



Dr. Ellysa Nursanti, ST. MT.
Mayor Tek. R.M. Suaidy Avief, ST. MT.
Sibut, ST. MT.
Mariza Kertaningtyas, ST. MT.

Maintenance Capacity Planning

Efisiensi & Produktivitas



MAINTENANCE CAPACITY PLANNING
Efisiensi & produktivitas

Oleh:

Dr. Ellysa Nursanti, ST. MT.

Mayor Tek. R.M. Suaidy Avief, ST. MT.

Sibut, ST. MT.

Mariza Kertaningtyas, ST. MT.

Dream Litera Buana

Malang 2019

MAINTENANCE CAPACITY PLANNING
Efisiensi & produktivitas

Penulis:

Dr. Ellysa Nursanti, ST. MT.

Mayor Tek. R.M. Suaidy Avief, ST. MT.

Sibut, ST. MT.

Mariza Kertaningtyas, ST. MT.

©Dream Litera Buana

Malang 2019

70 halaman, 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-602-5518-93-5

Diterbitkan oleh:

CV. Dream Litera Buana

Perum Griya Sampurna, Blok E7/5

Kepuharjo, Karangploso, Kabupaten Malang

Email: dream.litera@gmail.com

Website: www.dreamlitera.com

Anggota IKAPI No. 158/JTI/2015

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan pertama, Nopember 2019

Distributor:

Dream Litera Buana

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dipanjatkan kepada Allah SWT, atas semua kasih sayang yang telah dilimpahkan, penyusunan Buku *Maintenance CapacityPlanning* ini dapat terselesaikan dengan baik dan dapat dinikmati oleh pembaca sebagai buku referensi tentang perencanaan kapasitas pemeliharaan.

Buku ini melihat perencanaan kapasitas pemeliharaan dari sudut pandang desain sistemik (Penulis adalah Dosen Pengajar di Institut Teknologi Nasional ITN Malang Program Studi Teknik Industri: Dr. Ellysa Nursanti ST. MT., Mariza Kertaningtyas, ST. MT dan Teknik Mesin: Sibut, ST. MT.) juga dari aplikasinya, dalam hal ini mengambil contoh kasus pemeliharaan pesawat terbang, diwakili oleh Penulis dari TNI AU Abdul Rahman Saleh Malang (Mayor Tek. R.M. Suaidy Avief, ST. MT.). Penulisan kolaborasi lintas bidang ini ditujukan untuk dapat menyajikan literatur yang komprehensif, aplikatif, tepat sasaran, sehingga mudah untuk difahami dan disarikan para pembacanya.

Perencanaan kapasitas pemeliharaan dalam buku ini, difokuskan pada tenaga kerja. Tenaga kerja memegang peranan penting untuk mendukung keberhasilan layanan pemeliharaan, juga untuk memastikan kapasitas pemeliharaan tercapai sesuai target desainnya. Buku ini menggunakan pendekatan formulasi pemodelan matematik untuk menentukan jumlah tenaga kerja dan pembagian tugas sesuai kompetensi dan kualifikasinya sehingga diperoleh produktivitas dan efisiensi maksimum sekaligus.

Buku ini diharapkan dapat memperkaya referensi pembaca mengenai pemeliharaan, perencanaan kapasitas, manajemen operasi, alokasi sumber daya, produktivitas dan efisiensi, juga aplikasi pemodelan matematik serta optimasi. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Malang, Oktober 2019

Dr. Ellysa Nursanti, ST. MT.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar ~ iii

Daftar Isi ~ v

Daftar Gambar ~ vii

Daftar Tabel ~ viii

Bab I. *Maintenance Capacity Planning*~ 1

1.1 *Maintenance*~ 1

1.1.1 Jenis-Jenis *Maintenance*~ 2

1.1.2 Tujuan *Maintenance*~ 6

1.1.3 Fungsi *Maintenance*~ 6

1.1.4 Tugas dan Pelaksanaan Kegiatan *Maintenance*~ 6

1.2 Pengertian Kapasitas~ 8

1.3 Perencanaan Kapasitas~ 10

1.4 Jenis dan Pertimbangan Kapasitas~ 15

1.5 Mengelola Permintaan~ 18

1.6 Manajemen Permintaan dan Kapasitas Bidang Jasa~ 20

Bab II. *Maintenance Staffing*~ 21

Bab III. Efisiensi & Produktivitas~ 23

3.1 Efisiensi~ 23

3.2 Produktivitas~ 23

3.3 Rasio Produktivitas~ 24

3.4 Faktor Yang Mempengaruhi Produktivitas~ 24

3.5 Metode Perhitungan~ 25

Bab IV. Contoh Kasus~ 28

4.1 Deskripsi Sistem~ 28

4.2 Langkah-langkah Pengolahan Data~ 29

4.3 Notasi~ 30

4.4 Formulasi Model~31

4.5 Kondisi Saat Ini~ 40

4.6 Kondisi Usulan~ 46

4.7 Analisis Hasil~ 51

Bab V. Temuan & Diskusi~ 57

Daftar Pustaka~ 61

Glossarium~ 65

Indeks~ 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Giagram Sistem *Maintenance*

Gambar 4.1 Grafik Titik Maksimum Produktivitas

Gambar 5.1. Produktivitas LMT

Gambar 5.2. Produktivitas HMT

Gambar 5.3. Produktivitas Total

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Analisa Hasil

Tabel 4.2 Rasio Data Jumlah Personil dan Produktivitas

BAB I

MAINTENANCE CAPACITY PLANNING

Maintenance capacity planning merupakan perencanaan kebutuhan seluruh sumber daya pendukung untuk memastikan layanan pemeliharaan berjalan sesuai desain kapasitas yang ditargetkan.

1.1. *Maintenance*

Maintenance atau pemeliharaan adalah suatu proses kumpulan berbagai tindakan atau kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menjaga atau memperbaiki suatu produk sampai pada kondisi yang bisa diterima atau dalam kondisi baik. Dalam pembahasan industri, *maintenance* juga dapat diartikan sebagai suatu tindakan pemeliharaan komponen atau mesin dan cara memperbaharui masa pakai ketika dianggap tidak layak pakai atau sudah rusak.

Dalam usaha untuk dapat menggunakan terus mesin/peralatan agar kontinuitas produksi terjamin, maka dibutuhkan beberapa kegiatan pemeliharaan berikut:

- 1) Kegiatan pengecekan.
- 2) Meminyaki (*lubrication*).
- 3) Perbaikan / reparasi atas kerusakan – kerusakan yang ada.
- 4) Penyesuaian / penggantian *spare part* atau komponen.

Terdapat dua jenis penurunan kemampuan mesin/peralatan, yaitu:

- 1) *Natural Deterioration* yaitu menurunnya kinerja mesin/peralatan secara alami akibat keausan pada fisik mesin / peralatan selama waktu pemakaian walaupun penggunaan secara benar.
- 2) *Accelerated Deterioration* yaitu menurunnya kinerja mesin/peralatan akibat tindakan dan perlakuan yang tidak seharusnya dilakukan terhadap mesin / peralatan yang umumnya terjadi karena kesalahan manusia (*human error*) sehingga dapat mempercepat keausan mesin / peralatan.

Masih banyak industri yang menganggap pemeliharaan mesin merupakan hal pemborosan biaya. Padahal, jika mesin tidak dirawat dan kemudian rusak, maka proses produksi menjadi terhambat. Setiap mesin membutuhkan perawatan, jika rusak dan harus diganti, maka biayanya akan jauh lebih mahal daripada biaya perawatan mesin itu sendiri. Maka dari itu, pemeliharaan mesin *preventive* dan *predictive maintenance* akan dapat menghemat atau mengurangi biaya pengeluaran karena selain terhindar dari kerusakan, juga dapat memperpanjang usia mesin yang digunakan.

1.1.1 Jenis-Jenis Maintenance

- 1) *Planned Maintenance* (pemeliharaan terencana)

Planned maintenance adalah pemeliharaan terencana, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun data catatan riwayat mesin / peralatan yang dibutuhkan antara lain laporan permintaan pemeliharaan, laporan pemeriksaan, laporan perbaikan dan

lain-lain. *Planned maintenance* terdiri dari tiga bentuk pelaksanaan yaitu:

a) *Preventive maintenance* (pemeliharaan pencegahan)

Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan fasilitas produksi saat digunakan dalam proses produksi.

b) *Corrective maintenance* (pemeliharaan perbaikan)

Corrective maintenance adalah suatu kegiatan *maintenance* yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau kelalaian pada mesin / peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

c) *Predictive maintenance*

Predictive maintenance adalah tindakan-tindakan *maintenance* yang dilakukan pada tanggal yang ditetapkan berdasarkan prediksi hasil analisa dan evaluasi data operasi yang dapat berupa getaran, *temperature*, vibrasi, *flow rate*, dan lain – lainnya.

2) *Unplanned Maintenance* (Pemeliharaan Tak Terencana)

Unplanned maintenance biasanya berupa *breakdown/emergency maintenance*. *Breakdown/emergency maintenance* (pemeliharaan darurat) adalah tindakan *maintenance* yang dilakukan saat mesin/peralatan tersebut rusak dan tidak dapat berfungsi lagi. Melalui pemeliharaan ini, diharapkan dapat memperpanjang umur mesin/peralatan dan dapat memperkecil frekuensi kerusakan.

3) *Autonomous Maintenance* (Pemeliharaan Mandiri)

Autonomous maintenance atau pemeliharaan mandiri merupakan upaya meningkatkan produktivitas dan efisiensi mesin / peralatan melalui kegiatan-kegiatan yang dilaksanakan oleh operator untuk memelihara mesin/peralatan yang mereka tangani sendiri. Prinsip-prinsip yang terdapat pada 5S, merupakan prinsip yang mendasari *autonomous maintenance*, yaitu:

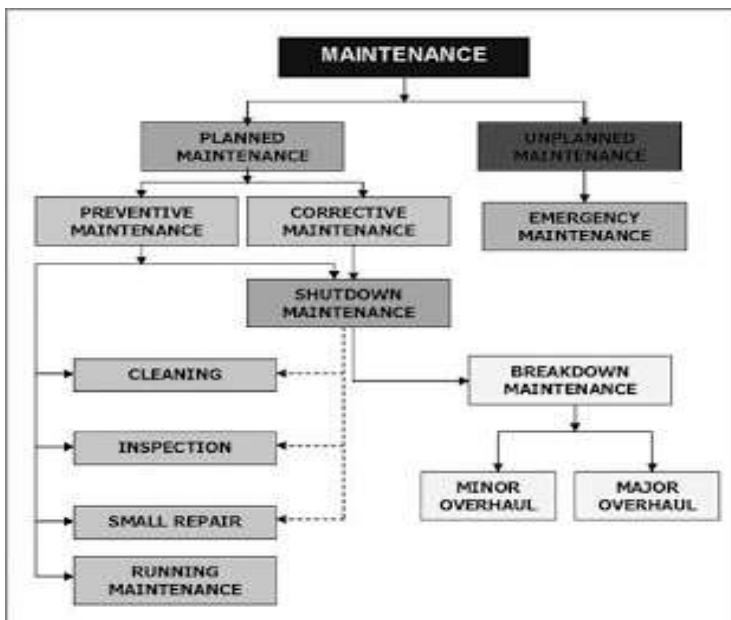
- a) *Seiri (clearing up)*: Menyingkirkan benda – benda yang tidak diperlukan.
- b) *Seiton (organizing)*: Menempatkan benda – benda yang diperlukan dengan rapi.
- c) *Seiso (cleaning)*: Membersihkan peralatan dan tempat kerja.
- d) *Seiketsu (standarizing)*: Membuat standar kebersihan, pelumasan dan inspeksi.
- e) *Shitsuke (training and discipline)*: Meningkatkan *skill* dan moral.

Autonomous maintenance diimplementasikan melalui 7 (tujuh) langkah yang akan membangun keahlian yang dibutuhkan operator agar mengetahui tindakan apa yang harus dilakukan. Tujuh langkah yang terdapat dalam *autonomous maintenance* adalah:

- a) Membersihkan dan memeriksa (*clean and inspect*).
- b) Membuat standar pembersihan dan pelumasan.

- c) Menghilangkan sumber masalah dan area yang tidak terjangkau (*eliminate problem and anaccessible area*).
- d) Melaksanakan pemeliharaan mandiri (*conduct autonomous maintenance*).
- e) Melaksanakan pemeliharaan menyeluruh (*conduct general inspection*).
- f) Pemeliharaan mandiri secara penuh (*fully autonomous maintenance*).
- g) Pengorganisasian dan kerapian (*organization and tidiness*).

Diagram sistem *maintenance* bisa dilihat di Gambar 1.1.



Blok Diagram Sistem Maintenance

Gambar 1.1 Diagram Sistem *Maintenance*

1.1.2 Tujuan *Maintenance*

Menurut Daryus, A., (2008) dalam bukunya "manajemen pemeliharaan mesin" tujuan *maintenance* yang utama adalah sebagai berikut:

- 1) Menganalisa kerusakan sejak dini;
- 2) Memperpanjang kegunaan aset;
- 3) Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat;
- 4) Membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas;
- 5) Mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin;
- 6) Menghindari kegiatan pemeliharaan yang membahayakan keselamatan pekerja;
- 7) Bekerjasama dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan maksimum dengan total biaya minimum.

1.1.3 Fungsi *Maintenance*

Fungsi *maintenance* adalah untuk memperpanjang umur ekonomis dari mesin/peralatan produksi yang ada serta mengusahakan agar mesin/peralatan produksi tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap pakai untuk kegiatan proses produksi.

1.1.4 Tugas dan Pelaksanaan Kegiatan *Maintenance*

Tugas dan kegiatan *maintenance* dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok berikut:

1) Inspeksi (*Inspections*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan dan pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) terhadap mesin / peralatan sesuai dengan rencana.

2) Kegiatan Teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli dan kegiatan pengembangan komponen atau peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian – penelitian terhadap kemungkinan pengembangan komponen atau peralatan juga berusaha mencegah terjadinya kerusakan.

3) Kegiatan Produksi

Kegiatan produksi merupakan kegiatan pemeliharaan memperbaiki seluruh mesin / peralatan produksi.

4) Kegiatan Administrasi

Kegiatan administrasi merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan – pencatatan mengenai *history* kerusakan, biaya-biaya yang terjadi dalam melakukan kegiatan pemeliharaan, penyusunan *planning* dan *schedulling*, yaitu rencana kapan kegiatan suatu mesin/peralatan tersebut harus diperiksa, *diservice* dan diperbaiki.

5) Pemeliharaan Bangunan

Kegiatan pemeliharaan bangunan merupakan kegiatan yang tidak termasuk dalam kegiatan teknik dan produksi dari bagian *maintenance*.

1.2 Pengertian Kapasitas

Kapasitas (*capacity*) adalah hasil produksi (*throughput*), atau jumlah unit yang dapat ditahan, diterima, disimpan, atau diproduksi oleh sebuah fasilitas dalam suatu periode waktu tertentu. Kapasitas mempengaruhi sebagian besar biaya tetap. Kapasitas juga menentukan apakah permintaan dapat dipenuhi, atau apakah fasilitas yang ada, berlebih. Jika fasilitas terlalu besar, sebagian fasilitas akan menganggur dan akan terdapat biaya tambahan yang dibebankan pada produk yang ada atau pelanggan. Jika fasilitas terlalu kecil, pelanggan bahkan pasar keseluruhan dapat hilang. Oleh karenanya, penetapan ukuran fasilitas sangat menentukan tujuan pencapaian tingkat utilisasi dan pengembalian investasi yang tinggi.

- 1) Kapasitas adalah kemampuan pembatas dari unit produksi untuk memproduksi dalam waktu tertentu, dan biasanya dinyatakan dalam bentuk keluaran (*output*) per satuan waktu. Pengertian kapasitas harus dilihat dari tiga perspektif untuk jelasnya, yaitu:
 - a. Kapasitas Desain: Menunjukkan output maksimum pada kondisi ideal dimana tidak ada produk yang rusak atau cacat.
 - b. Kapasitas Efektif: Menunjukkan output maksimum pada tingkat operasi tertentu. Pada umumnya kapasitas efektif lebih rendah dari pada kapasitas desain. Kapasitas efektif sering kali lebih rendah daripada kapasitas desain karena fasilitas yang ada mungkin telah didesain untuk versi

produk sebelumnya atau bauran produk yang berbeda daripada yang sekarang sedang diproduksi.

- c. Kapasitas Aktual: Menunjukkan *output* nyata yang dapat dihasilkan oleh fasilitas produksi. Kapasitas aktual sedapat mungkin harus diusahakan sama dengan kapasitas efektif.

2) Kapasitas menentukan :

- a. Persyaratan modal sehingga mempengaruhi sebagian besar biaya tetap.
- b. Menentukan apakah permintaan dapat dipenuhi atau apakah fasilitas yang ada berlebihan. Jika kapasitas terlalu besar, sebagian fasilitas akan menganggur dan akan terdapat biaya tambahan yang dibebankan pada produksi yang ada.

3) Kapasitas dihitung berdasarkan persamaan (I-1):

$$= (\text{jumlah dari mesin atau pekerja}) \times (\text{jumlah waktu kerja}) \times (\text{efisiensi}) \quad \text{I-1}$$

Perbedaan antara kapasitas dari sebuah organisasi dan permintaan dari seluruh pelanggan adalah mengenai ketidakefisienan, begitu juga ketika sumber daya tidak dapat digunakan maksimum untuk memenuhi permintaan *customer*. Permintaan kapasitas sebuah organisasi bervariasi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh karakteristik produk yang tersedia, kuantitas produksi produk yang tersedia, atau faktor lainnya. Dari sisi penyedia, efektivitas utilisasi kapasitas diukur melalui *overall equipment effectiveness* (OEE). Kapasitas

dapat ditingkatkan melalui penge-nalan teknik baru, peralatan dan bahan, penambahan jumlah tenaga kerja atau mesin, peningkatan jumlah jam kerja, atau penyediaan fasilitas produksi.

1.3Perencanaan Kapasitas

1) Pengertian Perencanaan Kapasitas

Perencanaan kapasitas adalah proses merencanakan kebutuhan kapasitas produksi oleh perusahaan untuk merespon mengantisipasi perubahan permintaan setiap produk.

2) Tujuan Perencanaan Kapasitas

Tujuan perencanaan kapasitas adalah pencapaian tingkat utilitas dan tingkat pengembalian investasi yang tinggi.

3) Perencanaan Kapasitas dilihat dari sudut pandang tiga Horizon waktu:

	Mengubah Kapasitas	Menggunakan Kapasitas
Perencanaan Jangka Panjang	Menambah fasilitas Menambah peralatan	*
Perencanaan Jangka menengah	Subkontrak Menambah peralatan Menambah shift	Menambah karyawan Menambah atau menggunakan persediaan
Perencanaan Jangka Pendek	*	Penjadwalan tugas Penjadwalan karyawan Penjadwalan mesin

* Terdapat pilihan yang sangat terbatas

a. Kapasitas jangka pendek (< 3 bulan)

Perencanaan kapasitas jangka pendek, kurang dari tiga bulan. Ini dikaitkan dengan proses penjadwalan harian atau mingguan dan menyangkut pembuatan penyesuaian–penyesuaian untuk menghapus “*variance*” antara keluaran yang direncanakan dan keluaran nyata. Keputusan perencanaan mencakup alternatif kerja lembur, pemindahan personalia, penggantian routing produksi.

b. Kapasitas jangka menengah (3-18 bulan)

Perencanaan kapasitas jangka menengah (*intermediate range*) rencana-rencana bulanan atau kuartalan untuk 3 sampai 18 bulan yang akan datang. Dalam hal ini, kapasitas juga bervariasi karena alternative–alternative seperti penarikan tenaga kerja, pemutusan kerja.

Pada perencanaan jangka menengah, perusahaan melakukan dua pendekatan, yaitu mengoptimalkan kapasitas yang ada dan mencoba perlahan mengubah kapasitas yang ada. Dalam menggunakan kapasitas, perusahaan dapat melakukan penambahan karyawan atau memainkan persediaan. Sedangkan pendekatan mengubah kapasitas dilakukan dengan subkontrak, menambah peralatan, atau menambah shift.

c. Kapasitas jangka panjang (>1 tahun)

Perencanaan kapasitas jangka panjang (*longtime*) – lebih dari satu tahun, dimana pengadaan sumber daya produktif memakan waktu lama untuk disediakan, seperti bangunan,

peralatan atau fasilitas. Perencanaan kapasitas jangka panjang memerlukan partisipasi dan persetujuan manajemen puncak.

4) Perencanaan Kapasitas Jangka Pendek

Perencanaan kapasitas jangka pendek digunakan untuk menangani secara ekonomis hal-hal yang sifatnya mendadak di masa yang akan datang, misalnya untuk memenuhi permintaan yang bersifat mendadak atau seketika dalam jangka waktu pendek. Kebanyakan perusahaan tidak beroperasi penuh selama 24 jam per hari dan tidak pernah beroperasi penuh tujuh hari per minggu. Jika perusahaan beroperasi penuh delapan jam per hari (satu *shift*) dan lima hari per minggu, maka kapasitas normal jam kerja perusahaan adalah 40 jam per minggu. Namun demikian 40 jam per minggu bukanlah kapasitas maksimum yang dimiliki. Dalam banyak kasus perusahaan dimungkinkan untuk bekerja melebihi kapasitas normal, sehingga kapasitas output maksimumnya lebih dari 40 jam kerja.

Menghadapi kondisi seperti ini, untuk menambah atau menurunkan kapasitas mungkin perusahaan melakukan penambahan dan pengurangan jam kerja, melakukan sub-kontrak dengan perusahaan lain apabila terjadi perubahan permintaan. Untuk meningkatkan kapasitas jangka pendek terdapat lima cara yang umumnya digunakan perusahaan:

- a. Meningkatkan jumlah sumber daya;
 - Penggunaan kerja lembur
 - Penambahan regu kerja

- Memberikan kesempatan kerja secara *part-time*
 - Sub-Kontrak
 - Kontrak kerja
- b. Memperbaiki penggunaan sumber daya:
- Mengatur regu kerja
 - Menetapkan *schedule*
- c. Memodifikasi produk:
- Menentukan standar produk
 - Melakukan perubahan jasa operasi
 - Melakukan pengawasan kualitas
- d. Memperbaiki permintaan:
- Melakukan perubahan harga
 - Melakukan perubahan promosi
- e. Tidak memenuhi permintaan:
- Tidak mensuplai semua permintaan

5) Perencanaan Kapasitas Jangka Panjang

Perencanaan kapasitas jangka panjang merupakan strategi operasi dalam menghadapi segala kemungkinan yang akan terjadi dan sudah dapat diperkirakan sebelumnya. Misalnya, rencana untuk menurunkan biaya produksi per unit, dalam jangka pendek sangat sulit untuk dicapai karena unit produk yang dihasilkan masih berskala kecil, tetapi dalam jangka panjang rencana tersebut dapat dicapai dengan meningkatkan kapasitas produksi. Persoalan yang timbul adalah berapa

jumlah produk yang dihasilkan agar biaya produksi seminimum mungkin.

Dalam kaitan dengan kapasitas jangka panjang, terdapat dua strategi yang dapat ditempuh perusahaan:

a) Strategi melihat dan menunggu (*wait and see strategy*)

Strategi ini dapat dikatakan pula sebagai strategi hati-hati, karena kapasitas produksi akan dinaikkan apabila yakin permintaan konsumen sudah naik. Strategi ini diperoleh dengan pertimbangan bahwa, setiap kali terjadi kelebihan kapasitas perusahaan harus menanggung risiko karena investasi yang dilakukan hanya ditanggung dalam unit yang sedikit, akibatnya biaya produksi menjadi tinggi.

b) Strategi ekspansionis

Strategi ekspansionis yaitu kapasitas selalu melebihi atau diatas permintaan. Dengan strategi perusahaan berharap tidak terjadi kekurangan produk di pasaran yang dapat menyebabkan adanya peluang masuknya produsen lain. Selain itu perusahaan untuk memberikan pelayanan terbaik dengan cara menjamin tersedianya produk di pasaran.

Dalam kaitannya dengan definisi tersebut maka perencanaan kapasitas berusaha untuk mengintegrasikan faktor – faktor produksi untuk meminimasi ongkos fasilitas produksi. Dengan kata lain, keputusan – keputusan yang menyangkut kapasitas produksi harus mempertimbangkan faktor – faktor ekonomis fasilitas produksi tersebut, termasuk di dalamnya efisiensi dan utilitasnya.

Menentukan kebutuhan kapasitas masa depan bisa menjadi prosedur yang rumit, yang sebagian besar didasarkan pada permintaan di masa yang akan datang. Jika permintaan barang dan jasa dapat diramalkan dengan tingkat ketepatan yang memadai, maka penentuan kebutuhan kapasitas dapat langsung dilakukan.

Yang menarik, pertumbuhan permintaan biasanya terjadi secara bertahap dalam unit yang kecil, sementara itu penambahan kapasitas biasanya terjadi secara serentak dan dalam unit yang besar. Pertentangan ini sering menyulitkan perluasan kapasitas.

1.4 Jenis dan Pertimbangan Kapasitas

Didalam perencanaan kapasitas perusahaan terdapat dua macam jenis kapasitas, yakni kapasitas desain dan kapasitas efektif. Kapasitas design merupakan output maksimum sistem teoritis pada periode tertentu. Atau dapat dikatakan sebagai jumlah *output* yang dihasilkan oleh suatu perusahaan setiap harinya. Kapasitas desain biasanya dinyatakan dalam suatu tingkatan tertentu, seperti jumlah produk yang dapat diproduksi setiap minggu, setiap bulan, atau setiap tahun.

Kapasitas efektif adalah kapasitas yang diharapkan dapat dicapai dengan keterbatasan operasi. Kapasitas efektif biasanya lebih rendah daripada kapasitas desain karena fasilitas yang ada mungkin telah dirancang untuk versi produk yang sebelumnya atau bauran produk yang berbeda daripada yang saat ini sedang diproduksi. Hal seperti ini umumnya terjadi pada perusahaan

besar, dimana kapasitas efektifnya lebih kecil daripada kapasitas design, karena perusahaan besar lebih fokus pada produksi dengan *backup* fasilitas dan bahan baku yang melimpah. Namun, hal ini berbeda terjadi pada usaha kecil dan menengah (UKM), dimana kapasitas efektif lebih besar dari kapasitas design.

Dua pengukuran kinerja sistem biasanya bermanfaat yaitu Utilisasi dan Efisiensi. Utilisasi adalah persentase kapasitas desain yang sesungguhnya telah dicapai. Efisiensi adalah persentasi kapasitas efektif yang sesungguhnya telah dicapai. Bagaimana fasilitas digunakan dan dikelola akan menentukan sulit tidaknya mencapai 100% efisiensi. Manajer operasi cenderung dievaluasi pada tingkat efisiensinya. Kunci peningkatan efisiensi sering terdapat dalam perbaikan permasalahan kualitas dan dalam penjadwalan, pelatihan, dan pemeliharaan yang efektif. Utilisasi dan Efisiensi dapat dihitung melalui persamaan (I-2) sebagai berikut:

$$Utilitas = \frac{Output\ Aktual}{Kapasitas\ Desain} \quad (I-2)$$

$$Efisiensi = \frac{Output\ Aktual}{Kapasitas\ Efektif}$$

Melalui tingkat utilitasi dan efisiensi, akan diketahui seberapa jauh perencanaan kapasitas sudah sesuai. Heizer, J., Render, B. dan Munson, C. (2019) merumuskan utilitasi sebagai output aktual dibagi dengan kapasitas design, dan efisiensi diperoleh dari rasio output aktual terhadap kapasitas efektif. Menentukan kebutuhan kapasitas masa depan dapat menjadi prosedur rumit

yang sebagian besar didasarkan pada permintaan di masa mendatang. Jika permintaan barang dan jasa dapat diramalkan dengan tingkat ketepatan yang cukup, maka penentuan kebutuhan kapasitasnya dapat langsung dilakukan. Selain integrasi dan investasi yang ketat, Heizer, J., Render, B. dan Munson, C. (2019) memaparkan empat pertimbangan khusus bagi terciptanya keputusan kapasitas yang baik, yaitu :

1) Ramalkan permintaan secara akurat.

Sebuah peramalan yang akurat merupakan hal yang paling pokok bagi keputusan kapasitas. Apapun produk barunya, prospeknya, dan siklus hidup produk yang ada sekarang haruslah ditentukan. Manajemen harus mengetahui produk yang sedang ditambahkan dan produk yang sedang dihentikan produksinya, begitu juga dengan volume yang diperkirakan.

2) Memahami teknologi dan peningkatan kapasitas.

Jumlah alternatif yang tersedia mungkin cukup banyak, tetapi setelah volume ditentukan, keputusan teknologi diikuti dengan analisis biaya, kebutuhan sumber daya manusia, kualitas, dan kehandalan. Manajer operasi bertanggung jawab terhadap teknologi dan peningkatan kapasitas yang tepat.

3) Temukan tingkat operasi (volume) optimal.

Teknologi dan peningkatan kapasitas kerap menentukan ukuran optimal sebuah fasilitas. Sebagai contoh sebuah bengkel sepeda motormemiliki 7stasiun kerja untuk beroperasi dengan baik. Jika lebih kecil, biaya tetapnya akan memberatkan, sebaliknya jika lebih besar, bengkel tersebut memerlukan manajer lebih dari satu.

4) Dibuat untuk perubahan.

Didalam dunia bisnis yang dinamis, perubahan tidak dapat dia
baikan. Manajer operasi harus dapat
menciptakan fleksibilitas dalam fasilitas dan peralatan.

1.5 Mengelola Permintaan

Walaupun sudah dilakukan peramalan yang baik dan fasilitas yang dibangun sudah sesuai dengan peramalan tersebut, tetap dimungkinkan terjadi ketidaksesuaian antara permintaan aktual dan kapasitas yang tersedia. Ketidaksesuaian ini dapat berarti permintaan melebihi kapasitas atau kapasitas melebihi permintaan. Jika hal ini terjadi, maka berikut adalah beberapa alternative solusi:

1) Permintaan melebihi kapasitas

Jika permintaan melebihi kapasitas, perusahaan dapat membatasi permintaan dengan menaikkan harga, membuat penjadwalan dengan *lead time* yang panjang, dan mengurangi bisnis dengan keuntungan marginal. Walaupun demikian, karena fasilitas yang tidak mencukupi ini mengurangi keuntungan di bawah yang mungkin dapat dicapai, solusi jangka panjang biasanya dilakukan dengan cara meningkatkan kapasitas.

2) Kapasitas melebihi permintaan

Jika kapasitas melebihi permintaan, perusahaan mungkin menginginkan untuk merangsang permintaan melalui pengurangan harga atau pemasaran yang agresif, atau mungkin menyesuaikan diri terhadap pasar melalui perubahan produk.

3) Penyesuaian pada permintaan musiman

Sebuah pola permintaan musiman atau siklus permintaan merupakan tantangan yang lain pada kapasitas. Dalam beberapa kasus, manajemen merasa terbantu jika dapat menawarkan produk dengan pola permintaan yang saling melengkapi yaitu, gabungan produk dimana satu jenis memiliki permintaan tinggi dan jenis lain memiliki permintaan rendah.

Contoh: Perusahaan menambahkan sebuah lini produk mobil salju agar pada saat winter tiba penjualan terhadap produknya tetap bertahan.

Taktik untuk menyesuaikan kapasitas dengan permintaan :

- 1) Mengubah staf yang ada (menambah atau mengurangi jumlah karyawan)
- 2) Menyesuaikan peralatan dan proses, meliputi pembelian mesin tambahan atau menjual atau menyewakan peralatan yang ada.
- 3) Memperbaiki metode untuk meningkatkan hasil produksi
- 4) Mendesain ulang produk untuk meningkatkan hasil produksi
- 5) Menambahkan fleksibilitas proses untuk memenuhi preferensi produk yang berubah secara lebih baik
- 6) Menutup pabrik

1.6 Manajemen Permintaan dan Kapasitas Bidang Jasa

1) Manajemen Permintaan

Setiap industri mengembangkan pendekatannya masing-masing untuk menyesuaikan permintaan dan kapasitasnya. Bisa dengan membuat janji, reservasi, atau aturan “siapa datang lebih dulu, dilayani lebih dulu” (*first come-first served*). Bisa juga melalui variasi diskon: tawaran spesial “siapa cepat dia dapat”, potongan harga untuk jam atau hari ataupun lokasi tertentu. Hal ini dilakukan untuk dapat menyeimbangkan permintaan dan kapasitas yang ada.

2) Manajemen Kapasitas

Saat mengelola permintan tidak mungkin dilakukan, maka mengelola kapasitas melalui perubahan staff penuh waktu, paruh waktu, atau temporer dapat dijadikan pilihan. Dan hal ini banyak dilakukan pada sektor jasa. Sebagai contoh, suatu rumah sakit mendapati kapasitasnya dibatasi oleh kurangnya seorang radiolog bersertifikat yang bersedia lembur, maka dapat diberikan penawaran radiolog paruh waktu untuk melayani permintaan pasien di luar jam kerja regular.

BAB II

MAINTENANCE STAFFING

Perhitungan kebutuhan jumlah tenaga kerja yang kurang tepat, dapat menyebabkan 2 keadaan sebagai berikut:

1. *Over-utilisasi personil*. Pekerja bekerja melebihi kapasitas normalnya.
2. *Under-utilisasi personil*. Pekerja bekerja kurang dari kapasitas normalnya, masih banyak menganggur

Sementara itu, tingkat kompetensi keahlian yang dibutuhkan juga harus dipertimbangkan dengan tepat. Jika tidak, maka dapat mengakibatkan:

1. *Under-utilisasi personil*. Tenaga kerja yang handal bekerja untuk pekerjaan yang ringan.
2. Kompetensi yang tidak sesuai. Teknisi *trainee* mengerjakan pekerjaan yang berat, yang seharusnya dikerjakan oleh tenaga profesional

Sistem pemeliharaan yang dimaksud dalam buku ini adalah sistem pemeliharaan pesawat terbang. Pada kegiatan pemeliharaan ini, terdapat klasifikasi jenis pekerja yang dibagi menjadi 2 kategori, yaitu menurut kebutuhannya dan menurut *skill* atau kualifikasinya.

Untuk kategori personil menurut kebutuhannya, terdapat 2 jenis personil, yaitu:

1. *Duty Crew (DC)*, merupakan jenis pekerja yang memiliki jadwal pekerjaan yang sedang berlangsung dan sedang mengerjakannya.
2. *Non-Duty Crew (NDC)*, merupakan jenis pekerja yang memiliki jadwal pekerjaan akan tetapi sedang tidak mengerjakannya karena menunggu proses pekerjaan lain berlangsung.

Kemudian, klasifikasi personil menurut *skill* atau kualifikasinya dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. *Technicians / Teknisi*, merupakan staff pemeliharaan senior.
2. *Trainee*, merupakan staff *junior* yang baru diterima dan masih dalam masa percobaan

Sementara itu, pemeliharaan dibagi dalam 3 kategori, yaitu ringan, sedang, dan berat (*overhaul*). Untuk simplifikasi model, 3 kategori tersebut dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu:

1. Pemeliharaan tingkat ringan / *Light Maintenance (LM)*.
2. Pemeliharaan tingkat berat / *Heavy Maintenance (HM)*.

BAB III

EFISIENSI & PRODUKTIVITAS

3.1 Efisiensi

Efisiensi adalah kemampuan untuk melakukan suatu kegiatan operasi produksi dengan sebaik-baiknya tanpa menghasilkan pemborosan (*waste*) sumber daya, baik dari sisi waktu, tenaga kerja, material, uang (modal), usaha, energi dsb. Efisiensi adalah perbandingan terbaik antara input dan output, antara keuntungan dengan biaya, antara hasil pelaksanaan dengan sumber-sumber yang digunakan dalam pelaksanaan. Terkait dengan efisiensi kegiatan produksi (*maintenance*) maka persamaan (III-1) berikut dapat digunakan.

$$\text{Persamaan Efisiensi} = \frac{\text{Waktu Produksi Standar}}{\text{Waktu Produksi Aktual}} \quad (\text{III-1})$$

3.2. Produktivitas

Produktivitas merupakan perbandingan antara total pengeluaran pada waktu tertentu dibagi total masukan selama periode tertentu. Produktivitas kerja menunjukkan tingkat kemampuan pegawai dalam mencapai hasil (*output*), terutama dilihat dari sisi kuantitasnya. Produktivitas kinerja merupakan perbandingan antara hasil yang diperoleh (*output*) dengan jumlah sumber daya yang digunakan (Input).

3.3. Rasio Produktivitas

Secara teknik, produktivitas merupakan suatu perbandingan antara *output* dengan *input*. Formula produktivitas dapat dinyatakan pada persamaan (III-2) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Produktifitas} &= \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{O}{I} \text{ atau} & \text{(III-2)} \\ &= \frac{\text{Efektifitas Menghasilkan Output}}{\text{Efisiensi Penggunaan Input}} \end{aligned}$$

3.4. Faktor Yang Mempengaruhi Produktivitas

Pengukuran hanyalah langkah pertama dalam meningkatkan produktivitas. Langkah kedua adalah mengenali faktor yang mempengaruhi produktivitas dan memilih faktor peningkatan yang sesuai pada berbagai situasi tertentu. Faktor yang mempengaruhi produktivitas dibagi menjadi dua klasifikasi besar sebagai berikut :

1) Faktor *Eksternal*

Misalnya, peraturan pemerintah, persaingan dari perusahaan lain, permintaan dan konsumen. Hal itu semua di luar kontrol perusahaan. Dalam beberapa kasus, faktor luar dapat begitu kuat sehingga membuat tidak berartinya langkah manajemen dalam meningkatkan produktivitas.

2) Faktor *Internal*

- a) Tenaga kerja. Mulai dari seleksi dan penempatan, pelatihan, rancangan pekerjaan, struktur organisasi, penyeliaan, penghargaan sasaran (*Management by Objective/MBO*), dan serikat pekerja.
- b) Proses. Terdiri dari pemilihan proses, otomatisasi, aliran proses, dan tata letak.
- c) Produk. Mulai dari riset pengembangan, keragaman produk, dan perekayasaan nilai.
- d) Kapasitas dan persediaan. Mulai dari pembelian bahan, persediaan, dan perencanaan kapasitas.
- e) Mutu. Hal ini sangat berhubungan dengan penyempurnaan kualitas.

3.5. Metode Perhitungan

Pengukuran produktivitas melalui pendekatan rasio output per input adalah pengukuran yang paling sederhana dan mampu menghasilkan tiga ukuran produktivitas sebagai berikut.

1) Produktivitas Parsial (*Partial Productivity*)

Sering juga disebut produktivitas faktor tunggal (*single factor productivity*), yaitu. menunjukkan produktivitas faktor tertentu yang digunakan untuk menghasilkan keluaran. Faktor tersebut dapat dituliskan sebagaiberikut :

- a) Produktivitas bahan baku=berdasarkan rasio *output* terhadap *input* bahan baku.
- b) Produktivitas tenaga kerja=berdasarkan rasio *output* terhadap *input* tenaga kerja
- c) Produktivitas material=berdasarkan rasio *output* terhadap *input* material.
- d) Produktivitas energi =berdasarkan rasio, *output* terhadap *input* energi.
- e) Produktivitas modal = rasio *output* terhadap *input* modal.

Produktivitas parsial pada persamaan (III-3) berikut :

$$\text{Produktivitas Parsial} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Input Bahan Baku}} \quad (\text{III-3})$$

2) Produktivitas Multifaktor (*Multi Factor Productivity*)

Menunjukkan produktivitas *output* bersih terhadap banyaknya *input* modal dan tenaga kerja yang digunakan. *Output* bersih (*net-output*) adalah *output* total dikurangi *output* dalam proses produksi. Jenis *input* yang digunakan dalam pengukuran ini hanya faktor tenaga kerja dan modal saja. Rumus Produktivitas Multifaktor adalah pada persamaan (III-4) sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas Multi Faktor} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Beberapa Masukan}} \quad (\text{III-4})$$

3) Produktivitas Total (*Total Factor Productivity*)

Produktivitas ini menunjukkan produktivitas dari semua faktor yang digunakan untuk menghasilkan *output*. Faktor tersebut adalah bahan baku, tenaga kerja, energi, modal, dan lain-lainnya. Rumus Produktivitas Total dapat dilihat pada persamaan (III-5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Total} &= \frac{\text{Total Keluaran}}{\text{Total Masukan}} && \text{(III-5)} \\ &= \frac{\text{Total Produk}}{\text{Tenaga Kerja} + \text{Bahan Baku} + \text{Energi} + \text{Modal}} \end{aligned}$$

Produktivitas total juga dapat diukur menggunakan rumus pada persamaan (III-6) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Total} &= \frac{\text{Total Keluaran}}{\text{Total Masukan}} && \text{(III-6)} \\ &= \frac{\text{Penjualan} + \text{Persediaan}}{\text{Tenaga Kerja} + \text{Bahan Baku} + \text{Penyusutan} + \text{Investasi}} \end{aligned}$$

Pengukuran berdasarkan pendekatan rasio *output* per *input* dapat menggunakan satuan fisik dari *output* dan *input* (ukuran berat, panjang, isi dan lain-lainnya) atau satuan moneter dari *output* dan *input* (dolar, rupiah, pound sterling, dan lain-lainnya).

BAB IV

CONTOH KASUS

4.1. Deskripsi Sistem

Studi *maintenance capacity level*. Ip, W.H, Chung, N. dan Ho, G. (2010) menggunakan Integer Programming untuk perencanaan kapasitas pemeliharaan pesawat dari sisi personil. Pemeliharaan pesawat terbang membutuhkan jumlah dan kualifikasi kompetensi *staffing* yang tepat. Rodrigo, W.T.S et.al (2016) dalam *paper*-nya yang berjudul *Optimized Manpower Capacity Planning Model for Aviation Industry* menguatkan pernyataannya untuk memperhitungkan kebutuhan jumlah dan kompetensi tenaga kerja untuk pemeliharaan pesawat komersial dan militer. Pemeliharaan pesawat terbang merupakan tugas yang harus dilakukan dengan tepat waktu tanpa adanya penundaan. Oleh karena itu, personil pemeliharaan memiliki tugas besar untuk menyelesaikan tugas pemeliharaan pesawat tertentu sebelum batas waktu yang diminta agar memenuhi jadwal pesawat terbang yang telah ditentukan.

Pada bab ini, pembaca akan diberikan ilustrasi bagaimana menghitung kebutuhan jumlah dan kualifikasi tenaga kerja pemeliharaan pesawat terbang dan menganalisis pencapaian produktivitasnya.

4.2. Langkah-langkah Pengolahan Data

Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data:

1. Menentukan *Decision Variable* (variabel keputusan), dalam hal ini yang disebut dengan variabel keputusan adalah jumlah teknisi pemeliharaan ringan, jumlah teknisi pemeliharaan berat, dan jumlah *trainee*.
2. Menentukan fungsi tujuan $f(x)$, untuk meningkatkan produktivitas tenaga kerja pemeliharaan pesawat terbang.
3. Menyusun model matematik, dengan tahapan sebagai berikut:
 - a. Menghitung Faktor Keramahan Pemeliharaan (*Maintenance Friendliness Factor Calculation*)
 - b. Analisis produktivitas personil (*Manpower Productivity Analysis*)
 - c. Menghitung Ketersediaan Personil (*Manpower Availability Calculation*)
 - d. Menghitung faktor keperluan pemeliharaan (*Maintenance Requirement Factor Calculation*)
 - e. Menghitung Kebutuhan Personil Aktual (*Actual Manpower Requirement Calculation*)
 - f. Analisis perbedaan *LMT & HMT* *LMT & HMT Utilization Disparties*)
 - g. Menghitung Persentase Produktivitas (*Percentage Productivity Calculation*)

4.3. Notasi

Notasi yang digunakan dalam pembahasan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

LM = *Light Maintenance* (Waktu pemeliharaan ringan), dituliskan dalam “jam”

HM = *Maintenance* (Waktu pemeliharaan berat), dituliskan dalam “jam”.

HMFF = *K2, Heavy Maintenance Friendliness Factor* (Faktor keramahan pemeliharaan berat pada jam terbang pesawat).

LMFF = *K1, Light Maintenance Friendliness Factor* (Faktor keramahan pemeliharaan ringan pada jam terbang pesawat).

LMT = *Light Maintenance Technicians* (Teknisi pemeliharaan ringan) dituliskan dalam “orang”

HMT = *Heavy Maintenance Technicians* (Teknisi pemeliharaan berat) dituliskan dalam “orang”.

FH = *Flight Hour*(Jam terbang) dituliskan dalam “jam”

TM = *Total Maintenance Time*(Waktu total pemeliharaan)dituliskan dalam “jam”

TMFF = *K, Total Maintenance Friendliness Factor* (Faktor keramahan waktu total pemeliharaan pada jam terbang pesawat) dituliskan dalam “jam”

LMRF = *Light Maintenance Requirement Factor* (Faktor

kebutuhan pemeliharaan ringan) dituliskan dalam “%”

HMRF = *Heavy Maintenance Requirement Factor* (Faktor kebutuhan pemeliharaan berat) dituliskan dalam “%”.

DC = *Crew* (Personel dalam masa tugas) dituliskan dalam “orang”

NDC = *Non-Duty Crew* (Personel tidak dalam masa tugas)dituliskan dalam “orang”

A = Alokasi *DC* untuk pemeliharaan berat, dituliskan dalam “%”

B = Alokasi *DC* untuk pemeliharaan ringan, dituliskan dalam “%”.

4.4. Formulasi Model

Hubungan antara rasio jam terbang (*FH*) dengan waktu total kebutuhan pemeliharaan pesawat terbang (*TM*) dapat dirumuskan seperti pada persamaan (IV-1) berikut:

$$FH = \left(\frac{1}{K}\right) \times TM \quad (IV-1)$$

Pada persamaan (IV-1) tersebut terdapat *K* yang merupakan faktor keramahan waktu total pemeliharaan pada jam terbang pesawat yang dilambangkan dengan *TMFF* , dimana *TMFF* didapatkan dari persamaan (IV-2) berikut :

$$TMFF = \frac{TM}{FH} \quad (IV-2)$$

Diketahui sebelumnya pada persamaan (IV-2), bahwa TM merupakan penggabungan antara waktu pemeliharaan ringan (LM) dengan waktu pemeliharaan berat (HM). Faktor keramahan pemeliharaan ringan ($LMFF$) didapatkan melalui persamaan(IV-3) berikut:

$$LMFF = K1 = \frac{LM}{FH} \quad (IV-3)$$

Dengan cara yang sama untuk medapatkan persamaan (IV-3), diperoleh $HMFF$ seperti pada persamaan (IV-4) berikut:

$$HMFF = K2 = \frac{HM}{FH} \quad (IV-4)$$

Memperhitungkan sebelumnya $TM = LM + HM$, maka seperti pada persamaan (IV-5) berikut:

$$TMFF = LMFF + HMFF \quad (IV-5)$$

Setelah menghitung faktor keramahan pemeliharaan, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah personil produktif. Dimana jumlah personil produktif dapat diperoleh dengan cara menggunakan persamaan (IV-6) berikut:

Jumlah personil produktif

(IV-6)

$$\begin{aligned} &= \{ \text{Jumlah personil yang dimiliki} \\ &\quad - (\text{Jumlah personel yang dimiliki} \\ &\quad \times \text{Non Value Added time}) \\ &\quad - \text{Jumlah pekerja yang tidak bekerja} \\ &\quad - \text{Jumlah Personil Trainee} \} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan faktor keperluan pemeliharaan. Mengingat bahwa penelitian ini dilakukan untuk pesawat terbang militer, maka perhitungannya dibedakan dari perhitungan untuk pesawat komersial. Pembedanya adalah adanya pertimbangan antara personil yang sedang dalam masa tugas (*DC*) dengan personel yang tidak dalam masa tugas (*NDC*).

Mempertimbangkan bahwa terdapat 2 jenis personil tersebut, maka perlu dihitung berapa faktor kebutuhan pemeliharaan untuk pemeliharaan ringan (*LMRF*) dan pemeliharaan berat (*HMRF*), masing-masing untuk *DC* dan *NDC*.

Perlu diingat, bahwa pada perhitungan faktor kebutuhan terdapat notasi tambahan berupa:

1. Waktu total kebutuhan pemeliharaan ringan per bulan = *LM Hrs. Bulan.*
2. Waktu total kebutuhan pemeliharaan berat per bulan = *HM Hrs. Bulan.*

Kemudian akan dilakukan perhitungan untuk waktu kebutuhan untuk pemeliharaan ringan dan pemeliharaan berat harian. Dengan cara berikut:

1. Untuk *DC*, kebutuhan *HM.Hrs* = $A\% \text{ HM Hrs. Bulan}$
2. Untuk *NDC*, kebutuhan *HM.Hrs* = $(100 - A)\% \text{ HM Hrs. Bulan}$
3. Untuk *DC*, kebutuhan *LM.Hrs* = $B\% \text{ LM Hrs. Bulan}$
4. Untuk *NDC*, kebutuhan *LM.Hrs* = $(100 - B)\% \text{ LM Hrs. Bulan}$

Setelah melakukan perhitungan waktu kebutuhan untuk pemeliharaan ringan dan pemeliharaan berat harian, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk waktu kebutuhan jam kerja personil harian. Dapat dilihat pada persamaan (IV-7) berikut:

$$\text{Waktu kebutuhan jam kerja personil harian DC} = \frac{(LM \text{ Hrs} \times B\% + HM \text{ Hrs} \times A\%)}{\text{Jumlah h hari kerja DC dalam 1 bulan}} \quad (IV-7)$$

Sedangkan untuk personel *NDC* memiliki persamaan (IV-8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Waktu kebutuhan jam kerja personil harian NDC} \\ & = \frac{(LM \text{ Hrs} \times (100 - B)\% + HM \text{ Hrs} \times (100 - A)\%)}{\text{Jumlah h hari kerja NDC dalam 1 bulan}} \quad (IV-8) \end{aligned}$$

Notasi *A* menyatakan alokasi *Duty Crew* untuk pemeliharaan berat, dan *B* menyatakan alokasi *Duty Crew* untuk pemeliharaan ringan. Nilai *A* dan *B* telah ditentukan.

Setelah mengetahui jam kerja yang dibutuhkan setiap jenis personil dan jenis pemeliharaan, selanjutnya akan dilakukan perhitungan kebutuhan jumlah tenaga kerja harian. Jumlah tenaga kerja harian yang dimaksud adalah jumlah tenaga kerja yang siap

untuk melakukan aktivitas pemeliharaan pada hari kerja yang dibutuhkan. Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan (IV-9) berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Jumlah kebutuhan tenaga kerja harian DC} && \text{(IV-9)} \\
 & = \frac{(LM \text{ Hrs} \times B\% + HM \text{ Hrs} \times A\%)}{\text{Jumlah hari kerja DC dalam 1 bulan}} \\
 & && \text{produktivitas harian DC} \\
 & = \frac{\text{waktu kebutuhan jam kerja personel DC}}{\text{produktivitas harian DC}}
 \end{aligned}$$

Sementara itu, untuk *NDC* persamaannya (IV-10) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Jumlah kebutuhan tenaga kerja harian NDC} \\
 & = \frac{(LM \text{ Hrs} \times (100-B)\% + HM \text{ Hrs} \times (100-A)\%)}{\text{Jumlah hari kerja NDC dalam 1 bulan}} \\
 & && \text{produktivitas harian NDC} \\
 & = \frac{\text{waktu kebutuhan jam kerja personel NDC}}{\text{produktivitas harian NDC}} \text{(IV-10)}
 \end{aligned}$$

Setelah mengidentifikasi jumlah kebutuhan tenaga kerja yang dibutuhkan oleh kedua jenis personil yaitu *Duty Crew* dan *Non-Duty Crew* dengan menggunakan persamaan (IV-9) dan (IV-10), selanjutnya diperlukan untuk menghubungkan perhitungan tersebut dengan jenis pemeliharaan yang diterapkan yaitu pemeliharaan ringan (*LM*) dan pemeliharaan berat (*HM*) seperti pada persamaan (IV-11) berikut:

$$\begin{aligned}
& \text{Total kebutuhan tenaga kerja} && \text{(IV-11)} \\
& = \text{Kebutuhan tenaga kerja LM} + \text{Kebutuhan tenaga kerja HM} \\
& = \text{LM Hrs} \left\{ \frac{B\%}{\text{Jumlah hari kerja DC dalam 1 bulan} \times \text{Produktivitas harian DC}} \right. \\
& \quad \left. + \frac{(100 - B)\%}{\text{Jumlah hari kerja NDC dalam 1 bulan} \times \text{Produktivitas harian NDC}} \right\} \\
& + \text{HM Hrs} \left\{ \frac{A\%}{\text{Jumlah hari kerja DC dalam 1 bulan} \times \text{Produktivitas harian DC}} \right. \\
& \quad \left. + \frac{(100 - A)\%}{\text{Jumlah hari kerja NDC dalam 1 bulan} \times \text{Produktivitas harian NDC}} \right\}
\end{aligned}$$

Lm Hrs dan *BM Hrs* merupakan variabel yang nilainya dapat berganti kapan saja menyesuaikan dengan kebutuhan pemeliharaan yang diminta. Tetapi, faktor lain yang terdapat pada persamaan (IV-11) tidak dapat dirubah nilainya dalam waktu yang singkat. Maka persamaan (IV-11) dapat di simplifikasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
& \text{Total kebutuhan tenaga kerja} && \text{(IV-11)} \\
& = \text{Lm Hrs} \\
& \quad \times \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan} \\
& + \text{Hm Hrs} \\
& \quad \times \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan berat} \\
& = \text{Lm Hrs} \times \text{LMRF} + \text{Hm Hrs} \times \text{HMRF}
\end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan hasil persamaan (IV-7),(IV-8),(IV-9),(IV-10), dan (IV-11) untuk perhitungan faktor kebutuhan pemeliharaan kedua jenis pemeliharaan (*LMRF*) dan (*HMRF*) dituliskan seperti persamaan (IV-12) berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan (LMRF)} && \text{(IV-12)} \\
 & = \left\{ \frac{B\%}{\text{Hari kerja satu bulan DC} \times \text{Produktifitas harian DC}} \right. \\
 & \left. + \frac{(100 - B)\%}{\text{Hari kerja satu bulan NDC} \times \text{Produktifitas harian NDC}} \right\}
 \end{aligned}$$

Kemudian persamaan untuk perhitungan faktor kebutuhan pemeliharaan berat dituliskan pada persamaan (IV-13) berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan berat (HMRF)} && \text{(IV-13)} \\
 & = \left\{ \frac{A\%}{\text{Hari kerja satu bulan DC} \times \text{Produktifitas harian DC}} \right. \\
 & \left. + \frac{(100 - A)\%}{\text{Hari kerja satu bulan NDC} \times \text{Produktifitas harian NDC}} \right\}
 \end{aligned}$$

Semua perhitungan kebutuhan personil memiliki hubungan dengan total jumlah personil dan durasi pekerja dalam mengerjakan pemeliharaan. Sementara itu, dalam situasi aktual para personel memiliki kemungkinan untuk meninggalkan atau melalaikan pekerjaannya yang dapat menyebabkan kurangnya jumlah personil yang tersedia pada hari itu. Maka diperlukan perhitungan kebutuhan personil aktual untuk pemeliharaan ringan maupun berat. Seperti pada persamaan (IV-14) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 & \text{Ketersediaan personil harian \%} \\
 & = \frac{\text{Jumlah personil produktif harian}}{\text{Total personil}}
 \end{aligned}
 \tag{IV-14}$$

Sementara itu, untuk persamaan keperluan jumlah personil aktual pada pemeliharaan ringan ditunjukkan oleh persamaan (IV-15) berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Kebutuhan personel pemeliharaan ringan(LM)} \quad (\text{IV-15}) \\ & \text{aktual harian} \\ & = \frac{\text{Kebutuhan personil LM per hari}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \end{aligned}$$

Setelah menghitung keperluan jumlah personil aktual pada pemeliharaan ringan, selanjutnya akan dihitung keperluan jumlah personil aktual pada pemeliharaan berat seperti pada persamaan (IV-16) berikut ini:

$$\begin{aligned} & \text{Kebutuhan personel pemeliharaan berat (HM)} \quad (\text{IV-16}) \\ & \text{aktual harian} \\ & = \frac{\text{Kebutuhan personil HM per hari}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan hasil simplifikasi dari persamaan (IV-11), maka untuk perhitungan keperluan personel pemeliharaan aktual harian didapatkan persamaan (IV-17) seperti berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Kebutuhan personel aktual harian} \quad (\text{IV-17}) \\ & = \frac{\text{LM hrs} \times \text{Faktor kebutuhan LM}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \\ & \quad + \frac{\text{HM hrs} \times \text{Faktor kebutuhan HM}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \end{aligned}$$

Menuliskan kembali persamaan (IV-3) dan (IV-4) diperoleh persamaan (IV-18) berikut :

$$K1 = \frac{LM}{FH} \quad \text{dan} \quad K2 = \frac{HM}{FH} \quad (\text{IV-18})$$

Dimana, persamaan (IV-18) dapat dituliskan menjadi persamaan (IV-19) dan (IV-20) berikut:

$$LM = K1.FH \quad (\text{IV-19})$$

$$HM = K2.FH \quad (\text{IV-20})$$

Dengan mensubstitusikan nilai LM dan HM ke dalam persamaan (IV-17). Hubungan antara kebutuhan personal pemeliharaan dengan keseluruhan jam terbang dapat dijabarkan sebagai persamaan (IV-21) berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Kebutuhan personal aktual harian} \quad (\text{IV-21}) \\ & = \left\{ \frac{\text{Faktor kebutuhan LM}}{\text{Ketersediaan personal harian \%}} \right\} \times K1.FH + \\ & \left\{ \frac{\text{Faktor kebutuhan HM}}{\text{Ketersediaan personal harian \%}} \right\} \times K2.FH \end{aligned}$$

Kemudian, dengan mempertimbangkan persamaan (IV-21) akan dilakukan analisis pemanfaatan jumlah antara teknisi (LMT & HMT) yang dimanfaatkan dengan jumlah teknisi yang tersedia agar mengetahui seberapa besar porsi pemanfaatan yang dimiliki oleh masing-masing jenis pemeliharaan pada kondisi di lapangan. Hal tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (IV-22) dan (IV-23) berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Selisih pemanfaatan jumlah LMT} && \text{(IV-22)} \\
 & \text{kondisi aktual} \\
 & = K1.FH \times \frac{LMRF}{\text{Ketersediaan personil harian \%}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Selisih pemanfaatan jumlah HMT} && \text{(IV-23)} \\
 & \text{kondisi aktual} \\
 & = K2.FH \times \frac{HMRF}{\text{Ketersediaan personil harian \%}}
 \end{aligned}$$

Setelah mengetahui perbedaan jumlah antara teknisi yang dimanfaatkan dengan jumlah teknisi yang tersedia, perlu dilakukan perhitungan terhadap persentase produktivitas dengan persamaan (IV-24) dan (IV-25):

$$\begin{aligned}
 & \text{Produktivitas jumlah LMT \%} && \text{(IV-24)} \\
 & = \frac{\text{Perbedaan jumlah LMT}}{\text{LMT yang tersedia}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Produktivitas jumlah HMT \%} && \text{(IV-25)} \\
 & = \frac{\text{Perbedaan jumlah HMT}}{\text{HMT yang tersedia}}
 \end{aligned}$$

4.5. Kondisi Saat Ini

Berikut merupakan hasil perhitungan dari faktor yang kondisinya diamati dalam penelitian kali ini, dapat dilihat sebagai berikut:

1. Faktor Keramahan Pemeliharaan:

Total *LM Hrs* = 518.36, Total *HM Hrs* = 895.5

Total *Flying Hrs Demand* = 183.39

Dengan menggunakan persamaan (IV-18), yaitu:

$$K1 = \frac{LM}{FH} \quad \text{dan} \quad K2 = \frac{HM}{FH} \quad \text{(IV-18)}$$

Maka, *LMFF* (*K1*) dan *HMTF* (*K2*) untuk armada pesawat berumur 12 tahun didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$K1 = \frac{518.36}{183.39} \quad \text{dan} \quad K2 = \frac{895.5}{183.39}$$

***K1* = 2.8265 dan *K2* = 4.8830**

2. Analisis Produktivitas Personil:

Sebuah kuesioner telah disebar untuk personil pemeliharaan pesawat terbang dan menghasilkan rata-rata personel dalam masa tugas dan personel tidak dalam masa tugas memiliki waktu produktif masing-masing **14.5 jam** untuk pemeliharaan harian *DC* dan **4 jam** untuk pemeliharaan harian *NDC*.

3. Ketersediaan Personel:

Total personil/teknisi yang ada	=	100	orang
Teknisi pemeliharaan ringan (<i>LMT</i>)	=	10	orang
Teknisi pemeliharaan berat (<i>HMT</i>)	=	65	orang

<i>Trainees</i>	=	25	orang
Jumlah hari kerja <i>DC</i> /bulan	=	30	hari
Jumlah hari kerja <i>NDC</i> /bulan	=	20	hari
Alokasi <i>HM</i> untuk <i>DC</i> (<i>A</i>)	=	40	%
Alokasi <i>LM</i> untuk <i>DC</i> (<i>B</i>)	=	100	%
<i>Duty Crew Off</i>	=	13	orang
Persentase izin	=	20	%
Jumlah personil produktif harian	=	(Total Personil yang ada – Total personil yang ada × 20% – <i>duty crew off</i> – <i>Trainees</i>)	
	=	[100 – (100 × 20%) – 13 – 25]	
	=	40	

Dengan menggunakan persamaan (IV-14) yang berisikan:

$$\begin{aligned}
 & \text{Ketersediaan personil harian \%} && \text{(IV-14)} \\
 & = \frac{\text{Jumlah personil produktif harian}}{\text{Total personil}}
 \end{aligned}$$

Maka, ketersediaan personil harian didapatkan melalui hasil perhitungan berikut:

$$= \frac{40}{100} = \mathbf{40\%}$$

4. Faktor Keperluan Pemeliharaan:

Perhitungan *LMRF* menggunakan persamaan (IV-12), yaitu:

$$\begin{aligned} & \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan (LMRF)} \quad (IV-12) \\ & = \left\{ \frac{B\%}{\text{Hari kerja satu bulan DC} \times \text{Produktifitas harian DC}} \right. \\ & \left. + \frac{(100 - B)\%}{\text{Hari kerja satu bulan NDC} \times \text{Produktifitas harian NDC}} \right\} \end{aligned}$$

Maka, didapatkan hasil perhitungan *LMRF* sebagai berikut:

$$\left\{ \frac{100\%}{30 \times 14.5} + \frac{(100-100)\%}{20 \times 5} \right\} = 0.0022989$$

Perhitungan *HMRF* menggunakan persamaan (IV-13), yaitu:

$$\begin{aligned} & \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan berat (HMRF)} \quad (IV-13) \\ & = \left\{ \frac{A\%}{\text{Hari kerja satu bulan DC} \times \text{Produktifitas harian DC}} \right. \\ & \left. + \frac{(100 - A)\%}{\text{Hari kerja satu bulan NDC} \times \text{Produktifitas harian NDC}} \right\} \end{aligned}$$

Perhitungan *HMRF* menggunakan persamaan (IV-13) sebagai berikut:

$$\left\{ \frac{40\%}{30 \times 14.5} + \frac{(100-40)\%}{20 \times 4} \right\} = 0.0084195$$

5. Kebutuhan personil aktual:

Jam terbang total dalam 1 bulan (FH) = 29.19 jam

Light Maintenance Friendliness Factor (K1) = 17.7535

Heavy Maintenance Friendliness Factor (K2) = 29.9794

Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan (*LMRF*) = 0.0022989

Faktor kebutuhan pemeliharaan berat (*HMRF*) = 0.0084195

Ketersediaan personel harian = 40%

Dengan mensubstitusikan data di atas ke dalam persamaan (IV-21) yang bertuliskan:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan personil aktual harian} = & \quad (IV-21) \\ & \left\{ \frac{\text{Faktor kebutuhan LM}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \right\} \times K1.FH + \\ & \left\{ \frac{\text{Faktor kebutuhan HM}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \right\} \times K2.FH \end{aligned}$$

Didapatkan kebutuhan personil aktual untuk memenuhi kebutuhan jam terbang melalui perhitungan berikut:

Kebutuhan personil aktual harian

$$\begin{aligned} & = \left\{ \frac{0.002758}{47\%} \right\} \times 17.7535 \cdot 29.19 + \left\{ \frac{0.011103}{47\%} \right\} \times \\ & \quad 29.9794 \cdot 29.19 = 21 \end{aligned}$$

6. Analisis perbedaan pemanfaatan *LMT & HMT (LMT & HMT Utilization Disparties):*

Untuk menghitung analisis perbedaan pemanfaatan *LMT*, digunakan persamaan (IV-22), dan persamaan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

Selisih pemanfaatan jumlah LMT kondisi aktual (IV-22)

$$= K1.FH \times \frac{LMRF}{\text{Ketersediaan personil harian \%}}$$

Serta menggunakan persamaan (23) untuk menghitung analisis perbedaan pemanfaatan HMT, persamaan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

Selisih pemanfaatan jumlah HMT kondisi aktual (IV-23)

$$= K2.FH \times \frac{HMRF}{\text{Ketersediaan personil harian \%}}$$

Selisih pemanfaatan jumlah LMT kondisi aktual

$$= 17.7535 \cdot 29.19 \times \frac{0.0022989}{40 \%} = 2.98 \approx 3$$

LMT yang tersedia = 10

Perbedaan dalam ketersediaan LMT = 10 – 3

Pemanfaatan LMT aktual = 7 orang

Selisih pemanfaatan jumlah HMT kondisi aktual

$$= 29.9794 \cdot 29.19 \times \frac{0.0084195}{40 \%} = 18.42 \approx 18$$

HMT yang tersedia = 65

Perbedaan dalam ketersediaan HMT = 65 – 18

Pemanfaatan LMT = 47 orang

7. Persentase Produktivitas:

Total selisih pemanfaatan jumlah teknisi = 18 + 3 = 21

$$\text{Produktivitas jumlah LMT \%} = \frac{7}{10} \times 100\% = 70\%$$

$$\text{Produktivitas jumlah HMT \%} = \frac{47}{65} \times 100\% = 72\%$$

4.6. Kondisi Usulan

Dengan mempertimbangkan variabel keputusan yaitu jumlah dan kualifikasi teknisi yang dapat diubah, maka dilakukan simulasi perhitungan persamaan menggunakan *Microsoft Excel*, yang menghasilkan titik maksimal pada jumlah *HMT* 72, jumlah *LMT* 28 dan 0 *trainee*.

1. Menghitung Faktor Keramahan Pemeliharaan:

Total *LM Hrs* = 518.36, Total *HM Hrs* = 895.5

Total *Flying Hrs Demand* = 183.39

Dengan menggunakan persamaan (IV-18), yaitu:

$$K1 = \frac{LM}{FH} \quad \text{dan} \quad K2 = \frac{HM}{FH} \quad (\text{IV-18})$$

Maka, *LMFF* (*K1*) dan *HMFF* (*K2*) untuk armada pesawat berumur 12 tahun didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$K1 = \frac{518.36}{183.39} \quad \text{dan} \quad K2 = \frac{895.5}{183.39}$$

$$K1 = 2.8265 \quad \text{dan} \quad K2 = 4.8830$$

2. Analisis Produktivitas Personil:

Sebuah kuesioner telah disebar untuk personil pemeliharaan pesawat terbang dan menghasilkan rata-rata personel dalam masa tugas dan personel tidak dalam masa tugas memiliki waktu produktif masing-masing **14.5 jam** untuk pemeliharaan harian *DC* dan **4 jam** untuk pemeliharaan harian *NDC*.

3. Menghitung Ketersediaan Personel:

Total personil/teknisi yang ada = 100 orang

Teknisi pemeliharaan ringan (*LMT*) = 28 orang

Teknisi pemeliharaan berat (*HMT*) = 72 orang

Trainees = 0 orang

Jumlah hari kerja *DC*/bulan = 30 hari

Jumlah hari kerja *NDC*/bulan = 20 hari

Alokasi *HM* untuk *DC* (*A*) = 40 %

Alokasi *LM* untuk *DC* (*B*) = 100 %

Duty Crew Off = 13 orang

Persentase izin = 20 %

Jumlah personil produktif harian = (Total Personil yang ada – Total personil yang ada × 20% – *duty crew off* – *Trainees*)

$$= [100 - (100 \times 20\%) - 13 - 0] = 65$$

Dengan menggunakan persamaan (IV-14) yang berisikan:

Ketersediaan personil harian % (IV-14)

$$= \frac{\text{Jumlah personil produktif harian}}{\text{Total personil}}$$

Maka, ketersediaan personil harian didapatkan melalui hasil perhitungan berikut:

$$= \frac{65}{100} = 65\%$$

4. Menghitung Faktor Keperluan Pemeliharaan:

Perhitungan *LMRF* menggunakan persamaan (IV-12), yaitu:

$$\begin{aligned} & \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan (LMRF)} \quad (IV-12) \\ & = \left\{ \frac{B\%}{\text{Hari kerja satu bulan DC} \times \text{Produktifitas harian DC}} \right. \\ & \left. + \frac{(100 - B)\%}{\text{Hari kerja satu bulan NDC} \times \text{Produktifitas harian NDC}} \right\} \end{aligned}$$

Maka, didapatkan hasil perhitungan *LMRF* sebagai berikut:

Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan (LMRF)

$$= \left\{ \frac{100\%}{30 \times 14.5} + \frac{(100-100)\%}{20 \times 4} \right\} = 0.0022989$$

Perhitungan *HMRF* menggunakan persamaan (IV-13), yaitu:

$$\begin{aligned} & \text{Faktor kebutuhan pemeliharaan berat (HMRF)} \quad (IV-13) \\ & = \left\{ \frac{A\%}{\text{Hari kerja satu bulan DC} \times \text{Produktifitas harian DC}} \right. \\ & \left. + \frac{(100 - A)\%}{\text{Hari kerja satu bulan NDC} \times \text{Produktifitas harian NDC}} \right\} \end{aligned}$$

Perhitungan *HMRF* menggunakan persamaan (IV-13) sebagai berikut:

Faktor kebutuhan pemeliharaan berat (HMRF)

$$= \left\{ \frac{40\%}{30 \times 14.5} + \frac{(100-40)\%}{20 \times 4} \right\} = 0.00841954$$

5. Menghitung kebutuhan personil aktual:

Jam terbang total dalam 1 bulan (FH)	=	29.19 jam
<i>Light Maintenance Friendliness Factor (K1)</i>	=	17.7535
<i>Heavy Maintenance Friendliness Factor (K2)</i>	=	29.9794
Faktor kebutuhan pemeliharaan ringan (<i>LMRF</i>)	=	0.0022989
Faktor kebutuhan pemeliharaan berat (<i>HMRF</i>)	=	0.00841954
Ketersediaan personel harian	=	65 %

Dengan mensubstitusikan data di atas ke dalam persamaan (IV-21) yang bertuliskan:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan personil aktual harian} &= \quad \quad \quad \text{(IV-21)} \\ &\left\{ \frac{\text{Faktor kebutu han LM}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \right\} \times K1.FH + \\ &\left\{ \frac{\text{Faktor kebutu han HM}}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \right\} \times K2.FH \end{aligned}$$

Didapatkan kebutuhan personil aktual untuk memenuhi kebutuhan jam terbang melalui perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Kebutuhan personil aktual harian} \\ &= \left\{ \frac{0.0022989}{57\%} \right\} \times 17.7535 \cdot 29.19 + \left\{ \frac{0.00841954}{57\%} \right\} \times 29.9794 \cdot 29.19 = 13 \end{aligned}$$

6. Analisis perbedaan pemanfaatan LMT & HMT (*LMT & HMT Utilization Disparties*):

Untuk menghitung analisis perbedaan pemanfaatan *LMT*, digunakan persamaan (IV-22), dan persamaan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Selisih pemanfaatan jumlah LMT kondisi aktual} \quad (\text{IV-22}) \\ & = K1.FH \times \frac{LMRF}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \end{aligned}$$

Serta menggunakan persamaan (IV-23) untuk menghitung analisis perbedaan pemanfaatan *HMT*, persamaan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Selisih pemanfaatan jumlah HMT kondisi aktual} \quad (\text{IV-23}) \\ & = K2.FH \times \frac{HMRF}{\text{Ketersediaan personil harian \%}} \end{aligned}$$

Selisih pemanfaatan jumlah LMT kondisi aktual

$$= 17.7535 \cdot 29.19 \times \frac{0.0022989}{65 \%} = 1.83 \approx 2$$

LMT yang tersedia = 28

Perbedaan dalam ketersediaan *LMT* = 28 – 2

Pemanfaatan *LMT* aktual = 26

Selisih pemanfaatan jumlah HMT kondisi aktual

$$= 29.9794 \cdot 29.19 \times \frac{0.00841954}{57 \%} = 11.34 \approx 11$$

HMT yang tersedia = 72

Perbedaan dalam ketersediaan *HMT* = 72 – 11

Pemanfaatan *HMT* = 61

7. Menghitung Persentase Produktivitas:

Total selisih pemanfaatan jumlah teknisi = 2 + 11 = 13

Produktifitas jumlah LMT % = $\frac{26}{28} \times 100\% = 93.45\%$

Produktifitas jumlah HMT % = $\frac{61}{72} \times 100\% = 84.26\%$

6.5. Analisis Hasil

Data hasil analisa perhitungan produktivitas dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data Analisa Hasil

No	Komponen	Sebelum	Sesudah	Perbedaan
Decision Variable (Variabel Keputusan)				
1	Total personil/teknisi yang ada	100 orang	100 orang	-
2	Teknisi pemeliharaan ringan (LMT)	10 orang	28 orang	+14 orang
3	Teknisi pemeliharaan berat (HMT)	65 orang	72 orang	+6 orang
4	Trainees	25 orang	0 orang	- 25 orang
Parameter				
5	Jumlah hari kerja DC/bulan	30 hari	30 hari	-
6	Jumlah hari kerja NDC/bulan	20 hari	20 hari	-
7	Alokasi HM untuk DC (A)	40%	40%	-
8	Alokasi LM untuk DC (B)	20%	20%	-
9	Duty Crew Off	13 orang	13 orang	-
10	Persentase izin	20%	20%	-
11	Waktu produktif LMT	14.5 jam	14.5 jam	-
12	Waktu produktif HMT	4 jam	4 jam	-
Objective Function f(x)				
13	Produktivitas jumlah LMT%	70%	93.45%	+ 23.45 %
14	Produktivitas jumlah HMT%	72%	84.26%	+ 12.26%

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa produktivitas jumlah pemeliharaan kecil dan pemeliharaan besar mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi karena adanya usulan perubahan pada jumlah dan kualifikasi teknisi pemeliharaan ringan, berat, dan juga personil *trainee*.

Angka usulan didapat dari hasil simulasi pada *Microsoft Excel* yang menghasilkan rasio angka pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Rasio Data Jumlah Personil dan Produktivitas

Kondisi Ke-	Jumlah HMT (orang)	Jumlah LMT (orang)	Jumlah Trainee (orang)	Produktivitas HMT	Produktivitas LMT	Rata-Rata Produktivitas
1	55	10	35	55.35%	60.29%	57.82%
2	56	10	34	57.56%	61.57%	59.57%
3	57	10	33	59.61%	59.61%	59.61%
4	58	10	32	61.51%	63.90%	62.71%
5	59	10	31	63.27%	64.96%	64.12%
6	60	10	30	64.91%	65.96%	65.44%
7	61	10	29	66.45%	66.91%	66.68%
8	62	10	28	67.88%	67.80%	67.84%
9	63	10	27	69.22%	68.65%	68.94%
10	64	10	26	70.48%	69.45%	69.97%
11	65	10	25	73.01%	71.64%	72.33%
12	65	11	24	73.64%	74.81%	74.23%
13	65	12	23	74.24%	77.44%	75.84%
14	65	13	22	74.81%	79.64%	77.23%
15	65	14	21	75.36%	81.50%	78.43%

Tabel 4.2 Rasio Data Jumlah Personil dan Produktivitas (Lanjutan)

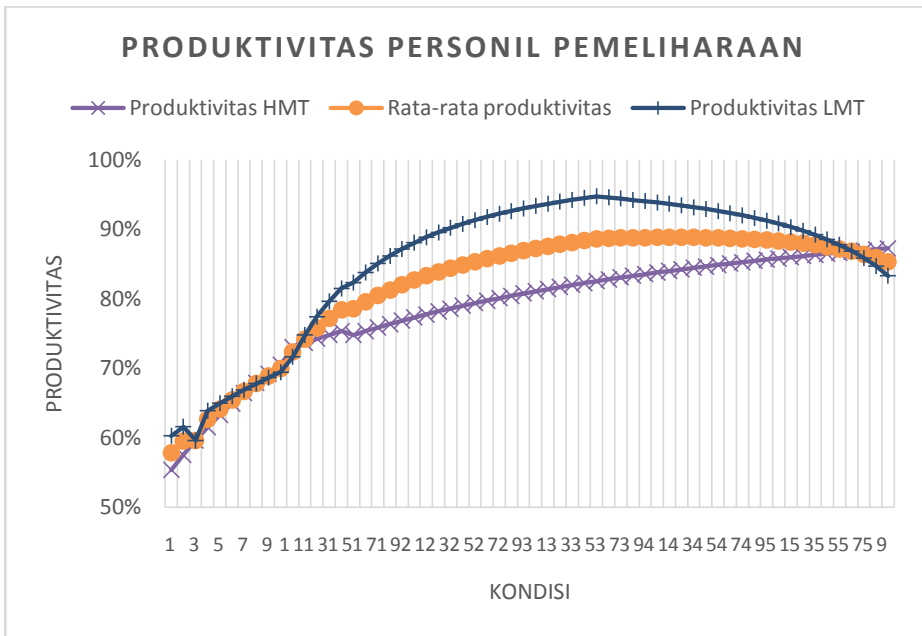
Kondisi Ke-	Jumlah HMT (orang)	Jumlah LMT (orang)	Jumlah Trainee (orang)	Produktivitas HMT	Produktivitas LMT	Rata-Rata Produktivitas
16	65	15	20	74.81%	82.35%	78.58%
17	65	16	19	75.36%	83.81%	79.59%
18	65	17	18	75.88%	85.09%	80.49%
19	65	18	17	76.38%	86.21%	81.30%
20	65	19	16	76.87%	87.20%	82.04%
21	65	20	15	77.33%	88.09%	82.71%
22	65	21	14	77.77%	88.88%	83.33%
23	65	22	13	78.20%	89.59%	83.90%
24	65	23	12	78.61%	90.23%	84.42%
25	65	24	11	79.01%	90.81%	84.91%
26	65	25	10	79.39%	91.34%	85.37%
27	65	26	9	79.76%	91.82%	85.79%
28	65	27	8	80.11%	92.26%	86.19%
29	65	28	7	80.46%	92.66%	86.56%
30	65	29	6	80.79%	93.04%	86.92%
31	65	30	5	81.11%	93.38%	87.25%
32	65	31	4	81.42%	93.70%	87.56%
33	65	32	3	81.72%	94.00%	87.86%
34	65	33	2	82.01%	94.27%	88.14%

35	65	34	1	82.29%	94.53%	88.41%
36	65	35	0	82.56%	94.76%	88.66%
37	66	34	0	82.83%	94.61%	88.72%
38	67	33	0	83.08%	94.45%	88.77%
39	68	32	0	83.33%	94.24%	88.79%
40	69	31	0	83.57%	94.09%	88.83%
41	70	30	0	83.81%	93.89%	88.85%

Tabel 4.2 Rasio Data Jumlah Personil dan Produktivitas (Lanjutan)

Kondisi Ke-	Jumlah HMT (orang)	Jumlah LMT (orang)	Jumlah Trainee (orang)	Produktivitas HMT	Produktivitas LMT	Rata-Rata Produktivitas
42	71	29	0	84.03%	93.68%	88.86%
43	72	28	0	84.26%	93.45%	88.86%
44	73	27	0	84.47%	93.21%	88.84%
45	74	26	0	84.68%	92.95%	88.82%
46	75	25	0	84.89%	92.67%	88.78%
47	76	24	0	85.09%	92.36%	88.73%
48	77	23	0	85.28%	92.03%	88.66%
49	78	22	0	85.47%	91.67%	88.57%
50	79	21	0	85.65%	91.27%	88.46%
51	80	20	0	85.83%	90.84%	88.34%
52	81	19	0	86.01%	90.35%	88.18%
53	82	18	0	86.18%	89.82%	88.00%
54	83	17	0	86.34%	89.22%	87.78%
55	84	16	0	86.51%	88.54%	87.53%
56	85	15	0	86.66%	87.78%	87.22%
57	86	14	0	86.82%	86.91%	86.87%
58	87	13	0	86.97%	85.90%	86.44%
59	88	12	0	87.12%	84.73%	85.93%
60	89	11	0	87.26%	83.34%	85.30%

Rasio produktivitas personil juga digambarkan pada grafik Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Grafik Titik Maksimum Produktivitas

Rasio data jumlah personil dan produktivitas pada Tabel 4.2 menunjukkan adanya perubahan yang ditunjukkan oleh kondisi 1 hingga kondisi 60. Kondisi tersebut menunjukkan perubahan

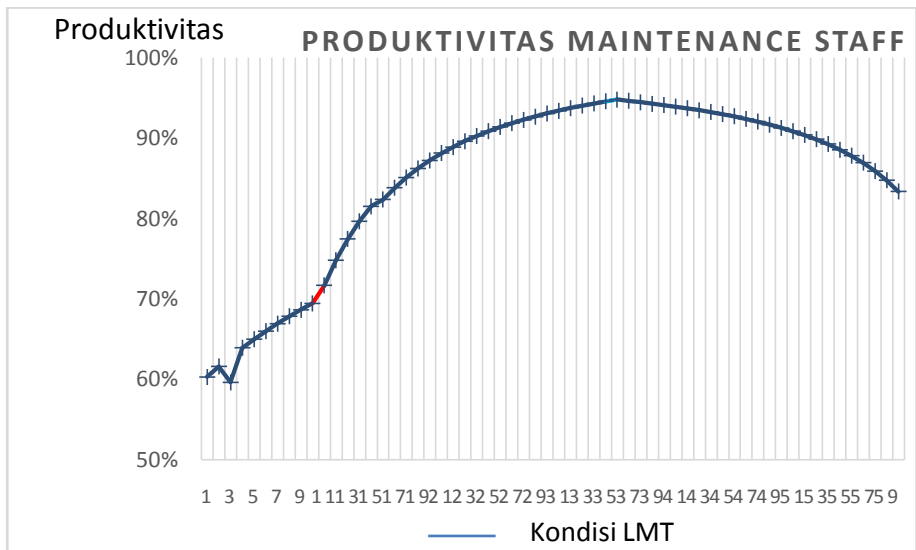
jumlah alokasi personil *trainee* menjadi personil *LMT* dan *HMT*. Simulasi alokasi yang dilakukan terhadap personil *trainee* menjadi personil *LMT* dan *HMT* bertujuan untuk menemukan pada kondisi berapa produktivitas akan mencapai titik maksimal produktivitasnya.

Dari data simulasi perhitungan yang dilakukan, dapat diketahui jika produktivitas optimal *LMT* lokalsebesar 94.76% pada kondisi ke-36. Sementara itu, kondisi optimal *HMT* lokalsebesar 87.26% pada kondisi ke-60. Rata-rata produktivitas optimal yang dapat dicapai oleh *LMT* dan *HMT* adalah **88.86%**. Produktivitas optimal tersebut dapat dicapai pada kondisi ke-42 atau kondisi ke-43 dengan menggunakan pilihan jumlah teknisi pemeliharaan berat 72 orang, pemeliharaan ringan 28 orang, dan 0 *trainee*.

BAB V

TEMUAN & DISKUSI

Berdasarkan hasil pengolahan pembahasan data contoh soal di Bab IV, diperoleh beberapa temuan produktivitas maintenance staff sebagai terlihat pada Gambar 5.1, 5.2 dan 5.3.



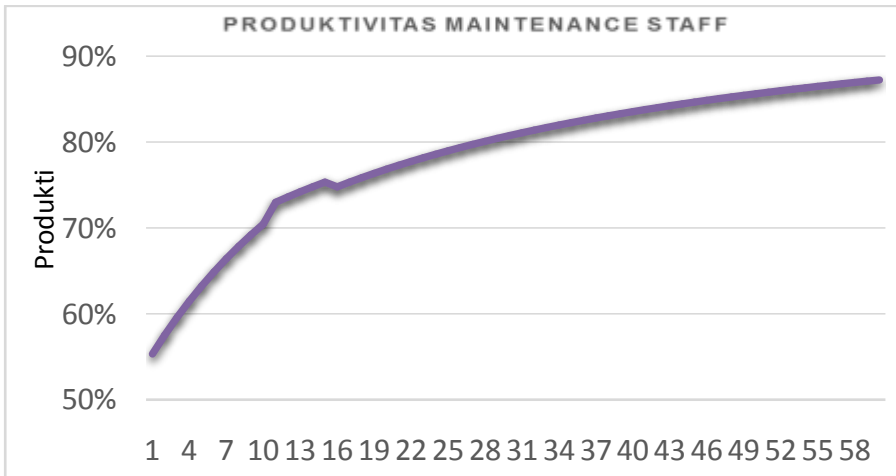
*Current Condition: 11th Condition. 65 HMT, 10 LMT, 25 Trainee

*Max: 36th Condition. 65 HMT, 35 LMT, 0 trainee

- Current Condition

Gambar 5.1. Produktivitas LMT

Pada Gambar 5.1. dapat dilihat produktivitas staf pemeliharaan tingkat ringan, LMT (*Light Maintenance Technician*). Pertambahan jumlah staf ternyata menunjukkan kurva maksimum, artinya pertambahan jumlah staf, tidak selamanya meningkatkan produktivitas.



*Current Conditioni : 11th Condition. 65 HMT, 10 LMT, 25 Trainee

*Max: 60th Conditon. 89 HMT, 11 LMT, 0 trainee

- Current Condition

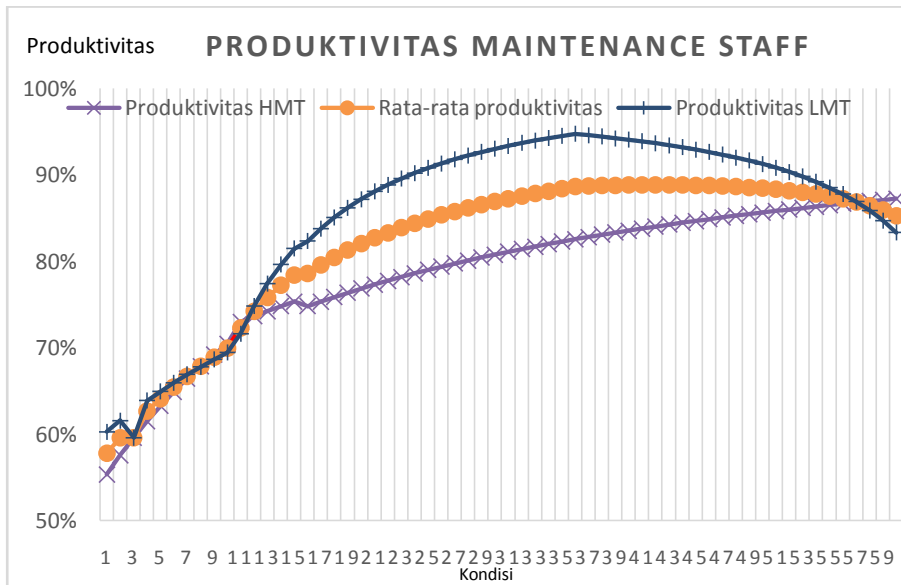
- Optimum Condition

— Kondisi Produktivitas HMT

Gambar 5.2. Produktivitas HMT

Pada Gambar 5.2. dapat dilihat produktivitas untuk staf pemeliharaan tingkat berat, LMT (*Light Maintenance Technician*). Pada gambar tersebut, dapat diamati bahwa penambahan jumlah staf berdampak positif terhadap peningkatan produktivitas kerja tim.

Berikutnya, pada Gambar 5.3., kedua kondisi dipertimbangkan untuk dapat diperoleh simpulan mengenai produktivitas total kinerja tim.



*Current Condition: 11th Condition. 65 HMT, 10 LMT, 25 Trainee

*Max: 42th & 43th Condition. 72 HMT, 28LMT, 0 trainee

- Current Condition

- Optimum Condition

Gambar 5.3. Produktivitas Total

Pada Gambar 5.3., produktivitas total diperoleh dari gabungan produktivitas staf pemeliharaan tingkat ringan (LMT) dan tingkat berat (HMT) karena memang keduanya tetap dibutuhkan untuk posisi dan fungsinya masing-masing yang saling mengisi. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dipelajari bahwa secara umum, penambahan jumlah tenaga kerja (staf) tidak selamanya berdampak positif meningkatkan produktivitas tim. Perlu dicermati untuk membedakan kualifikasi kompetensi staf yang dimaksud. Untuk pekerjaan tingkat ringan, penambahan jumlah tenaga kerja secukupnya saja, melihat kurva maksimumnya. Sementara untuk staf pemeliharaan tingkat berat, penambahan jumlah tenaga kerja berdampak positif meningkatkan produktivitas kerja tim.

Diskusi:

Bagaimana hal ini bisa terjadi?

Apakah kemungkinan alasan justifikasi yang melatarbelakanginya?

Perlu adanya *Job description* dan *Job Analysis*, *Job Requirement*, *Qualification*, yang jelas untuk mengklasifikasikan kelas kategori staf, sehingga dapat ditentukan jumlahnya dengan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Avief, R.M.S dan Nursanti, E. (2015) : Optimasi Penjadwalan Pemeliharaan Overhaul Pesawat Tempur Hawk Mk-209 TNI AU Dengan Metode CPM PERT, Prosiding Seminar Nasional Terpadu Keilmuan Teknik Industri (SATELIT), Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
- Avief, R.M.S dan Nursanti, E. (2016) : Aplikasi *Continuous Improvement* Terhadap Pemeliharaan *Overhaul* Pesawat Tempur Hawk Mk-209 TNI AU, Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI), ITN Malang, Indonesia.
- Daryus, A. (2007) : *Manajemen Pemeliharaan Mesin*, Universitas Darma Persada, Jakarta.
- Elmabrouk, O.M. (2011) : A Linear Programming Technique for the Optimization of the Activities in Maintenance Projects, *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, **11** (1), 24-29.
- Heizer, J., Render, B., Munson, C. (2019) : *Operations Management*, 13th edition, Harlow, United Kingdom, Pearson Education, Canada.

- Ip, W.H, Chung, N. dan Ho, G. (2010) : Using Integer Programming for Airport Service Planning in Staff Scheduling, *International Journal of Engineering Business Management*, **2** (2), 85-92.
- Mattila, V dan Virtanen, K. (2011) : Scheduling Fighter Aircraft Maintenance With Reinforcement Learning, *Proceeding of Winter Simulation Conference*, IEEE, 2540-2551.
- McFadden, M. dan Worrells, D.S. (2012) : Global Outsourcing of Aircraft Maintenance, *Journal of Aviation Technology and Engineering*, **1** (2), 63-73.
- Moudani, W.E dan Mora-Camino, F. (2000) : A Dynamic Approach for Aircraft Assignment and Maintenance Scheduling by Airlines, *Journal of Air Transport Management*, **6**, 233-237.
- Nursanti, E., Ma'ruf, A., Simatupang, T., dan Iskandar, B.P. (2010) : An Optimal Group Inspection Policy for a Two-Machine System, *Proceeding on 5th Asia Oceanic Top Universities League AOTULE*, Bandung, Indonesia, 103-106.
- Nursanti, E., Ma'ruf, A., Simatupang, T., Iskandar, B.P. (2011) : Hybrid Minimal Repair for A Serial System, *Proceeding on International Conference of Industrial Engineering, World Academy of Science, Engineering and Technology*, **60**, Bangkok, Thailand, 124-129.
- Nursanti, E, Ma'ruf, A., Simatupang, T., dan Iskandar, B.P. (2012) : Cost and Availability Functions Using Imperfect Maintenance Policy for A Serial System, *IEEE Symposium on Business*,

Engineering and Industrial Applications, Bandung, Indonesia, 433-438.

Nursanti, E. (2014) : Hybrid Minimal Repair for Maximizing Availability of a Serial Continuous Production System, *Proceeding of International Conference on Mechanical Engineering & Management (ICMEM)*, Singapore.

Nursanti, E. (2015): Cost Minimization Using Hybrid Minimal Repair for Continuous Production System, *Proceeding of The 3rd Bali International Seminar on Science and Technology (BISSTECH)*, Bali, Indonesia.

Nursanti, E., Avief, R.M.S., Sibut, Kertaningtyas, M. (2018) : Peningkatan Efisiensi Waktu dan Biaya Pemeliharaan Overhaul Pesawat Tempur, *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri*, Program Pascasarjana Institut Teknologi Nasional Malang, Vol 4, No.2.

Nursanti, E., Avief, R.M.S, Sibut, Kertaningtyas, M. (2019): Parallel Series Scheduling for Aircraft Overhaul Maintenance, *Proceeding of The 2019 International Conference on Organizational Innovation (ICOI)*, University of Ulsan, South Korea, Atlantic Press, Series Advances in Economics, Business and Management Research, Vol. 100, pp. 640-644.

Samaranayake, P. dan Kiridena, S. (2012) : Aircraft Maintenance Planning and Scheduling: An Integrated Framework, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, **18** (4), 432-453.

Sherwin, D.J dan Bossche, A. (1993): *The Reliability, Availability and Productiveness of Systems*, Chapman and Hall, London.

- Steiner, A. (2006) : A Heuristic Method for Aircraft Maintenance Scheduling Under Various Constraints, *Proceeding of Swiss Transport Research Conference*, 1-28.
- Sriram, C. dan Haghani, A. (2003) An Optimization Model for Aircraft Maintenance Scheduling and Re-Assignment, *Transportation Research Part A*, Pergamon, Elsevier, **37**, 29-48.
- Verhoeff, M., Verhagen, W.J.C, dan Curran, R. (2015) : Maximizing Operational Readiness in Military Aviation by Optimizing Flight and Maintenance Planning, *Transportation Research Procedia*, Elsevier, **10**, 941-950.
- Vieira, D.R. dan Loures, P.L. (2016) : Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview, *International Journal of Computer Applications*, **135** (12), 21-29.

GLOSSARIUM

Accelerated Deterioration	: Menurunnya kinerja mesin / peralatan dengan cepat
Asset	: Semua yang dapat digunakan dalam operasi perusahaan
Breakdown	: Kerusakan
Capacity	: Kapasitas
Decision Variable	: Variabel keputusan / Sebagai besaran yang akan dicari nilainya
Duty Crew (DC)	: Jenis pekerja yang memiliki jadwal pekerjaan yang sedang berlangsung dan sedang mengerjakannya
Efisiensi	: Suatu ukuran penghematan sumber daya yang digunakan untuk melakukan suatu kegiatan usaha
First Come-First Served	: Pertama datang – pertama dilayani
Flight Hour	: Jam terbang
Flow Rate	: Laju aliran
Human Error	: Kesalahan karena kecerobohan manusia

Input	: Masukan
Inspections	: Pemeriksaan
Intermediate Range	: Rentang jangka menengah
Lead Time	: Waktu tunggu pengiriman
Long Time Range	: Rentang jangka panjang
Lubrication	: Pelumasan
Maintenance	: Pemeliharaan
Maintenance Capacity Level	: Tingkat kapasitas pemeliharaan
Natural Deterioration	: Menurunnya kinerja mesin / peralatan secara alami akibat terjadi pemburukan / keausan pada fisik mesin
Net-Output	: Keluaran bersih
Non-Duty Crew (NDC)	: Jenis pekerja yang memiliki jadwal pekerjaan akan tetapi sedang tidak mengerjakannya karena menunggu proses pekerjaan lain berlangsung
Optimum Condition	: Kondisi optimum yang dapat dicapai
Output	: Keluaran
Overhaul	: Pemeliharaan tingkat berat
Overall Equipment Effectiveness	: Ukuran efektifitas penggunaan semua peralatan pendukung

	: kegiatan operasi produksi
Part-Time	: Paruh waktu
Planning	: Perencanaan
Predictive	: Prediksi; perkiraan peramalan
Preventive	: Pencegahan
Produktivitas	: Rasio antara luaran dengan masukan
Rasio	: Satu angka yang dibandingkan dengan angka lain sebagai suatu hubungan
Routine Schedule Check	: Pemeriksaan terjadwal rutin
Schedule	: Jadwal
Shift	: Pergeseran atau penetapan jam kerja yang terjadi satu kali dalam 24 jam
Skill	: Keahlian
Technicians	: Karyawan pemeliharaan
Throughput	: Kuantitas output yang dihasilkan per satuan waktu
Total Factor Productivity	: Produktifitas total
Total Maintenance Time	: Total waktu pemeliharaan
Trainee	: Karyawan yang baru diterima dan masih dalam masa percobaan
Utilitas	: Pemakaian; penggunaan

Variance	: Variasi; simpangan; perbedaan
Vibrasi	: Getaran
Volume	: Penghitungan seberapa banyak ruang yang bisa ditempati dalam suatu objek; kapasitas
Work Order	: Perintah kerja

INDEX

Efisiensi	: 4,14,16,23,63
Kapasitas	: 1,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18, 19,20,21,25,28
Kapasitas Desain	: 8,15,16
Kapasitas Efektif	: 8,9,15,16
Kapasitas Aktual	: 9
Perencanaan Kapasitas	: 10,11,12,13,15,16,25,28
Kapasitas Jangka Pendek	: 11,12
Kapasitas Jangka Menengah	: 11
Kapasitas Jangka Panjang	: 11,12,13,14
Wait And See Strategy	: 14
Strategi Ekspansionis	: 14
Maintenance Capacity	: 1
Planning	
Natural Deterioration	: 2
Accelerated Deterioration	: 2
Planned Maintenance	: 2,3
Preventive Maintenance	: 3
Corrective Maintenance	: 3
Predictive Maintenance	: 3
Unplanned Maintenance	: 3
Autonomous Maintenance	: 4,5
Seiri (Clearing Up)	: 4
Seiton (Organizing)	: 4
Seiso (Cleaning)	: 4

Seiketsu (Standarizing)	: 4
Shitsuke (Training And Discipline)	: 4
Inspeksi	: 7
Kegiatan Teknik	: 7
Kegiatan Produksi	: 7
Kegiatan Administrasi	: 7
Pemeliharaan Bangunan	: 7
Maintenance Staffing	: 21
Over-Utilisasi Personil	: 21
Under-Utilisasi Personil	: 21
Duty Crew (DC)	: 22
Non-Duty Crew (NDC)	: 22
Technicians	: 22
Trainee	: 22
Produktivitas	: 23
Rasio Produktivitas	: 24
Faktor Eksternal	: 24
Faktor Internal	: 25
Produktivitas Parsial	: 25
Produktivitas Multifaktor	: 26
Produktivitas Total	: 27



Dr. Ellysa Nursanti, S.T., M.T., IPM, berdinasi di Institut Teknologi Nasional Malang sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri, dilahirkan di Sidoarjo 18 April 1977. Penulis menyelesaikan, S-1 Teknik Industri di ITN Malang 1999, S-2 Teknik Industri di UI Jakarta 2005, dan S-3 Teknik Industri di ITB Bandung 2012. Bidang kajian penelitian dan publikasi penulis adalah *Maintenance and Reliability Engineering*, *Optimasi Simulasi* dan *Supply Chain Management*. Penulis aktif memberikan pelatihan profesional di bidang Aplikasi Teknik dan Manajemen Industri.

R.M. Suaidy Avief, S.T., M.T., berdinasi di TNI AU sebagai Korps Teknik Pesawat Terbang, dilahirkan di kabupaten Pamekasan-Madura pada tanggal 13 Oktober 1980. Penulis menyelesaikan pendidikan umum yaitu, S-1 Teknik Mesin di Unsuri (Universitas Sunan Giri) Surabaya lulus tahun 2010, S-2 Teknik Industri-Manajemen Industri di ITN (Institut Teknologi Nasional) Malang lulus tahun 2016. Adapun Pendidikan Militer penulis yaitu Akademi Angkatan udara (AAU) lulus tahun 2003, Sekkau A-93 lulus tahun 2013, Seskoau A-56 lulus tahun 2019.



Sibut, S.T., M.T., berdinasi di Institut Teknologi Nasional Malang sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin S1, 2015-2019, dan saat ini menjabat sebagai Wakil Dekan I Bidang Akademik, Fakultas Teknologi Industri. Penulis dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 20 Februari 1977. Penulis menyelesaikan, S-1 Teknik Mesin di ITN Malang 1998, S-2 Teknik Mesin di ITS Surabaya 2008. Bidang keahlian penulis adalah *Mechanical Desain System and Manufacture*.

Mariza Kertaningtyas, S.T., M.T., berdinasi di Institut Teknologi Nasional Malang sebagai Dosen Teknik Industri, Program Sarjana Terapan dan Program Sarjana S1, dilahirkan di Malang pada tanggal 26 Agustus 1977. Penulis menyelesaikan pendidikan, S-1 di Teknik Industri ITN Malang 2010, S-2 di Teknik Industri Konsentrasi Manajemen Industri ITN Malang 2016. Saat ini penulis mengampu mata kuliah Perencanaan Pengendalian Produksi dan Pengantar Teknik Industri Manufaktur.



Anggota Ikapi
www.dreamlitera.com

ISBN:978-602-5518-93-5



9 786025 518935