check (tergantung operator)
Structural Inspection	Pemeriksaan struktur pesawat secara berkala
Engine Shop Visit (Planned)	Perawatan mesin yang direncanakan
Landing Gear Overhaul	Overhaul landing gear berdasarkan interval tertentu
Component Replacement Program	Penggantian komponen berdasarkan life limit

Perawatan di Airbus 330:

Check	Interval (Estimasi)
Transit Check	Setiap penerbangan
Daily Check	24–48 jam
A Check	500–800 FH
C Check	18–24 bulan
Landing Gear Overhaul	8–10 tahun
Engine Overhaul	Sesuai LLP/FH

Unscheduled Maintenance adalah perawatan yang dilakukan karena adanya:

- Kerusakan
- Malfunction
- Defect
- Pilot Report
- Technical Log Entry

- Komponen gagal berfungsi

Perawatan ini tidak direncanakan sebelumnya.

Jenis-jenis *unscheduled maintenance*:

Jenis	Deskripsi Singkat
Corrective Maintenance	Perbaikan setelah terjadi kerusakan
Breakdown Maintenance	Perbaikan akibat kegagalan komponen
Troubleshooting	Identifikasi penyebab kerusakan
Defect Rectification	Perbaikan defect yang ditemukan
MEL Rectification	Perbaikan item yang tercantum dalam MEL
AOG Maintenance	Penanganan Aircraft on Ground
Emergency Maintenance	Perbaikan akibat kondisi darurat
Component Replacement	Penggantian komponen yang rusak
Structural Repair	Perbaikan kerusakan struktur
Bird Strike Inspection	Inspeksi akibat tabrakan burung

2 METODOLOGI

2.1 Metodologi Pengambilan Data

1. **Value Stream Mapping (VSM) Workshop:** Mengumpulkan perwakilan tiap departemen untuk memetakan alur proses dari *request* hingga *installation*.
2. **Time Study & Lead Time Analysis:** Mengukur waktu (durasi) di setiap titik transisi antar departemen dan mencari sumber permasalahan utama.
3. **Interview & Observasi:** Melakukan wawancara mendalam terkait kendala (*pain points*) yang menghambat kelancaran proses.
4. **ERP Data Extraction:** Menarik data histori transaksi selama 1-2 tahun terakhir.

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengambilan data langsung ke operasional baik dengan melibatkan user, pengamatan dan pengambilan data melalui sistem yang ada di perusahaan. Setiap pengambilan data dilakukan dengan cara *real time* dan se akurat mungkin, supaya data yang dihasilkan nantinya dapat memberikan gambaran secara langsung kondisi nyata di lapangan.

Pengambilan data dilakukan di beberapa departemen terkait untuk melakukan analisa secara menyeluruh ke proses pengadaan suku cadang Pesawat Terbang. Departemen terkait seperti yang sudah disebutkan pada bagian dengan rincian sebagai berikut:

Departemen	Data yang Perlu Diambil	Kaitannya dengan 5 Langkah Lean
a. Teknik / Planning	Data <i>Unscheduled Maintenance</i> , <i>MEL/MMEL usage</i> , <i>forecast</i> kebutuhan suku cadang kritis.	Specify Value: Menentukan apa yang benar-benar kritis agar pesawat tidak <i>AOG</i> .
b. Procurement	<i>Lead time</i> vendor, harga, histori keterlambatan vendor, daftar <i>Approved Vendor List</i> .	Establish Pull: Memastikan <i>replenishment</i> sesuai kebutuhan nyata, bukan stok berlebih.
c. Gudang / Logistik	<i>Stock turnover ratio</i> , akurasi stok (<i>cycle count</i>), durasi <i>picking & issuing</i> .	Create Flow: Menghilangkan hambatan di gudang agar material cepat sampai ke teknisi.
d. Keuangan	Biaya <i>holding</i> inventaris, biaya <i>AOG</i> , nilai modal tertahan di stok mati.	Specify Value: Fokus pada efisiensi biaya tanpa mengorbankan <i>safety</i> .

e. QAS	Data <i>Rejected Parts</i> saat <i>receiving</i> , sertifikasi vendor yang kadaluwarsa, durasi inspeksi.	Seek Perfection: Mengurangi <i>rework</i> dan <i>waste</i> akibat dokumen tidak lengkap.
f. Impor/Ekspor	Durasi <i>Customs Clearance</i> , biaya denda keterlambatan, frekuensi <i>hold</i> dokumen di bea cukai.	Map the Value Stream: Mengidentifikasi <i>bottleneck</i> paling besar dalam rantai pasok.

2.2 Data Set:

Data set yang digunakan untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

Variabel	Simbol
Flight Hours	X1
Flight Cycles	X2
Open Work Order	X3
Inventory Level	X4
Material Request	X5
Picking Time	X6
Waiting Time	X7
Transportation Time	X8
Defect Rate	X9
Open MEL Airframe	X10
Open MEL Avionic	X11
Open MEL Cabin	X12

Kemudian dari data setiap departemen diatas dilakukan analisa dan menghasilkan temuan bahwa proses yang paling banyak menimbulkan waste selama proses perawatan pesawat di area kerja Line Maintenance A330 adalah departemen teknik / planning dan gudang / logistik. Sehingga fokus penelitian berpusat pada dua departemen tersebut.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Masalah

Dalam konsep LeanManufacturing menentukan *value* awal sebagai acuan analisa merupakan hal yang sangat krusial. Dari identifikasi masalah ditemukan beberapa aspek yang mempengaruhi proses rantai pasokan dan distribusi suku cadang Pesawat Terbang yang terhambat. Setelah dilakukan pengambilan data dan observasi. Maka diketahui bahwa dua departemen yakni teknik / planning dan gudang / logistik menyumbang nilai error terbesar dalam proses perawatan di area *line maintenance* A330. Pengamatan dilakukan sebanyak 15 kali pada beberapa area departemen terkait.

Data pekerjaan paling banyak adalah pekerjaan berkaitan dengan MEL di area berikut:

Area	Estimasi Jumlah MEL	Persentase Penggantian Spare Part
Airframe	50–80	25%
Avionic	80–120	15%
Cabin	150–250	60%
Total	280–450	100%

Hasil Pengamatan Tahap 1:

Jenis Waste	Objek Pengamatan	Lama
Transportation	Perpindahan material berulang dari gudang ke staging area	120
Inventory	Overstock MEL component	45
Motion	Petugas warehouse berjalan terlalu jauh mencari part	180

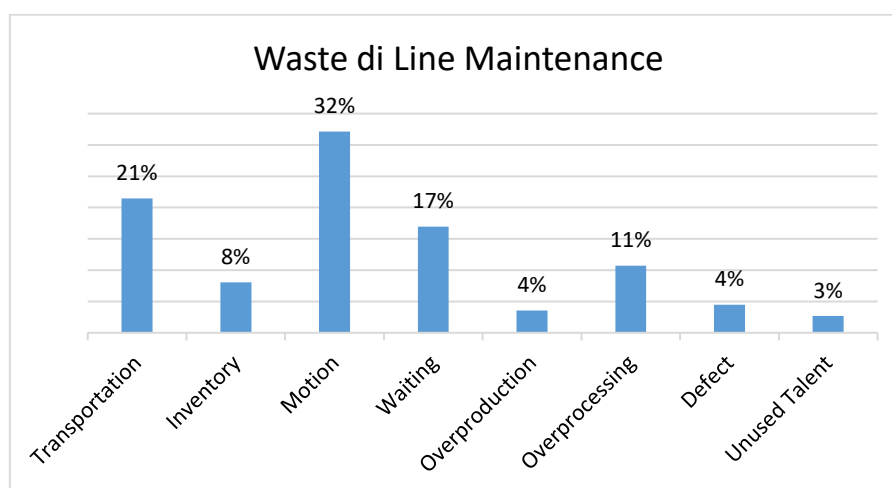
Waiting	Teknisi menunggu spare part	99
Overproduction	Pengeluaran material lebih banyak dari kebutuhan WO	20
Overprocessing	Pemeriksaan dokumen berulang	60
Defect	Salah picking part number	24
Unused Talent	Operator tidak dilibatkan dalam improvement	15

Analisa dari pengamatan 1:

Jenis Waste	Prosentase
Transportation	21%
Inventory	8%
Motion	32%
Waiting	17%
Overproduction	4%
Overprocessing	11%
Defect	4%
Unused Talent	3%

Waste Assessment Model (WAM):

Waste	Total Kejadian	Persentase (%)	Ranking
Motion	180	31,97%	1
Transportation	120	21,31%	2
Waiting	99	17,58%	3
Overprocessing	60	10,66%	4
Inventory	45	7,99%	5
Defect	24	4,26%	6
Overproduction	20	3,55%	7
Unused Talent	15	2,66%	8
Total	563	100%	



B. Identifikasi Penyebab

1. Diketahui bahwa area waste didominasi oleh pekerjaan yang melibatkan irisan antara teknik / *planning* dengan proses gudang dan pengiriman.

2. Permasalahan paling banyak muncul ketika terdapat area kerja yang berbeda, jauh dan komunikasi yang tidak terintegrasi dengan baik. Dimana penyebab utamanya adalah sistem kerja yang masih manual dan belum terintegrasi dengan baik.
3. Di area teknik / *planning* error banyak terjadi mana kala teknisi / *engineer* melakukan permintaan material dan ada kesalahan pada *input* ke sistem ERP. Sehingga menyebabkan seringnya logistik berulang.
4. Proses pengambilan barang, transportasi, waktu tunggu dan *non value added* / *non necessasry value added* banyak terjadi.
5. *Waste* paling dominan adalah: *motion*, *transporatation* dan *waiting*.

C. Output yang dihasilkan

Dari hasil penelitian dan pengamatan diketahui bahwa identifikasi *process activity mapping* dan perhitungan *process efficiency* sebagai berikut:

Identifikasi *Process Activity Mapping*:

Aktivitas	Waktu (menit)	Kategori
Material Request	5	VA
Approval Request	15	NVA
Mencari Lokasi Part	18	NVA
Picking Part	12	VA
Packing	10	VA
Menunggu Transport	15	NVA
Pengiriman ke Hanggar	10	VA
Verifikasi Penerimaan	5	NNVA
Aktivitas	Waktu (menit)	Kategori

Rekap data PAM:

Kategori	Total Waktu
Value Added (VA)	37
Necessary Non Value Added (NNVA)	5
Non Value Added (NVA)	48
Total Lead Time	90

Hitung *Process Efficiency* nya:

$$PCE = \frac{VA}{Total\ Lead\ Time} \times 100\%$$

$$PCE = \frac{37}{90} \times 100\% = 41,1\%$$

Interpretasi nilai PCE:

Nilai PCE	Kategori
< 30%	Sangat Buruk
30–50%	Perlu Perbaikan
50–70%	Baik
> 70%	World Class

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai PCE masih dalam kategori perlu perbaikan dan memiliki peluang yang cukup besar.

Hasil Akhir:

Langkah awal yang harus diambil perusahaan MRO adalah dengan melakukan analisa budget yang dimiliki, bersamaan dengan langkah selanjutnya yang akan diambil. Hal ini sangat menentukan sampai mana perbaikan ini dapat dilakukan dan dalam periode apa akan dilakukan evaluasi dan perbaikan menyeluruh.

Apabila telah diketahui bahwa budget yang dimiliki cukup besar dan dapat diaplikasikan maka saran perbaikannya adalah sebagai berikut:

1. Periksa proses 5S/R di area *warehouse* langkah ini perlu dilakukan di awal agar lebih paham, sampai mana perbaikan dan investasi baru akan dimulai.
2. Terapkan sistem baru dengan identifikasi setiap material pesawat yang digunakan dengan lebih akurat, lalu masukkan ke sistem dan mulai menggunakan barcode atau RFID untuk part krusial dan bernilai tinggi.
3. Keseluruhan sistem seharusnya sudah menggunakan sistem digital terintegrasi dan mudah diakses baik dari perangkat manapun, kapan pun dan dimanapun.
4. Tim perencanaan, teknik dan gudang harus segera menentukan *dedicated AOG Counter* yang dapat digunakan pada saat permintaan pemenuhan perawatan di *Line Maintenance* terjadi lonjakan.
5. *ABC storage layout* perlu di implementasikan agar setiap material yang dibutuhkan mudah dicari dan tidak memakan waktu lama.

Pada akhir dari analisa, setelah perusahaan MRO menerapkan sistem diatas secara menyeluruh dan dibarengi dengan proses pengecekan berkala, hasil akhir perbaikan telah menunjukkan pencapaian *process efficiency* sebanyak 19% dengan data sebagai berikut:

Aktivitas	Waktu (menit)	Kategori
Material Request Digital	1	NVA
Approval Otomatis	2	NVA
Mencari Part	4	NVA
Picking	9	VA
Packing	8	VA
Transport Internal	7	NVA
Receiving Verification	4	VA

$$PCE = \frac{VA}{Total\ Lead\ Time} \times 100\%$$

$$PCE = \frac{21}{35} \times 100\% = 60\%$$

Kategori PCE: **BAIK**

DAFTAR PUSTAKA

- Alsyouf, I. (2007). The Role of Maintenance in Improving Companies' Productivity and Profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70–78.
- James P. Womack, & Daniel T. Jones. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* (2nd ed.). Free Press.
- Jeffrey K. Liker. (2021). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Kinnison, H. A., & Siddiqui, T. (2013). *Aviation Maintenance Management* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Kroes, M. J., Watkins, W. A., Delp, F., & Sterkenburg, R. (2019). *Aircraft Maintenance and Repair* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Martin Christopher. (2016). *Logistics and Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson.
- Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2013). A Framework for Lean Manufacturing Implementation. *Production & Manufacturing Research*, 1(1), 44–64.
- Patton, R. (2018). *Asset Maintenance Management: A Guide to Developing Strategy and Improving Performance*. CRC Press.
- Seth, D., & Gupta, V. (2005). Application of Value Stream Mapping for Lean Operations and Cycle Time Reduction. *Production Planning & Control*, 16(1), 44–59.
- Sherbrooke, C. C. (2004). *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques*. Springer.
- Sunil Chopra, & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.