

PENGARUH *COMPRESSOR WASH* TERHADAP *TURBIN GAS TEMPERATURE MARGIN* DAN *N3 MARGIN* PADA *ENGINE ROLLS-ROYCE TRENT 700*

**KARYA ILMIAH
TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**ABUBAKAR
NIM. 115060201111003**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Compressor Wash terhadap Turbine Gas Temperature Margin dan N3 Margin pada Engine Rolls-Royce Trent 700”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, yang tak henti-hentinya memberikan segala pengorbanan baik do'a, semangat, nasihat maupun material yang telah diberikan kepada penulis hingga sampai saat ini. Juga beserta keluarga besar penulis, yang selalu memberikan doa dan nasihat-nasihat tentang kehidupan serta menjadi motivasi bagi penulis karena telah menghibur disaat penat.
2. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Purnami ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
3. Dr. Slamet Wahyudi ST., MT. selaku dosen pembimbing I skripsi yang juga sebagai pembantu dekan III atas semua ilmu dan saran yang telah diberikan selama penyusunan skripsi.
4. Ir. Agustinus Ariseno MT. Selaku dosen pembimbing II skripsi atas semua ilmu dan saran yang telah diberikan selama penyusunan skripsi.
5. Pak Purwoko Yuliono, Mas Gandhi Mahaputra, Mas Tatan Firmansyah selaku pembimbing dan pendamping selama penulis berada di lingkungan PT. GMF AeroAsia.
6. Mas Maradu Sianturi, Pak Endi Harijoso, Mas Hendra Permana, Mas Yunarko Dwi Wibowo, mas Davy Febrynzki, Mas Fauzan Putradi selaku *engineer* GMF AeroAsia yang turut membantu dan menemani penulis selama penulis berada di GMF AeroAsia, serta banyak karyawan GMF AeroAsia yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan banyak ilmu, nasihat dan pengalaman kepada penulis terkait dunia *Maintenance, Repair dan Overhaul*.
7. Seluruh Dosen pengajar dan Staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.

8. Sandy Pradita H.U. dan Ilman Kamil A. yang telah bersama sama membantu menyelesaikan skripsi ini, serta memberikan nuansa ramai dan meriah saat pengerjaan berlangsung.
9. Saudara-saudara Mesin 2011, yang telah memberikan doa, dukungan, bantuan, canda tawa, pengalaman dan pelajaran kehidupan mulai dari mahasiswa baru hingga sampai saat ini.
10. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu penulis baik selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini dan ilmu yang dimiliki masih butuh penyempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kebaikan di kemudian hari. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi semua pihak. Amiin



Malang, Agustus 2016

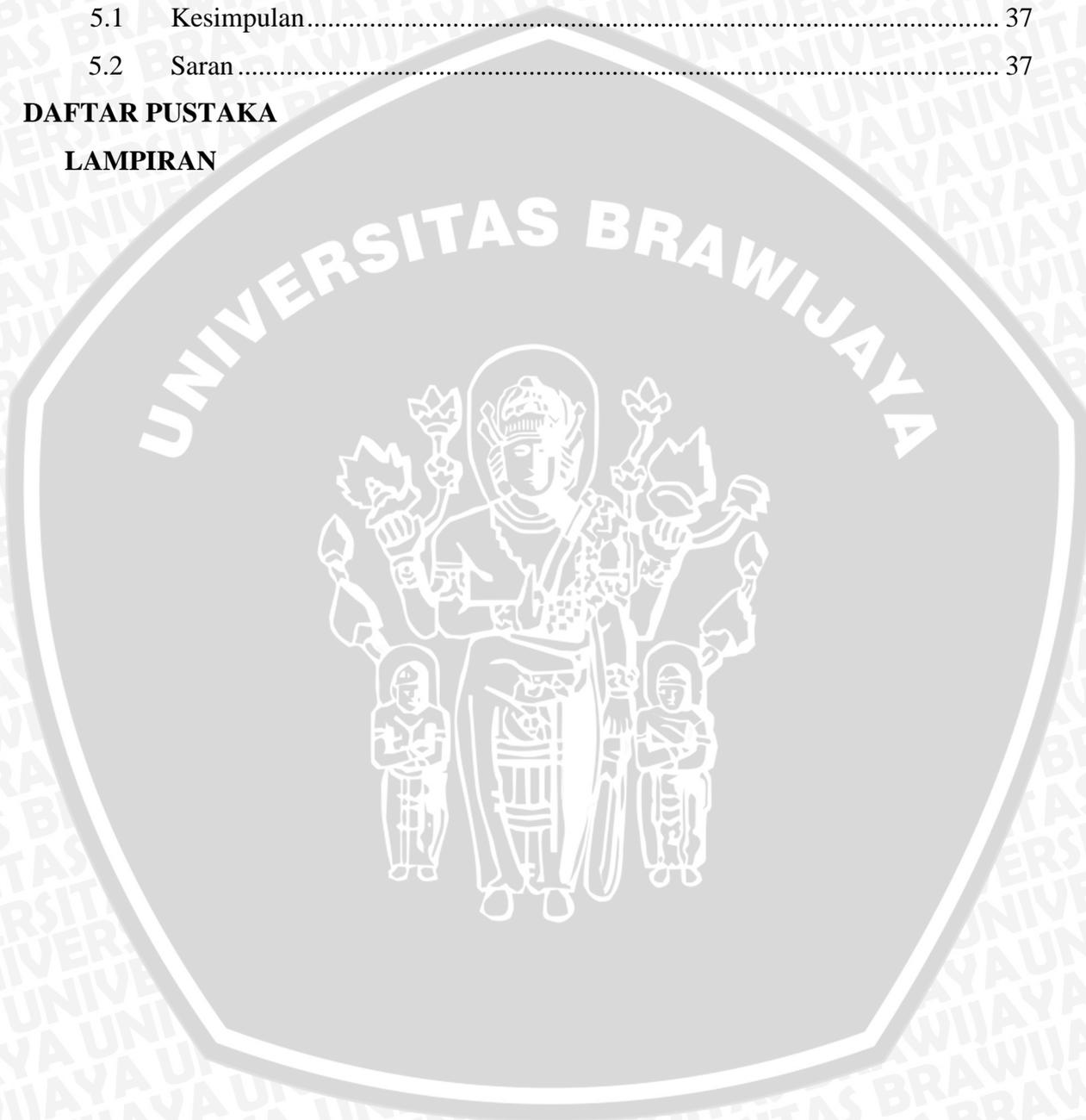
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Turbin Gas	4
2.2 Airbus A330.....	11
2.3 Rolls-Royce Trent 700.....	14
2.4 Compressor Wash.....	15
2.5 Hipotesis	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Metode Penelitian	22
3.2 Variabel Penelitian	22
3.3 Peralatan Penelitian.....	22
3.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	24
3.5 Metode Pengambilan Data.....	24
3.6 Metode Pengolahan Data	24
3.7 Diagram Alir Penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Data Hasil Analisa	25
4.1.1 Data Perhitungan ROD.....	28



4.1.2	Data Grafik TGT Margin Dan N3 Margin	29
4.2	Pembahasan	31
4.2.1	Analisa Grafik Pengaruh <i>Compressor Wash</i> Terhadap <i>TGT Margin</i> ..	31
4.2.2	Analisa Pengaruh <i>Compressor Wash</i> Terhadap <i>N3 Margin</i>	33
BAB V PENUTUP		37
5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran	37
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Rate of deterioration PK-GPL	28
Tabel 4.2	Rate of deterioration PK-GPU	28



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram turbin gas	4
Gambar 2.2	Siklus brayton	5
Gambar 2.3	Rolls-Royce Trent 700	7
Gambar 2.4	Batasan EGT pada Trent	10
Gambar 2.5	Airbus A330-243 PK-GPP	11
Gambar 2.6	Dimensi Airbus A330	12
Gambar 2.7	Cockpit A330	13
Gambar 2.8	Rolls-Royce Trent 772B-60	14
Gambar 2.9	Kompresor Torak	17
Gambar 2.10	Kompresor screw	17
Gambar 2.11	Kompresor Sentrifugal	18
Gambar 2.12	Kompresor aksial	18
Gambar 2.13	Juniper <i>compressor wash rig</i>	19
Gambar 2.14	Proses <i>compressor washing</i> pada A330	20
Gambar 2.15	Air dan kontaminan hasil <i>compressor wash</i>	21
Gambar 4.1	Data excel TGT Margin PK-GPU	26
Gambar 4.2	Data excel N3 Margin PK-GPU	27

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Grafik TGT Margin PK-GPP
- Lampiran 2 Grafik N3 Margin PK-GPL
- Lampiran 3 Grafik TGT Margin PK-GPU
- Lampiran 4 Grafik N3 Margin PK-GPU



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar
Temperatur

Satuan dan Singkatannya
°C

Simbol
T



RINGKASAN

Abubakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2016, Pengaruh *Compressor wash* Terhadap *Turbine Gas Temperature Margin* dan *N3 Margin* Pada *Engine* Rolls-Royce Trent 700. Dosen Pembimbing : Slamet Wahyudi dan Agustinus Ariseno.

Seiring berkembang pesatnya industri penerbangan membuat banyak perusahaan penerbangan menambah jumlah armada pesawat udaranya guna memenuhi kebutuhan konsumen untuk bepergian baik ke dalam dan luar negeri. Dan ditengah pesatnya pertumbuhan jumlah armada pesawat ini terjadi juga peningkatan harga bahan bakar global yang mengakibatkan pabrikan mesin pesawat berlomba-lomba untuk membuat mesin yang awet dan efisien dalam penggunaan bahan bakar. Untuk menjaga mesin tetap awet dan efisien maka diperlukan perawatan untuk menjaga performa mesin turbin gas. Faktor yang paling signifikan dalam deteriorasi turbin gas adalah bagian kompresor yang kotor akibat kontaminan yang masuk dan mengendap. Efek dari kontaminan yang masuk dan mengendap ini adalah menurunnya airflow, pressure ratio dan efisiensi kompresor, sehingga terjadi penurunan performa yang mengakibatkan mesin harus berputar lebih kencang dan menggunakan bahan bakar lebih banyak untuk menghasilkan tenaga yang dibutuhkan. Solusi dari kotornya compressor karena kontaminan ini yakni dengan dilakukannya compressor wash yang berfungsi untuk membersihkan kontaminan dan mengembalikan performa mesin yang hilang karena pengaruh kontaminan tersebut. Terlihat bahwa setelah dilakukan compressor wash terjadi perbaikan performa yang ditandai dengan naiknya kembali TGT dan N3 Margin yang sempat menurun karena terkontaminasi oleh kontaminan. Dan dapat diketahui juga bahwa waktu compressor wash yang terbaik adalah pada rentang waktu 300 cycle dikarenakan pada waktu ini mesin sudah mulai melewati batas N3 margin yang ditentukan pabrikan mesin. Sehingga untuk menjaga performa mesin perlu dijaga agar mesin tidak sampai marginnya mendekati 0 agar dapat mencapai efisiensi dan usia pakai mesin yang maksimal..

Kata Kunci: Compressor Wash, Turbin Gas Temperature, Gas Turbin, Turbofan, TGT Margin, N3 Margin

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya industri penerbangan maka semakin ketat juga peraturan-peraturan dalam dunia penerbangan. Peraturan tersebut dibuat dan diperbaiki untuk memberikan kenyamanan dan keamanan bagi siapa saja yang berada di sekitar industri penerbangan tersebut. Mulai dari aturan tentang tingkat kebisingan suara hingga aturan tentang perawatan pesawat udara. Perawatan pesawat udara adalah hal yang sangat penting untuk menjaga kelayakan terbang pesawat udara. Perawatan pesawat meliputi perawatan *airframe*, *avionic*, *cabin* dan mesin. Mesin pesawat adalah salah satu hal vital karena mesin adalah tenaga penggerak dan pensuplai daya pada pesawat terbang.

Perawatan mesin pesawat mencakup beberapa hal, mulai dari memonitor secara rutin kondisi mesin hingga melakukan perbaikan. Pada bagian monitoring mesin ada beberapa parameter kunci yang harus diperhatikan seperti TGT (*Turbin Gas Temperature*), *fuel flow*, *vibration*, *oil consumption* dan *rotor speed* (n). parameter-parameter utama tersebut dapat juga menandakan kondisi mesin. Degradasi dari parameter-parameter ini dibawah limit sering mengharuskan mesin untuk diperbaiki atau bisa sampai dilepas dan diperbaiki di *engine shop* atau disebut dengan *shop visit*.

Usia mesin pada sayap pesawat (*on-wing life*) sangat dipengaruhi dari *thrust rating*, pengoperasian (rata-rata *leg* perhari, *take off derate*, lingkungan) dan usia mesin itu sendiri. Mesin pesawat terdiri dari bagian kompresor, ruang bakar dan turbin yang bekerja dengan cara berputar dengan menyedot udara dari depan dan mengalirkannya kebagian belakang sayap dengan kecepatan yang lebih tinggi. sehingga bagian kompresor selalu mengalami penurunan performa baik karena gesekan atau kotoran yang menempel pada bagian-bagian mesin itu sendiri akibat dari kontaminan pada udara yang dihisapnya.

Compressor wash adalah bentuk perawatan yang dilakukan untuk membersihkan kembali bagian kompresor mesin dari kerak-kerak atau kotoran yang menempel selama mesin dalam kondisi berputar. Dengan membersihkan kembali bagian mesin ini diharapkan akan memberikan efek positif pada mesin tersebut. *Compressor wash* dilakukan setiap *500 cycle* untuk menjaga performa mesin yang bisa dilihat dari *turbine gas temperature margin* dan *n3*

margin dan mengurangi biaya bahan bakar yang terjadi akibat menurunnya efisiensi kompresor akibat kotoran yang terhisap selama pesawat beroperasi. Untuk memaksimalkan efisiensi kompresor dan menekan *fuel cost* maka *compressor wash* perlu dilakukan lebih sering agar efisiensi terjaga dan mengurangi *fuel* yang terbuang akibat efisiensi kompresor yang menurun.

Oleh karena itu perlu diadakannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *compressor wash* terhadap TGT Margin dan N3 Margin sehingga dapat disimpulkan waktu terbaik untuk melakukan *compressor wash* agar dapat dihasilkan *on-wing life* maksimal dan *fuel-burn* minimal.

1.2 Identifikasi Masalah

Biaya perawatan dan harga bahan bakar pada mesin pesawat sangatlah tinggi, tidak terkecuali pada mesin-mesin baru. Dan dimana perkembangan pesawat udara di Indonesia semakin banyak sehingga menjaga performa mesin untuk mendapatkan usia maksimal dan mengkonsumsi bahan bakar secara minimal sangat penting. Untuk itu penulis ingin membahas pengaruh *compressor wash* terhadap TGT Margin dan N3 Margin untuk mendapatkan kapan waktu yang paling tepat untuk melakukan *compressor wash* agar dapat mendapatkan usia pakai mesin yang lebih lama dan mesin yang lebih efisien.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah: “Pengaruh *Compressor Wash* terhadap *Turbine Gas Temperature Margin* dan *N3 Margin* pada *Engine Rolls-Royce Trent 700*”

1.4 Batasan Masalah

Dengan tujuan agar penelitian ini lebih terarah dan mencapai tujuan yang diharapkan, maka penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Maintenance yang dilakukan dibatasi pada 3 mesin Trent 700 yang terpasang pada pesawat Airbus A330 dengan registrasi PK-GPL dan PK-GPU
2. 3 mesin yang dianalisa dengan ESN (*Engine Serial Number*) sebagai berikut:
 - 41839
 - 42459

- 42460
3. Parameter temperatur yang digunakan adalah *Turbine Gas Temperature (TGT) Margin on hot day* dengan nilai margin minimum 0°C.
 4. Parameter putaran *high pressure shaft (N3)* yang digunakan adalah *N3 margin* dengan nilai margin minimum 0% atau putaran N3 100%.

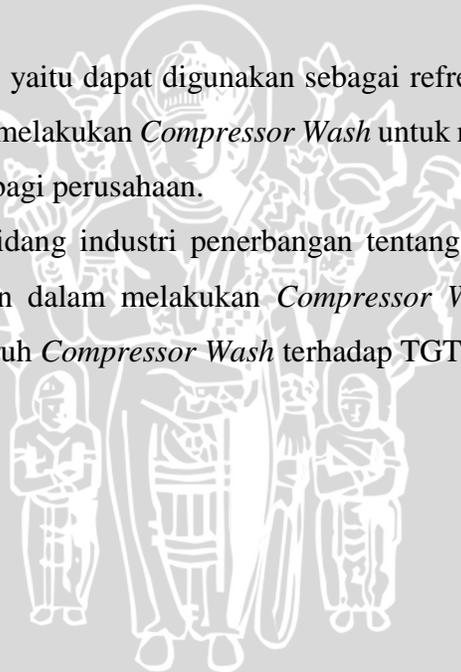
1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh *compressor wash* yang dilakukan pada interval waktu 500 *cycle* terhadap *TGT margin* dan *N3 margin* serta hasil yang ditimbulkan dari perlakuan tersebut.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu dapat digunakan sebagai referensi dalam menentukan waktu yang tepat dan efisien untuk melakukan *Compressor Wash* untuk mendapatkan hasil yang maksimal serta biaya yang efisien bagi perusahaan.

memberikan masukan pada bidang industri penerbangan tentang waktu yang tepat dan parameter yang harus diperhatikan dalam melakukan *Compressor Wash*, dan memberikan tambahan informasi tentang pengaruh *Compressor Wash* terhadap TGT dan N3 pada mesin.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

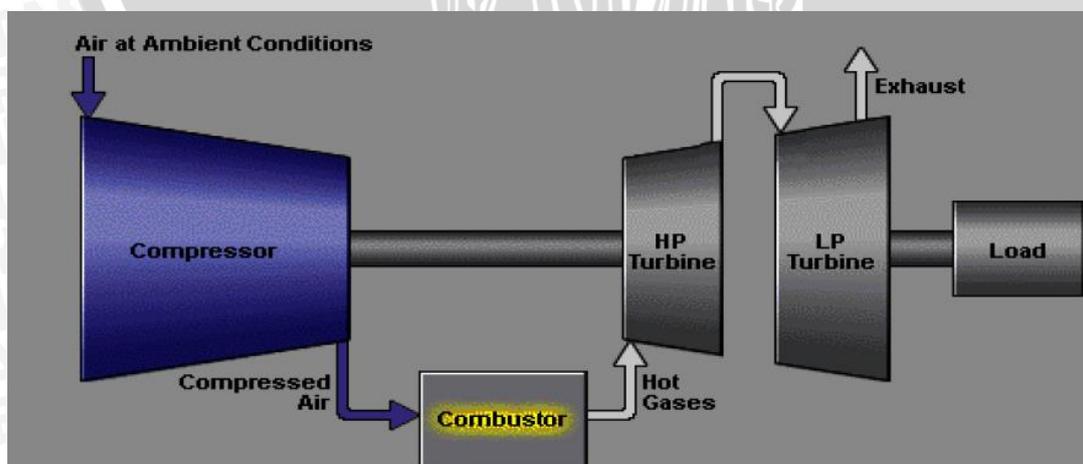
2.1 Pengertian Turbin Gas

Turbin gas adalah *internal combustion engine* yang menggunakan gas sebagai fluida kerja. Mesin ini mengekstrak energi kimia dari bahan bakar dan mengubahnya menjadi energi mekanik menggunakan fluida kerja untuk menggerakkan mesin dan turbin yang kemudian menggerakkan pesawat tersebut.

Prinsip kerja turbin gas adalah udara masuk ke kompresor melalui inlet. Kompresor berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara yang mengakibatkan temperatur juga meningkat. Udara yang telah dikompresi ini masuk kedalam ruang bakar. Didalam ruang bakar udara yang telah dikompresi tadi dicampur dengan bahan bakar dan menyebabkan proses pembakaran. Proses pembakaran berlangsung dalam tekanan konstan sehingga ruang bakar dapat dikatakan hanya untuk menaikkan temperatur. Gas hasil pembakaran kemudian dialirkan menuju turbin dimana daya dari turbin digunakan untuk memutar kompresor dan memutar beban lainnya seperti generator listrik, dll. Setelah melalui turbin gas akan dibuang melalui saluran buang (*exhaust*).

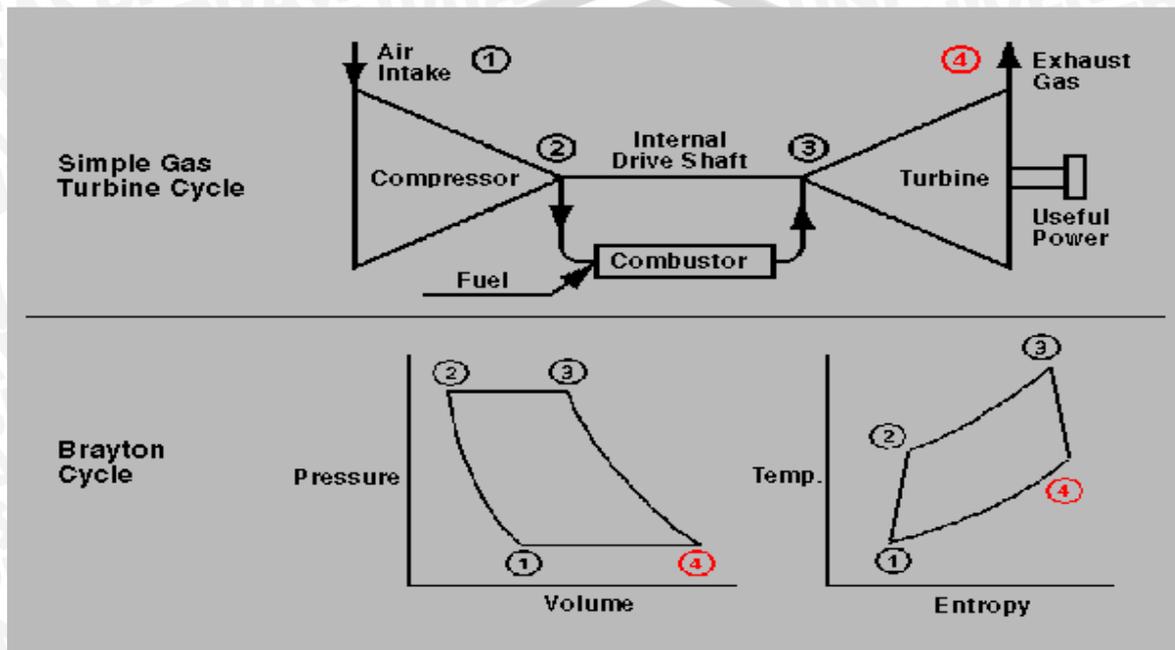
Proses yang terjadi pada turbin gas sebagai berikut:

1. Kompresi, dimana udara dihisap dan dimampatkan.
2. Pembakaran, dimana udara dicampur dengan bahan bakar dan dibakar.
3. Ekspansi, dimana gas hasil pembakaran keluar menuju turbin.
4. Pembuangan, dimana gas hasil pembakaran dikeluarkan melalui *exhaust*.



Gambar 2.1 Diagram Turbin Gas
Sumber: <http://frame9e.blogspot.co.id/>

Siklus brayton adalah siklus termodinamika ideal dan konsep dasar untuk turbin gas, sehingga saat ini siklus brayton sangat populer digunakan dalam analisa dan *upgrade* performa dari turbin gas. Siklus brayton terdiri dari proses kompresi isentropik dan diakhiri dengan proses pelepasan panas pada tekanan konstan. Pada siklus brayton tiap-tiap proses dapat dianalisa sebagai berikut:



Gambar 2.2 Siklus Brayton
Sumber: <http://frame9e.blogspot.co.id/>

- Proses 1-2 (kompresi isentropik)

Udara atmosfer masuk ke dalam sistem turbin gas melalui sisi inlet kompresor. Oleh kompresor, udara dikompresikan sampai tekanan tertentu diikuti dengan volume ruang yang menyempit. Proses ini tidak diikuti dengan perubahan entropi, sehingga disebut proses isentropik. Proses ini ditunjukkan dengan angka 1-2 pada kurva di bawah.

Kerja yang dibutuhkan oleh kompresor adalah $W_c = m_a (h_2 - h_1)$

- Proses 2-3, pemasukan bahan bakar pada tekanan konstan.

Pada tahap 2-3, udara terkompresi masuk ke ruang bakar. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar, dan diikuti dengan proses pembakaran bahan bakar tersebut. Energi panas hasil pembakaran diserap oleh udara (q_{in}), meningkatkan temperatur udara, dan menambah volume udara. Proses ini tidak mengalami kenaikan tekanan udara,

karena udara hasil proses pembakaran bebas berekspansi ke sisi turbin. Karena tekanan yang konstan inilah maka proses ini disebut isobarik.

Jumlah kalor yang dihasilkan: $Q_a = (m_a + m_f) (h_3 - h_2)$

- Proses 3-4, ekspansi isentropik didalam turbin.

Udara bertekanan yang telah menyerap panas hasil pembakaran, berekspansi melewati turbin. Sudu-sudu turbin yang merupakan nozzle-nozzle kecil berfungsi untuk mengkonversikan energi panas udara menjadi energi kinetik. Sebagian energi tersebut dikonversikan turbin untuk memutar kompresor. Pada sistem pembangkit listrik turbin gas, sebagian energi lagi dikonversikan turbin untuk memutar generator listrik. Sedangkan pada mesin turbofan, energi panas dikonversikan menjadi daya untuk memutar kompresor kembali dan memutar *shaft* yang menghubungkan ke *fan* besar didepan mesin yang mendorong udara kebelakang.

Daya yang dibutuhkan turbin: $W_T = (m_a + m_f) (h_3 - h_4)$

- Proses 4-1, pembuangan panas pada tekanan konstan ke udara.

Tahap selanjutnya adalah pembuangan udara kembali ke atmosfer. Pada siklus Brayton ideal, udara yang keluar dari turbin ini masih menyisakan sejumlah energi panas. Panas ini diserap oleh udara bebas, sehingga secara siklus udara tersebut siap untuk kembali masuk ke tahap 1-2 lagi.

Jumlah kalor yang dilepas: $Q_R = (m_a + m_f) (h_4 - h_1)$

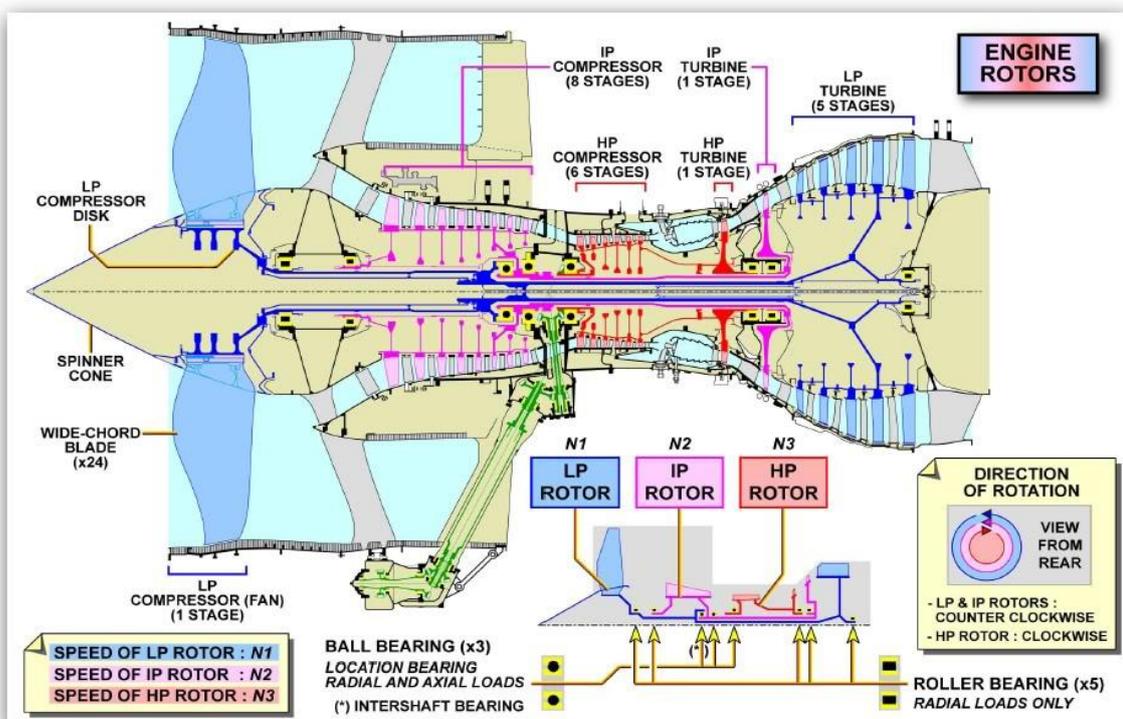
bagian turbin pada mesin gas turbin memiliki fungsi untuk menghasilkan tenaga pada shaft dan menggerakkan pesawat. Tambahannya mesin ini juga harus memberikan tenaga pada shaft untuk memutar compressor dan aksesoris mesin yang lain.

Masa udara yang besar harus disuplai kedalam turbin untuk menghasilkan tenaga yang cukup. Massa udara ini disuplai oleh compressor bertipe aksial yang bekerja dengan menggunakan serangkaian *airfoil fan* untuk mengkompresi aliran udara. Kompresor ini memasukan udara ke mesin dan mengkompresinya untuk menghasilkan udara bertekanan tinggi pada turbin. Kompresor melakukan ini dengan mengubah energi dari turbin menjadi energi gas dalam bentuk tekanan dan temperatur.

Jika kompresor dan turbin 100% efisien, kompresor akan mensuplai seluruh udara yang dibutuhkan kedalam turbin. Disaat yang bersamaan turbin juga akan mensuplay tenaga yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor. Tetapi hal ini tidak mungkin karena ada kerugian gesek dan inefisiensi sistem mekanik. Tambahan energi harus ditambahkan ke

udara untuk menutupi kerugian ini. Tenaga keluaran juga dibutuhkan tidak hanya untuk menggerakkan kompresor. Tetapi juga untuk menggerakkan shaft yang dibutuhkan untuk menggerakkan pesawat. Tambahan energi ini dihasilkan dari proses pembakaran, energi kimia dari bahan bakar kimia dirubah menjadi energi gas dalam bentuk temperatur dan kecepatan yang tinggi. Di turbin energi ini dirubah menjadi energi mekanik untuk menghasilkan tenaga untuk memutar shaft dan kompresor.

Turbofan adalah mesin turbin gas yang kompresor pertamanya memiliki diameter lebih besar dari mesin turbin gasnya. Bagian kompresor pertama ini disebut juga *fan* atau kipas. Udara yang lewat pada bagian dalam kipas ini masuk ke bagian kompresor selanjutnya dan kemudian dikompres dan di proses melalui mesin hingga keluar dari sisi pembuangan. Sementara udara yang lewat pada diameter luar dari mesin tidak masuk ke inti mesin, tetapi langsung keluar kebelakang menghasilkan gaya dorong. Bagian udara ini disebut udara *bypass*. Dan rasio perbandingan udara *bypass* ini dengan udara yang masuk ke inti mesin disebut *bypass ratio*. Udara yang berakselerasi melalui bagian *bypass* ini berkontribusi signifikan pada gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin, terutama pada kecepatan yang lambat dan ketinggian yang rendah. Pada mesin yang besar yang mentenagai pesawat-pesawat besar seperti Airbus A330, sekitar 75% gaya dorong pada pesawat dihasilkan dari udara *bypass* ini.



Gambar 2.3 Rolls-Royce Trent 700
Sumber: Rolls-Royce Engine Manuals

Kondisi *turbofan* dapat dilihat dan dianalisa dari beberapa parameter penting yang ditampilkan pada ECAM (electronic centralized aircraft monitor) pada bagian kokpit pesawat dan parameter-parameter ini harus diperhatikan setiap waktu sesuai petunjuk yang ada. Diantara parameter-parameter penting yang ada adalah:

1. Engine Pressure Ratio

Engine pressure ratio atau EPR adalah nilai yang digunakan untuk menentukan gaya dorong yang dihasilkan dari mesin. EPR menunjukkan perbandingan tekanan udara saat udara keluar dari turbin dengan tekanan udara saat udara masuk ke kompresor. EPR adalah alat ukur yang diakui dan disertifikasi sebagai alat ukur untuk mengukur gaya dorong. Beberapa pabrikan mesin merekomendasikan manajemen daya mesin dilakukan dengan referensi dari EPR.

Nilai EPR yang rendah bisa diakibatkan dari turunnya daya mesin tanpa diperintah atau terjadi *engine flameout* atau ada kerusakan internal mesin seperti kerusakan LPT (*low pressure turbine*). Fluktuasi nilai EPR yang cepat biasanya disebabkan oleh pengoperasian mesin yang tidak stabil seperti *surge*, atau perubahan kondisi eksternal secara cepat seperti cuaca atau masuknya burung atau benda asing lain kedalam mesin. Dan tingginya nilai EPR mengindikasikan gagalnya fungsi control bahan bakar atau tersumbatnya bagian pengukur tekanan udara didalam mesin.

2. Rotor RPM

Pada pesawat yang menggunakan mesin turbin multi *shaft*, akan ada indikator yang menunjukkan kecepatan putaran shaft pada masing-masing shaft. Indikator N1 akan menunjukkan kecepatan putaran shaft pada bagian low pressure shaft, sementara N2 akan menunjukkan kecepatan putaran shaft pada bagian high pressure shaft, atau pada mesin yang memiliki 3 shaft maka N2 akan menunjukkan intermediate pressure shaft dan N3 yang menunjukkan high pressure shaft.

Satuan dari putaran shaft adalah RPM atau rotasi permenit atau RPM, tetapi putaran ini mengindikasikan perbandingan non-dimensional sehingga putaran shaft akan dikomparasikan dengan nominal kecepatan 100% yang merepresentasikan kondisi daya tinggi tetapi belum tentu sebagai kecepatan putar maksimum. Pada buku manual pengoperasian mesin biasanya menunjukkan bahwa batas atas limit putaran atau redline RPM biasanya diatas 100%.

Nilai N1 yang rendah mengindikasikan turunnya daya mesin tanpa diperintah (*engine rollback*) atau terjadinya *flameout* pada mesin atau kerusakan yang parah pada

bagian turbin *low pressure*. Fluktuasi nilai N3 secara cepat biasanya disebabkan oleh pengoperasian mesin yang tidak stabil seperti *surge*, atau perubahan kondisi eksternal secara cepat seperti cuaca atau masuknya burung atau benda asing lain kedalam mesin. Dan tingginya nilai N3 mengindikasikan gagalnya fungsi control bahan bakar atau tersumbatnya bagian pengukur tekanan udara didalam mesin. Kondisi N3 yang tinggi akan dibutuhkan pada landasan yang memiliki ketinggian yang tinggi untuk mencapai *takeoff thrust*.

N2 atau pada mesin dengan 3 shaft disebut N3 digunakan untuk keperluan monitor batasan operasi dan memonitor kondisi operasi. Pada mesin lama ini biasa digunakan untuk memonitor perkembangan dari start mesin dan menentukan waktu yang tepat untuk mulai memasukan bahan bakar pada mesin.

3. Exhaust Gas Temperature

Temperatur gas buang atau EGT adalah pengukuran untuk mengukur temperatur dari udara yang keluar dari mesin di bagian turbin. Karena posisi sensor temperatur berbeda-beda disetiap mesin maka EGT tidak bisa dibandingkan antara satu mesin dengan mesin yang lain. Biasanya ada banyak sensor di bagian keluar turbin untuk memonitor EGT dan indikator pada EGT menunjukkan rata-rata pembacaan dari setiap sensor tersebut.

Nilai EGT yang tinggi bisa mengindikasikan penurunan performa dari mesin. Mesin yang terdeteriorasi akan menunjukkan nilai EGT yang sangat tinggi pada saat mesin bekerja pada posisi maksimal yaitu pada posisi *takeoff* dimana mesin menghasilkan tenaga terbesarnya pada saat *takeoff*.

EGT juga digunakan untuk memonitor kesehatan mesin dan bagian-bagian dari mesin. Nilai EGT yang tinggi adalah indikator utama dari mesin yang *stall* (terganggunya aliran udara pada mesin yang mengakibatkan turunnya daya mesin secara tiba-tiba), sulit dinyalakan, kebocoran besar pada sistem distribusi udara atau situasi lain yang mana turbin tidak menghasilkan daya yang cukup dikarenakan kerusakan mesin yang parah.

Ada batasan operasional pada EGT, dikarenakan nilai EGT yang sangat tinggi bisa mengakibatkan kerusakan turbin. Batasan operasional dari EGT bisanya ditentukan dengan suhu per waktu. Sebagai contoh pada mesin Rolls-Royce Trent 700 memiliki batasan EGT 700⁰C pada saat *start-up* dan batasan EGT secara kontinyu pada 850⁰C dan batasan maksimum EGT sebesar 900⁰C selama 5 menit atau 10 menit pada kondisi

operasi satu mesin dan batasan EGT sebesar 920⁰C tidak lebih dari 20 detik. Pada sebagian mesin EGT disebut juga dengan TGT (*turbine gas temperature*).

OPERATING CONDITION	TIME LIMIT	EGT LIMIT	NOTE
TAKEOFF ⁽¹⁾ AND GO-AROUND	20 s	920 °C	
	5 min	900 °C	Only in case of engine failure
	10 min		
MCT	Unlimited	850 °C	
STARTING		700 °C	On ground
		850 °C	In flight

⁽¹⁾ includes TOGA, FLEX, and DERATE \leq thrust modes.

Gambar 2.4 Batasan EGT pada Trent 700
Sumber: Flight Crew Operation Manual A330

4. Fuel Flow Indicator

Indikator aliran bahan bakar menunjukkan jumlah bahan bakar dari nosel yang mengalir masuk ke mesin per jam. Laju aliran bahan bakar adalah perhatian utama dalam memonitor konsumsi bahan bakar pada penerbangan dan untuk mengecek performa mesin.

Laju aliran bahan bakar yang tinggi menunjukkan kebocoran signifikan pada bagian control bahan bakar atau nosel bahan bakar. Hal ini terjadi jika laju aliran bahan bakar yang tinggi diimbangi dengan pembacaan kecepatan shaft dan EPR yang normal atau normal.

5. Oil Pressure Indicator

Indikator tekanan oli menunjukkan tekanan oli yang keluar dari pompa oli. Tekanan oli yang rendah bisa diakibatkan oleh pompa yang rusak atau adanya kebocoran pada sistem pelumasan atau dari bantalan atau kerusakan *gearbox*. Tekanan oli maksimal bisa terjadi disaat temperature yang saat rendah karena viskositas oli ada pada titik maksimumnya.

6. Vibration Indication

Indikator fibrasi adalah jumlah getaran yang diukur pada bagian *low pressure shaft* atau *high pressure shaft*. Fibrasi ditampilkan dengan satuan tanpa dimensi dan digunakan untuk memonitor mesin, dan mengidentifikasi mesin setelah kemasukan benda asing dan juga untuk mendeteksi ketidak seimbangan bilah kipas yang

diakibatkan oleh es yang menumpuk di bilah kipas. Level fibrasi akan berubah mengikuti putaran mesin.

Kondisi turbin gas dapat dilihat dan dianalisa dari beberapa parameter utama diantaranya adalah temperatur gas buang pada suatu besaran daya dan putaran turbin dalam menghasilkan suatu besaran daya. Semakin tinggi temperatur gas buang (TGT) menandakan efisiensi mesin yang kurang karena berarti semakin banyak bahan bakar yang dipakai untuk menghasilkan suatu besaran daya tersebut. Dan putaran shaft turbin (N3) yang semakin tinggi menandakan efisiensi turbin yang semakin rendah karena untuk menghasilkan suatu besaran daya maka semakin efisien mesin maka akan semakin rendah putarannya.

2.2 Airbus A330

Airbus A330 adalah pesawat bermesin ganda, jarak menengah dan jauh dan berbadan lebar yang merupakan saudara pesawat jarak jauh bermesin empat Airbus A340. Dua tipe ini diluncurkan bersamaan pada Januari 1986. Airbus A330-300 mulai servis pada Desember 1994 sementara A330-200 menyusul pada April 1998. Seluruh sertifikasi model A330 terbaru telah menerima 180 menit ETOPs (Extended range twin-engine operation).

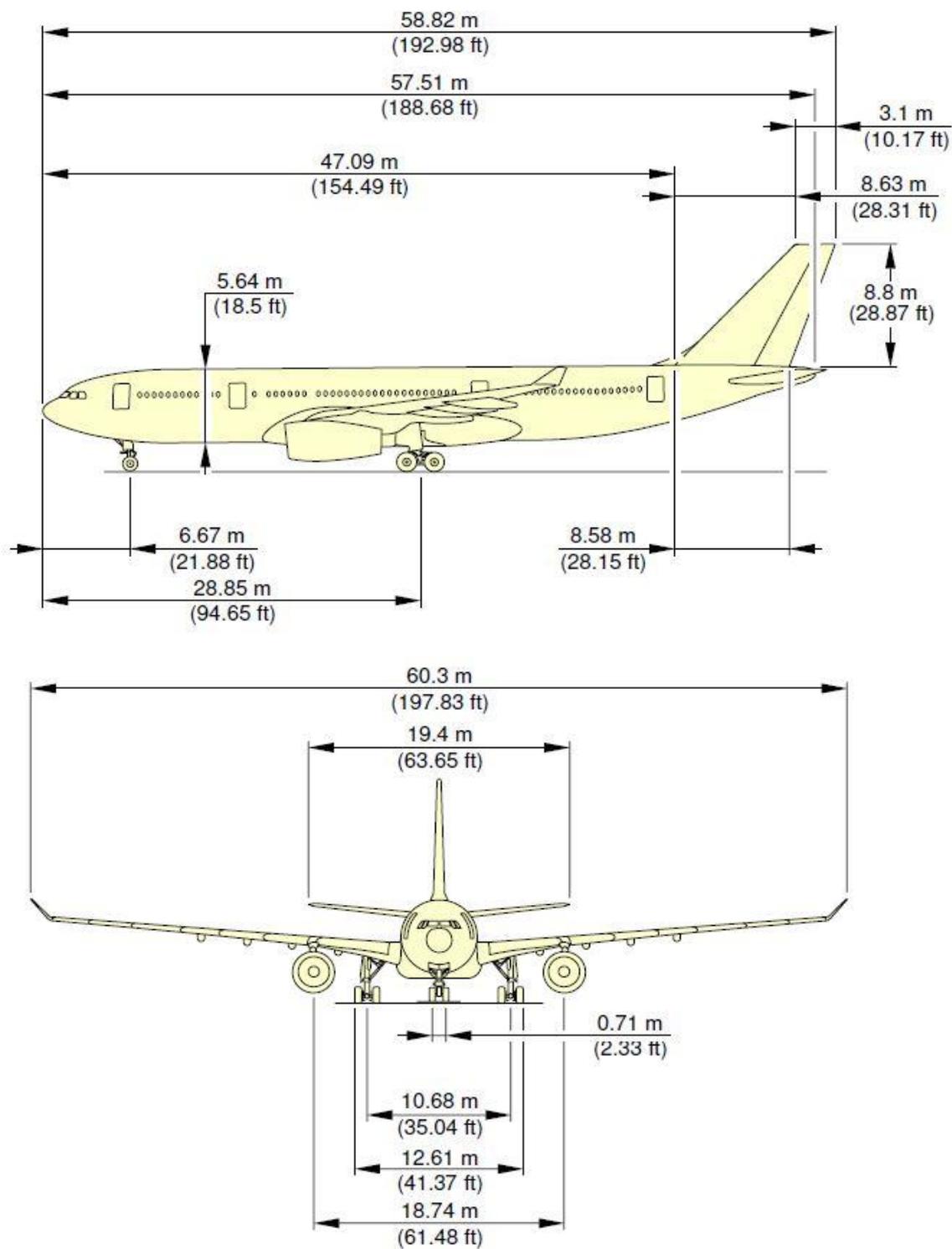


Gambar 2.5 Airbus A330-243 registrasi PK-GPP
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Airbus A330 tersedia dengan 3 pilihan mesin, yaitu:

1. General Electric CF6-80E1,
2. Pratt & Whitney PW4164/8
3. Rolls-Royce Trent 700.

A330-200 mampu terbang sampai 6450nm dengan 240 penumpang, sementara A330-300 yang berbadan lebih panjang mampu terbang hingga 5400nm dengan 300 penumpang.



Gambar 2.6 Dimensi Airbus A330-200

Sumber: *Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning*

Desain *flightdeck* selesai pada tahun 1988 dan identik secara virtual dengan A320. Dengan 6 layar electronic flight instrument system (EFIS) dan side-stick controller. Sama seperti A320, A330 dan saudaranya A340 juga menggunakan digital sistem kontrol fly by wire (FBW). Ini memungkinkan dua pesawat ini untuk mendapat keuntungan dalam common type rating dan cross-crew-qualification (CCQ). A330 dan A340 hanya berbeda pada jumlah throttle mesin dan display mesin sementara struktur sayapnya mirip secara struktur.



Gambar 2.7 Cockpit A330
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Spesifikasi detail pada Airbus A330 registrasi PK-GPP sebagai berikut:

Data Teknis

Manufaktur	: Airbus
Model	: A330-243
Interior	: 32 <i>business</i> , 206 <i>Economy Class</i>
<i>Lavatories</i>	: 6
<i>Galley</i>	: 6

Berat dan kapasitas bahan bakar

<i>Maximum Taxi Weight</i>	: 233,900 Kg
<i>Maximum Take-Off Weight</i>	: 233,000 Kg
<i>Maximum Landing Weight</i>	: 182,000 Kg
<i>Zero Fuel Weight</i>	: 170,000 Kg
Berat Kosong	: 116,000 Kg
Kapasitas total bahan bakar	: 139,090 Liter

2.3 Rolls-Royce Trent 700

Trent 700 adalah mesin pertama diantara mesin tersukses dikelas trent. Trent 700 menjadikan dirinya sebagai mesin pilihan bagi pesawat A330 dengan lebih dari 58% *market share*. Sejak diluncurkan oleh cathay pacific pada maret 1995 Trent 700 telah membukukan lebih dari 31 juta jam terbang dan mengakumulasikan lebih dari 430.000 jam service setiap bulan.



Gambar 2.8 Rolls-Royce Trent 772B-60
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Trent 700 memberikan kebutuhan tenaga untuk semua kelas berat A330 dan terutama untuk beban berat yang beroperasi di lingkungan yang ekstrim. Ini dibuktikan dengan lebih dari 70% A330 yang beroperasi di timur tengah ditenagai oleh Trent 700. Dengan *thrust* tertinggi yang beroperasi adalah 72.000 lb, Trent 700 memberikan take-off performance

terbaik dan potensi keuntungan bagi operator dari A330. Mesin ini didesain dengan material yang mampu menahan tekanan dan temperatur yang dibutuhkan untuk 75.000 lb thrust.

Desain 3 shaft dari keluarga Trent RB211 berarti memiliki lebih sedikit tahap dari mesin kompetitor, biaya perawatan yang lebih rendah, lebih ringan dan retensi kinerja yang lebih baik. Trent 700 adalah mesin pertama yang menggunakan bilah kipas lebar. Bilah ini dibentuk secara plastis dan ikatan difusi sehingga memberikan perlindungan dari benda asing dan juga berkontribusi pada lebih rendahnya biaya perawatan dan suara yang lebih rendah. Mesin dengan waktu on-wing tertinggi adalah 34.744 jam tanpa *shop visit*.

Trent 700 efisiensi ditingkatkan dengan diperkenalkannya Trent 772B rating dan dilanjutkan dengan diperkenalkannya Trent 700EP pada 2009 yang termasuk beberapa modifikasi yang terinspirasi dari tipe terbaru dari keluarga trent sehingga menghasilkan pengurangan fuel burn lebih dari 1%.

Spesifikasi RR Trent 772B-60:

Deskripsi	: <i>High by-pass turbo-fan</i>
Konfigurasi	: <i>Three-shaft turbofan</i>
Kompresor	: <i>LP Single stage fan</i> <i>IP 8 stage, axial flow</i> <i>HP 6 stage, axial flow</i>
<i>Bypass ratio</i>	: 5.05:1
<i>Pressure ratio</i>	: 35.3:1 di kondisi sea level ISA
<i>Combustion chamber</i>	: <i>Anular</i>
Turbin	: LP 4 stage, axial flow IP 1 stage, axial flow HP 1 stage, axial flow
Dimensi	: Panjang 5639 mm Radius maksimum 1372mm
Berat	: 6160 kg
Panjang	: 3.91 m
Thrust rating	: take-off thrust 316.3 kn (71100 lbf) Maximum Continuous Thrust 282.7 kN (63560 lbf)

2.4 Compressor Wash

Compressor wash adalah salah satu perawatan yang dilakukan pada mesin turbofan. Secara umum pengertian perawatan adalah kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau

peralatan dan mengadakan kegiatan pemeliharaan, perbaikan, dan penggantian sebagian peralatan yang diperlukan agar sarana fasilitas pada kondisi yang diharapkan. Beberapa tujuan dari perawatan adalah untuk memperpanjang usia pakai peralatan, menjamin peralatan selalu siap digunakan tanpa masalah dan menghindari kerugian akibat kerusakan dari peralatan yang tidak terawat.

Perawatan dibedakan menjadi beberapa macam, diantaranya:

1. Preventive Maintenance

Preventive maintenance adalah perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan atau kerusakan pada suatu alat, dimana sebelumnya sudah dilakukan perawatan untuk mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan yang akan terjadi. Tujuan dari preventive maintenance adalah untuk mendeteksi lebih awal terjadinya kerusakan dan meminimalisasi terjadinya kerusakan yang disebabkan kerusakan sistem.

2. Time Directed Maintenance

Time directed maintenance dilakukan apabila variabel waktu dari komponen diketahui. Perawatan ini dilakukan secara berjadwal untuk memperbaiki atau mengganti komponen pada interval waktu tertentu.

3. Condition Based Maintenance

Condition Base Maintenance merupakan aktivitas perawatan pencegahan yang dilakukan berdasarkan kondisi tertentu dari suatu komponen atau sistem, yang bertujuan untuk mengantisipasi sebuah komponen atau sistem agar tidak mengalami kerusakan.

Kompresor adalah mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan atau memampatkan fluida gas atau udara. Kompresor biasanya menggunakan motor listrik, mesin diesel atau mesin bensin sebagai tenaga penggerak. Secara umum kompresor dibedakan menjadi dua jenis yaitu kompresor dinamis dan kompresor perpindahan positif.

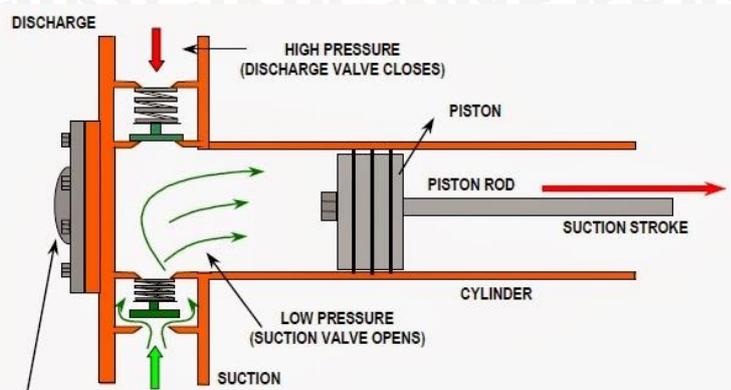
1. Kompresor perpindahan positif

Kompresor perpindahan positif dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu kompresor piston dan kompresor putar

- Kompresor piston

Kompresor piston kerja adalah kompresor yang memanfaatkan perpindahan piston, kompresor jenis ini menggunakan piston yang didorong oleh poros engkol (crankshaft) untuk memampatkan udara/ gas. Udara akan masuk ke

silinder kompresi ketika piston bergerak pada posisi awal dan udara akan keluar saat piston/torak bergerak pada posisi akhir/depan.

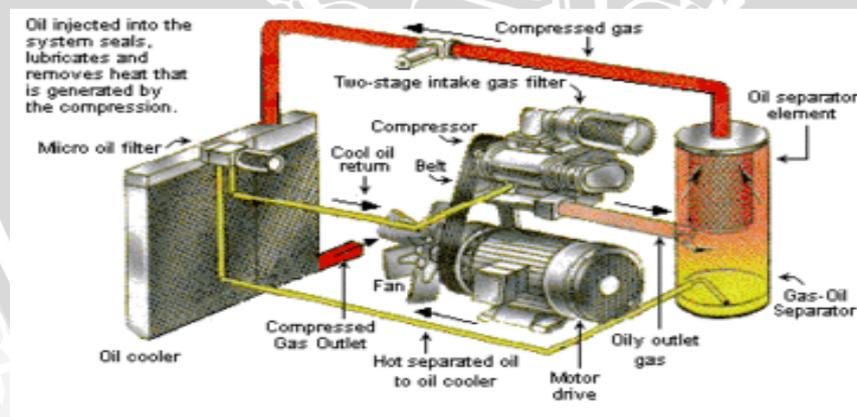


Gambar 2.9: Kompresor torak

Sumber:<http://trikuenids.blogspot.co.id/2014/03/PengertianKompresor.html>

- Kompresor putar

Kompresor screw merupakan jenis kompresor dengan mekanisme putar perpindahan positif, yang umumnya digunakan untuk mengganti kompresor piston, bila diperlukan udara bertekanan tinggi dengan volume yang lebih besar.



Gambar 2.10: Kompresor screw

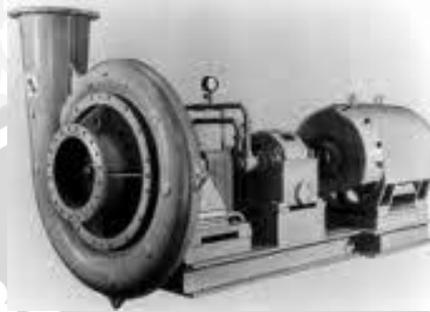
Sumber:<http://trikuenids.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Kompresor.html>

2. Kompresor dinamis

Kompresor dinamis dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu kompresor sentrifugal dan kompresor aksial.

- Kompresor sentrifugal

Kompresor sentrifugal merupakan kompresor yang memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh impeller untuk mempercepat aliran fluida udara (gaya kinetik), yang kemudian diubah menjadi peningkatan potensi tekanan (menjadi gaya tekan) dengan memperlambat aliran melalui diffuser.

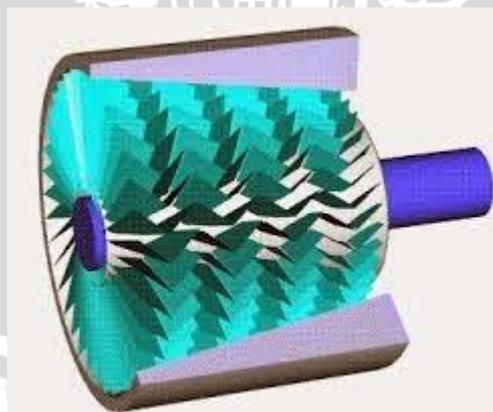


Gambar 2.11: Kompresor sentrifugal

Sumber:<http://trikuenids.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Kompresor.html>

- Kompresor aksial

Kompresor aksial adalah kompresor yang berputar dinamis yang menggunakan serangkaian kipas airfoil untuk semakin menekan aliran fluida. Aliran udara yang masuk akan mengalir keluar dengan cepat tanpa perlu dilemparkan ke samping seperti yang dilakukan kompresor sentrifugal. Kompresor aksial secara luas digunakan dalam turbin gas/udara seperti mesin jet, mesin kapal kecepatan tinggi, dan pembangkit listrik skala kecil.



Gambar 2.12: Kompresor aksial

Sumber:<http://trikuenids.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Kompresor.html>

Compressor wash adalah prosedur rutin dalam perawatan turbin gas, prosedur ini adalah prosedur yang paling *cost effective* dalam perawatan mesin jet. Perawatan ini dilakukan

dengan menggunakan *compressor wash rig* yang berupa tabung penyimpanan air yang dilengkapi water heater yang bertujuan untuk memanaskan air dan juga pompa untuk menyemprotkan air. Compressor wash dilakukan dengan cara memasang 2 nozzle yang terhubung ke *compressor wash rig* ke bagian kompresor mesin jet. lalu dilakukan *dry crankning* pada mesin dan air yang sudah dipanaskan dalam suhu 70°C didalam *compressor wash rig* tersebut disemprotkan langsung kedalam bagian kompresor mesin dengan tekanan tinggi melalui nozzle yang telah dipasang pada bagian kompresor mesin.



Gambar 2.13: Juniper *Compressor Washing Rig*
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Compressor wash bertujuan untuk memperbaiki performa mesin dan memperpanjang usia mesin dengan cara membersihkan mesin dari kontaminan. Perbaikan performa terjadi karena pada mesin gas turbin efisiensi termal adalah perbandingan kerja yang dihasilkan mesin dengan energi kimia yang disuplai dari bahan bakar. 3 faktor penting yang mempengaruhi efisiensi termal adalah temperatur inlet turbin, rasio kompresi dan efisiensi dari komponen kompresor dan turbin. Faktor lain yang mempengaruhi adalah temperatur inlet kompresor dan efisiensi burner.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

dimana:

η_{th} = efisiensi termal siklus Brayton

T_1 = temperatur udara inlet kompresor (atmosfer)

T_2 = temperatur udara outlet kompresor



Gambar 2.14 Proses *compressor washing* pada A330

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Kontaminan pada bagian kompresor mempengaruhi efisiensi termal dan oleh karena itu mempengaruhi performa dari mesin. Tidak hanya mempengaruhi performa, tapi kerusakan pada bagian bilah kompresor karena kontaminan bisa berakibat pada *engine failure*. Kontaminan disebabkan karena pada atmosfer terutama di darat, dipenuhi kontaminan. Ada partikel halus dari debu, minyak, jelaga dan zat asing di udara. Karena volume udara dalam jumlah besar yang masuk dalam kompresor, banyak kontaminan yang masuk ke mesin. Gaya sentrifugal dari kompresor melempar kontaminan kebagian sisi-sisi kompresor sehingga kontaminan menumpuk dan membuat lapisan pada *casing*, *vanes* dan bilah kompresor.



Gambar 2.15 Air dan kontaminan hasil *compressor wash*
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Akumulasi dari kontaminan ini mengurangi efisiensi aerodinamik pada bilah sehingga menghasilkan penurunan performa mesin. Efisiensi bilah menurun seperti pada es yang menumpuk dan mengurangi efisiensi gaya angkat pada sayap. Berkurangnya efisiensi ini menghasilkan akselerasi yang tidak memuaskan dan TGT yang tinggi. Kontaminan, terutama pada daerah operasi yang mengandung banyak garam dapat juga menghasilkan korosi pada komponen mesin.

2.5 Hipotesis

Dalam analisa kali ini hipotesisnya adalah jika dilakukan Compressor Wash maka TGT Margin akan naik dan N3 Margin juga akan naik. Hal ini disebabkan karena Compressor wash membersihkan compressor dari kotoran dan kontaminan sehingga menjadi lebih efisien yang mengakibatkan kinerjanya semakin bagus.

Pada hipotesa waktu compressor wash, semakin sering dilakukan compressor wash maka akan semakin baik dan terjaganya performa Engine. Ini disebabkan karena semakin sering dibersihkan maka kompressor lebih bersih dari kontaminan sehingga kinerjanya menjadi lebih baik yang mengakibatkan semakin baiknya performa engine.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode analisa, yaitu dengan melakukan analisis berdasarkan data yang diterima dari ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*) sehingga dapat mengetahui pengaruh performa Engine terhadap Compressor Wash yang dilakukan.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel ini besarnya bebas ditentukan oleh peneliti tanpa dipengaruhi variabel yang lain. Variabel bebas pada penelitian ini adalah cycle compressor wash. Cycle ini didapat dari data ACARS yang dihitung untuk melakukan compressor wash jika sudah berada pada cycle yang ditentukan yaitu 523 cycle dan 475 cycle.

2. Variabel terikat

Variabel yang nilainya dipengaruhi oleh nilai variabel bebas yang telah ditentukan sebelumnya. Variabel terikat biasanya berhubungan dengan obyek yang ingin diamati pada penelitian. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah TGT Margin @ Max Continuous dan N3 Margin @ Worst Case

3. Variabel terkontrol

Variabel yang dijaga tetap selama proses pengujian berlangsung. Pada penelitian ini variabel terkontrolnya adalah sebagai berikut:

- Temperatur air yang digunakan adalah 70⁰
- Bahaun bakar menggunakan Jet Fuel A-1
- Take-off Thrust 71100 lbf

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada analisis ini yaitu sebagai berikut:

1. Rolls-Royce Web Interface

Web interface digunakan untuk mengambil data-data parameter yang diamati dari sistem ACARS

2. Microsoft Excel

Excel digunakan untuk membuat grafik berupa surface plot untuk dapat mengamati data yang dianalisis

3.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Analisis dilakukan di PT. GMF AeroAsia pada bulan Maret 2015 sampai dengan selesai.

3.5 Metode Pengambilan Data

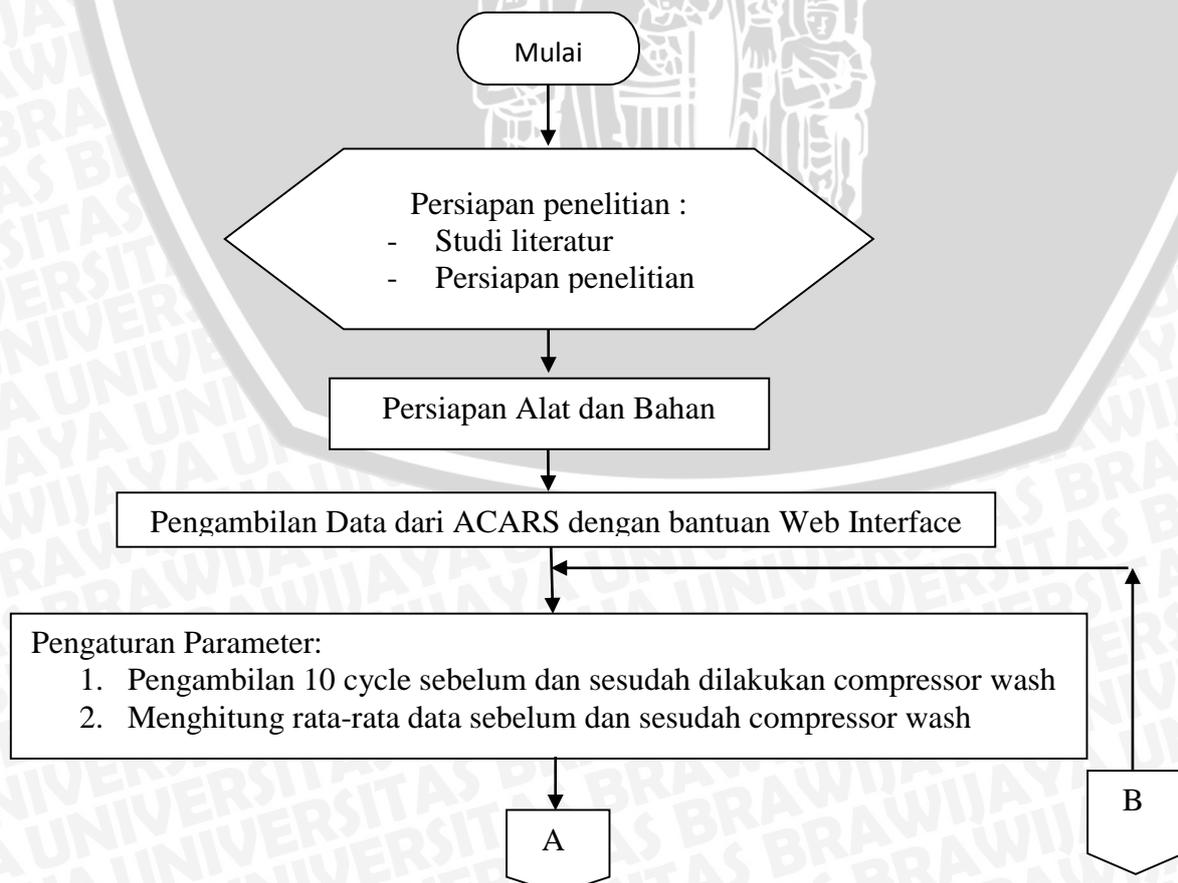
Data TGT Margin dan N3 diambil dari sistem ACARS yang terdapat pada pesawat dengan bantuan web interface yang telah disediakan oleh Rolls-Royce sebagai *engine manufacturer*.

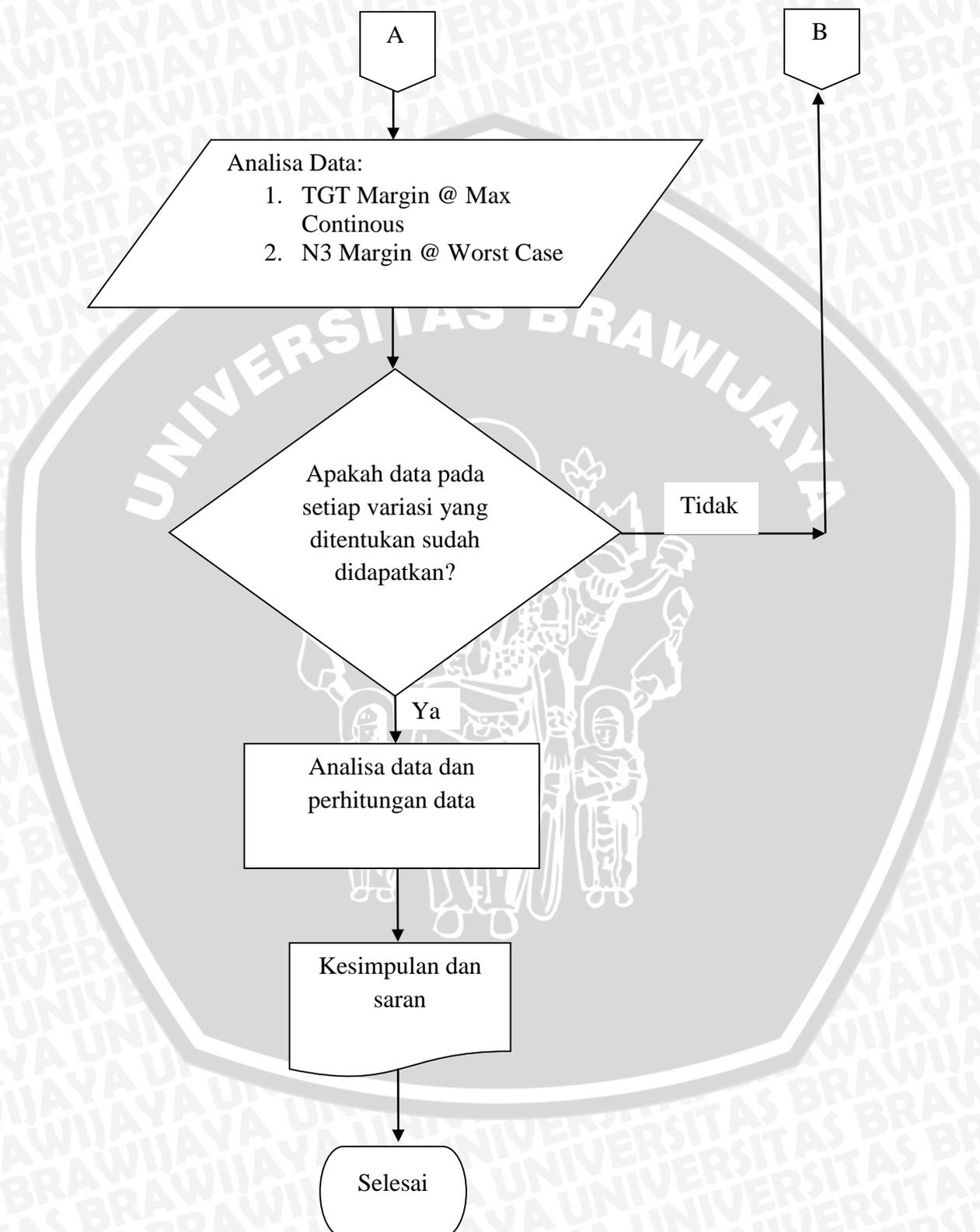
3.6 Metode Pengolahan Data

Langkah pengolahan data adalah dengan menghitung rata-rata nilai pada suatu waktu dengan excel. Perbedaan dalam setiap variasi dianalisis untuk mengerahui pengaruh dari Compressor wash terhadap parameter yang diamati.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat dari gambar diagram alir di bawah ini, yaitu:





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Analisa

Analisis data dilakukan dengan menggunakan data dari 2 mesin Rolls-Royce Trent 700 yaitu mesin dengan ESN 42459 dan 42460 yang terpasang pada pesawat Airbus A330 Garuda Indonesia dengan registrasi PK-GPU. Data yang diambil berasal dari ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System). Pada analisa ini dipilih mesin-mesin tersebut karena terjadi peningkatan putaran N3 yang mencapai limit sehingga dilakukan compressor wash untuk menaikkan N3 marginnya. Data grafik dari ACARS berupa grafik sehingga terlebih dahulu di rubah menjadi data format excel agar dapat diketahui nilai TGT Margin dan N3 Margin pada setiap cycle dan dihitung RoD dan peningkatan sertam penurunan marginnya untuk kemudian dianalisa.

Contoh perhitungan data:

Perhitungan dan Analisa pada ESN 42459 yang terpasang pada PK-GPU.

- Perhitungan RoD

Perhitungan RoD dihitung dengan mengurangi rata-rata 10 cycle pada setiap setelah compressor wash dilakukan dengan rata-rata 10 cycle setelah compressor wash berikutnya dilakukan. Pada PK-GPU, engine dengan ESN 42459 menjalani compressor wash pada tanggal 19 maret 2015 dan 19 desember 2015. Jarak antara compressor wash adalah 523 cycle. Sehingga:

$$\text{RoD} = (\text{average 10 cycle CW1} \div \text{average 10 cycle CW2}) \div \text{total cycle} * 1000 \text{ cycle}$$

$$\text{RoD} = (54.181484 - 48.658818) \div 528 * 1000$$

$$\text{RoD} = -10.55959 \text{ } ^\circ\text{C} / 1000 \text{ cycle}$$

- Perhitungan perbaikan margin setelah dilakukan compressor wash

Perhitungan perbaikan margin setelah compressor wash dihitung dengan mengurangi rata-rata 10 cycle terakhir sebelum compressor wash dilakukan dengan rata-rata 10 cycle pertama setelah compressor wash dilakukan. Pada mesin PK-GPU dengan ESN 42459 yang menjalani compressor wash pada tanggal 19 maret 2015 terlihat rata-rata margin 10 cycle terakhir sebelum dilakukan compressor wash adalah

43,86536 dan rata-rata 10 cycle pertama setelah menjalani compressor wash adalah 54,18148. Sehingga:

$$\begin{aligned}
 &= (\text{average 10 cycle after CW1} - \text{average first 10 cycle before CW1}) \\
 &= 54,18148 - 43,86536 \\
 &= 10,31613
 \end{aligned}$$

- Perhitungan penurunan margin setelah compressor wash

Perhitungan penurunan margin setelah compressor wash dihitung dengan mengurangi rata-rata 10 cycle pertama setelah compressor wash dilakukan dengan 10 cycle terakhir sebelum compressor wash berikutnya dilakukan. Pada mesin PK-GPU dengan ESN 42459 yang menjalani compressor wash pada tanggal 19 maret 2015 terlihat rata-rata margin 10 cycle pertama setelah dilakukan compressor wash adalah 54,18148 dan rata-rata 10 cycle terakhir sebelum compressor wash berikutnya dilakukan adalah 40,63367. Sehingga:

$$\begin{aligned}
 &= (\text{average 10 cycle after CW1} - \text{average last 10 cycle before CW2}) \\
 &= 54,18148 - 40,63367 \\
 &= 13,54782
 \end{aligned}$$

- Analisa data TGT Margin

Pada analisa data TGT margin, data yang ada berupa grafik tanggal terhadap temperature TGT Margin yang kemudian dirubah ke bentuk excel untuk bisa dianalisa data per cycle.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	PK-GPU	TGT Margin - Worst Case	Take-off					
2	ESN	ACID	ENGPO	ReportDate	DSC	TGT Margin - Worst Case	TGT Margin - Worst Case Ci Cleaned And Smoothed Value	TGT Margin - Worst Case Data Mean
3	42459	PK-GPU	1	10/1/2014 7:05	Take-off	59.07245	55.29781	
4	42459	PK-GPU	1	10/1/2014 10:43	Take-off	54.34373	55.23353	
5	42459	PK-GPU	1	10/1/2014 15:57	Take-off	55.21843	55.26429	55.42157
6	42459	PK-GPU	1	10/1/2014 23:12	Take-off	53.77578	55.13722	55.3722
7	42459	PK-GPU	1	10/2/2014 7:12	Take-off	61.77453	55.87081	55.56427
8	42459	PK-GPU	1	10/2/2014 17:24	Take-off	52.60052	55.58065	55.47535
9	42459	PK-GPU	1	10/3/2014 1:36	Take-off	52.5875	55.30214	55.38872
10	42459	PK-GPU	1	10/4/2014 3:30	Take-off	52.86145	55.06631	55.3129
11	42459	PK-GPU	1	10/4/2014 7:08	Take-off	60.41711	55.65025	55.46603
12	42459	PK-GPU	1	10/4/2014 11:01	Take-off	55.01773	55.62323	55.45258
13	42459	PK-GPU	1	10/5/2014 1:54	Take-off	59.31907	56.05533	55.56857
14	42459	PK-GPU	1	10/7/2014 10:53	Take-off	56.18653	56.12601	55.58711
15	42459	PK-GPU	1	10/7/2014 16:01	Take-off	53.43151	55.89495	55.52244
16	42459	PK-GPU	1	10/7/2014 23:00	Take-off	52.28027	55.55064	55.42518
17	42459	PK-GPU	1	10/8/2014 7:38	Take-off	55.35697	55.55234	55.42313
18	42459	PK-GPU	1	10/8/2014 10:42	Take-off	53.84938	55.39149	55.37592
19	42459	PK-GPU	1	10/8/2014 15:58	Take-off	54.54435	55.31284	55.35097
20	42459	PK-GPU	1	10/9/2014 7:13	Take-off	57.41151	55.54449	55.41279

Gambar 4.1 Data excel TGT Margin PK-GPU

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada data excel terlihat ada kenaikan margin pada tanggal 21 maret 2015 dan 20 desember 2015 yang terjadi akibat dilakukannya compressor wash. Setelah grafik di convert ke excel maka terlihat kenaikan 7°C pada rata-rata 5 cycle sebelum dan sesudah compressor wash.

- Analisa data N3 Margin

Pada analisa data N3 Margin, data yang ada berupa grafik waktu take-off terhadap N3 Margin yang kemudian dirubah ke format excel untuk bisa dianalisa data margin per cycle.

	A	C	D	F	G	H
1	PK-GPU Take-off					
2	ESN	ENGPO	ReportDate	HPS Speed Margin - Worst Case	HPS Speed Margin - Worst Case Data Mean	HPS Speed Margin - worst case exponentially
3	42459	1	1/10/2014 7:05	1.082131		1.195655
4	42459	1	1/10/2014 10:43	1.225705		1.19866
5	42459	1	1/10/2014 15:57	1.10072	1.170531	1.188866
6	42459	1	1/10/2014 23:12	1.237593	1.172543	1.193739
7	42459	1	2/10/2014 7:12	1.126877	1.171173	1.187053
8	42459	1	2/10/2014 17:24	0.9510421	1.164569	1.163452
9	42459	1	3/10/2014 1:36	1.249187	1.167108	1.172025
10	42459	1	4/10/2014 3:30	1.182703	1.167576	1.173093
11	42459	1	4/10/2014 7:08	1.30133	1.171588	1.185917
12	42459	1	4/10/2014 11:01	1.309385	1.175722	1.198263
13	42459	1	5/10/2014 1:54	1.060084	1.172253	1.184445
14	42459	1	7/10/2014 10:53	1.109357	1.170366	1.176937
15	42459	1	7/10/2014 16:01	0.9436333	1.163564	1.153606
16	42459	1	7/10/2014 23:00	1.135712	1.162729	1.151817
17	42459	1	8/10/2014 7:38	1.166124	1.16283	1.153247
18	42459	1	8/10/2014 10:42	1.143146	1.16224	1.152237
19	42459	1	8/10/2014 15:58	1.107765	1.160606	1.14779
20	42459	1	9/10/2014 7:13	1.175036	1.161039	1.150515
21	42459	1	9/10/2014 11:27	1.183119	1.161701	1.153775
22	42459	1	9/10/2014 16:13	0.9603382	1.15566	1.134431
23	42459	1	9/10/2014 23:11	1.215667	1.15746	1.142555
24	42459	1	10/10/2014 7:46	1.272226	1.160903	1.155522
25	42459	1	10/10/2014 13:14	1.159203	1.160852	1.15589
26	42459	1	10/10/2014 16:43	0.8210424	1.150658	1.122405
27	42459	1	11/10/2014 3:03	0.9796885	1.145529	1.108134
28	42459	1	11/10/2014 16:01	0.8915251	1.137909	1.086473
29	42459	1	11/10/2014 23:22	1.000195	1.133777	1.077845
30	42459	1	12/10/2014 15:45	0.8911957	1.1265	1.05918
31	42459	1	12/10/2014 23:11	0.8107508	1.117027	1.034337
32	42459	1	13/10/2014 07:31:52	1.084487	1.116051	1.039352
33	42459	1	13/10/2014 10:50:19	1.002372	1.112641	1.035654
34	42459	1	13/10/2014 16:01:03	0.8757347	1.105534	1.019662
35	42459	1	13/10/2014 23:15:33	1.099735	1.10536	1.02767
36	42459	1	14/10/2014 07:10:24	1.153619	1.106807	1.040264
37	42459	1	14/10/2014 10:34:57	1.099878	1.1066	1.046226
38	42459	1	14/10/2014 15:48:24	0.8713408	1.099542	1.028737
39	42459	1	14/10/2014 23:08:50	1.029057	1.097427	1.028769
40	42459	1	15/10/2014 07:09:46	1.001497	1.094549	1.026042

Gambar 4.2 Data excel N3 Margin PK-GPU

Sumber: Dokumentai Pribadi

Pada data excel terlihat ada kenaikan margin pada tanggal 21 Maret 2015 dan 20 Desember 2015 yang terjadi akibat dilakukannya compressor wash. Pada data excel terlihat ada kenaikan kembali N3 margin kembali diatas $>0.6\%$ yang merupakan *exit criteria* dari permasalahan N3 Margin deterioration setelah dilakukan compressor wash.

4.1.1 Data Perhitungan RoD

- PK-GPL

ESN 41839 Rate of Deterioration				
10	36.70148	31.63545	-5.06603	-10.6429
ESN 41682 change to 41041 Rate of Deterioration				
10	24.03973	34.74518	10.70544	15.22822

Tabel 4.1 Rate of deterioration PK-GPL
Sumber: Dokumentasi Pribadi

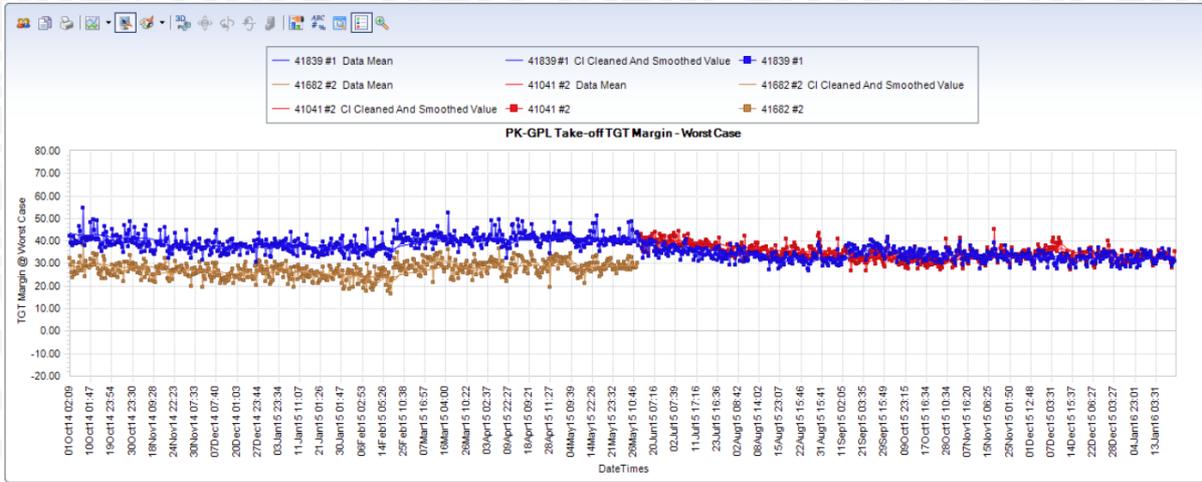
- PK-GPU

Engine ESN 42459 Rate of Deterioration				
10	54.18148	48.65882	-5.52267	-10.5596
Engine ESN 42460 Rate of Deterioration				
10	53.89729	50.08768	-3.80961	-7.28415

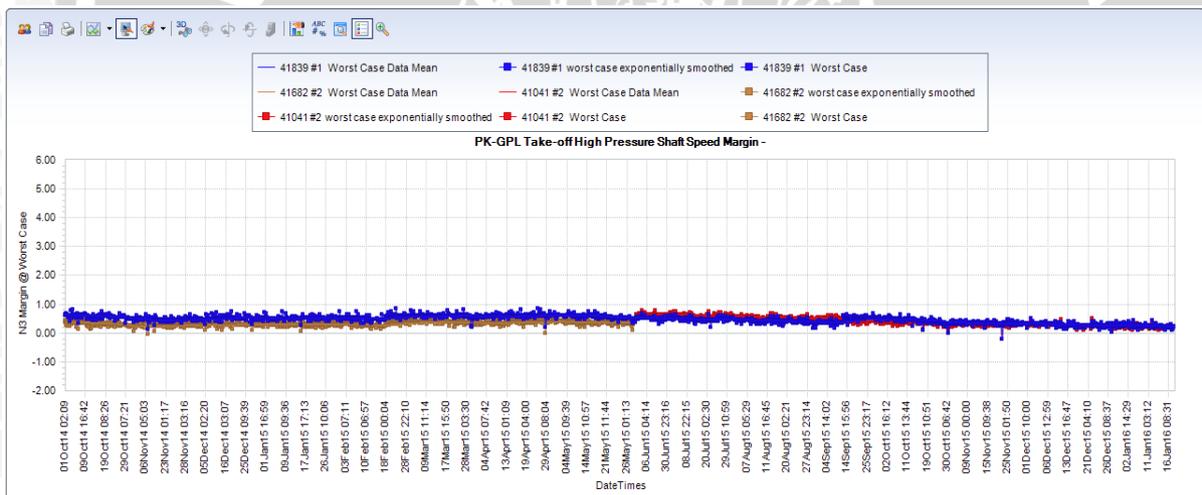
Tabel 4.2 Rate of deterioration PK-GPU
Sumber: Dokumentasi pribadi

4.1.2 Data Grafik TGT Margin Dan N3 Margin

- PK-GPL

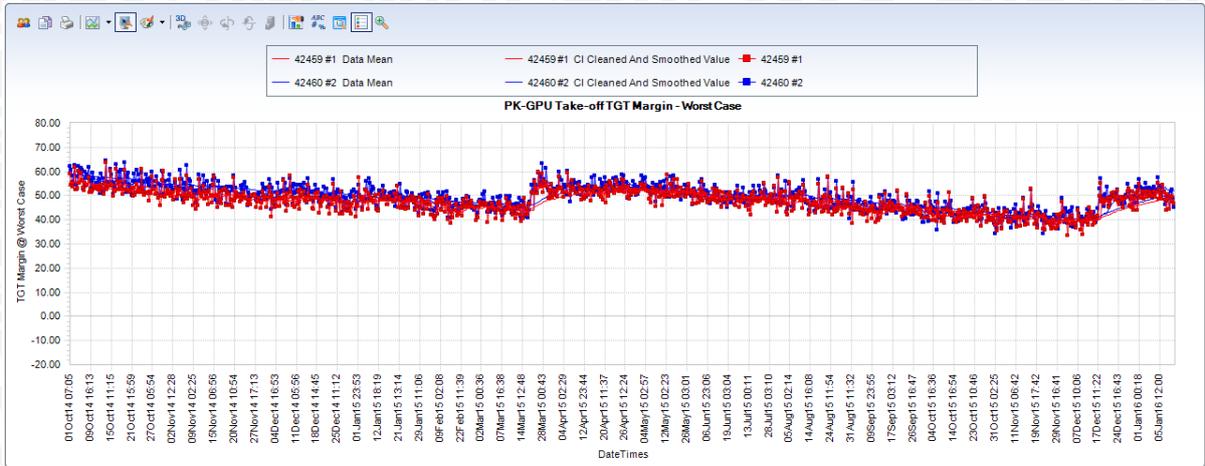


Grafik 4.1 TGT Margin PK-GPL
Sumber: Dokumentasi Pribadi



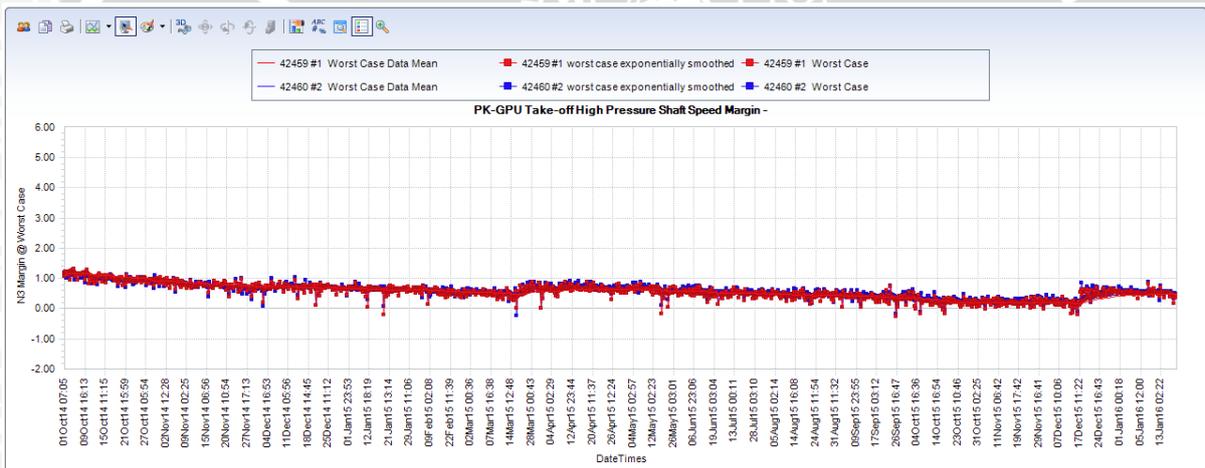
Grafik 4.2 N3 Margin PK-GPL
Sumber: Dokumentasi Pribadi

- PK-GPU



Grafik 4.3 Data grafik TGT Margin PK-GPU

Sumber: Dokumentasi pribadi



Grafik 4.4 Data grafik N3 Margin PK-GPU

Sumber: Dokumentasi pribadi

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Grafik Pengaruh *Compressor Wash* Terhadap *TGT Margin*

- **PK-GPL**

Pada grafik 4.1 yang berisi data *TGT Margin* terhadap waktu menunjukkan penurunan *TGT Margin* yang diakibatkan oleh cycle pakai dan kontaminan yang menumpuk di kompresor dan kenaikan *TGT Margin* yang terjadi karena dilakukan *compressor wash*. Dalam grafik ini terjadi 2 kali penurunan dan kenaikan yang terjadi karena dilakukan 2 kali *compressor wash* pada tanggal 20 februari 2015 dan 13 september 2015 dengan jarak antar *compressor wash* sebesar 475 cycle.

Pola grafik yang terjadi terlihat bahwa seiring meningkatnya cycle maka *TGT margin* semakin menurun. Sesuai dengan kondisi yang ada yaitu mesin mengalami deteriorisasi dan dimasuki oleh kontaminan dari lingkungan operasi. Pada grafik ini terlihat terjadi penyimpangan pada mesin nomor 2 karena pada tanggal 2 juni 2015 terjadi perubahan mesin dengan ESN 41682 menjadi ESN 41041. Perubahan ini berdampak pada perubahan *TGT margin* pada mesin nomor 2 yang mengakibatkan naiknya kembali margin dikarenakan mesin dengan ESN 41041 memiliki margin yang lebih tinggi dari ESN 41682.

Deteriorisasi terjadi karena pada turbin gas ada 3 masalah utama yaitu batas temperatur material, stress level dan sifat dinamik fluida . dan dari 3 batas ini maka terjadi banyak hal yang menyebabkan mesin ter deteriorisasi seiring meningkatnya cycle, diantaranya adalah kerusakan flow path, erosi permukaan, kekasaran pada airfoil akibat gesekan, dan korosi. Sementara kontaminan yang masuk berasal dari pasir, debu, es dan partikel-partikel lain yang ada di lingkungan operasi yang bisa masuk tersedot. Kontaminan ini masuk dan mengendap di bagian kompresor hingga masuk ke burner dan turbin, sehingga mengganggu kerja kompresor dan mengurangi efisiensi aerodinamik yang menyebabkan kompresor bekerja lebih keras untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan.

Pada mesin dengan ESN 41839 yang terpasang pada posisi mesin nomor 1 pada PK-GPL terhitung ROD sebesar $-10,6429^{\circ}\text{C}$. dan setelah di *compressor wash* pertama terjadi perbaikan margin sebesar $7,3^{\circ}\text{C}$ dan sebelum *compressor wash* yang dilakukan setelah 475 cycle terlihat penurunan margin sebesar $10,8^{\circ}\text{C}$. hal ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan yang jauh antara RoD dan penurunan margin yang terjadi. *Compressor wash* bertujuan untuk memperlambat deteriorasi mesin yang terjadi. Dan dengan adanya perbedaan antara RoD dan penurunan yang terjadi maka ada kerugian

yang sebenarnya bisa diminimalisir dikarenakan mesin bisa diperlambat deteriorasinya dengan mengurangi cycle compressor wash sehingga perbandingan laju deteriorasi mesin bisa semakin mendekati laju deteriorasinya.

- **PK-GPU**

Pada grafik 4.3 yang berisi data TGT Margin terhadap waktu menunjukkan penurunan TGT Margin yang diakibatkan oleh cycle pakai dan kontaminan yang menumpuk di kompresor dan kenaikan TGT Margin yang terjadi karena dilakukan compressor wash. Dalam grafik ini terjadi 2 kali penurunan dan kenaikan yang terjadi karena dilakukan 2 kali compressor wash pada tanggal 21 Maret 2015 dan 18 Desember 2015 dengan jarak antar compressor wash sebesar 523 cycle.

Pola grafik yang terjadi terlihat bahwa seiring meningkatnya cycle maka TGT margin semakin menurun. Sesuai dengan kondisi yang ada yaitu mesin mengalami deteriorisasi dan dimasuki oleh kontaminan dari lingkungan operasi. Deteriorisasi terjadi karena pada turbin gas ada 3 masalah utama yaitu batas temperatur material, stress level dan sifat dinamik fluida. dan dari 3 batas ini maka terjadi banyak hal yang menyebabkan mesin terdeteriorisasi seiring meningkatnya cycle, diantaranya adalah kerusakan flow path, erosi permukaan, kekasaran pada airfoil akibat gesekan, dan korosi. Sementara kontaminan yang masuk berasal dari pasir, debu, es dan partikel-partikel lain yang ada di lingkungan operasi yang bisa masuk tersedot. Kontaminan ini masuk dan mengendap di bagian kompresor hingga masuk ke burner dan turbin, sehingga mengganggu kerja kompresor dan mengurangi efisiensi aerodinamik yang menyebabkan kompresor bekerja lebih keras untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan.

Pada mesin ESN 42459 yang terpasang pada posisi 1 di PK-GPU terhitung Rate of Deterioration sebesar $10,5^{\circ}\text{C}$. setelah dilakukan compressor wash pertama terjadi perbaikan margin sebesar $10,3^{\circ}\text{C}$ dan sebelum compressor wash yang dilakukan setelah 523 cycle terlihat penurunan margin sebesar $13,5^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan yang jauh antara RoD dan penurunan margin yang terjadi. Compressor wash bertujuan untuk memperlambat deteriorasi mesin yang terjadi. Dan dengan adanya perbedaan antara RoD dan penurunan yang terjadi maka ada kerugian yang sebenarnya bisa diminimalisir dikarenakan mesin bisa diperlambat deteriorasinya dengan mengurangi cycle compressor wash sehingga perbandingan laju deteriorasi mesin bisa semakin mendekati laju deteriorasinya.

Sedangkan pada mesin ESN 42460 yang terpasang pada posisi nomor 2 terhitung ROD sebesar 10,8 °C. Dan setelah dilakukan compressor wash pertama terjadi perbaikan margin sebesar 12.2 °C dan sebelum compressor wash yang dilakukan setelah 523 cycle terlihat penurunan margin sebesar 13.1 °C. hal ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan yang jauh antara RoD dan penurunan margin yang terjadi. Compressor wash bertujuan untuk memperlambat deteriorasi mesin yang terjadi. Dan dengan adanya perbedaan antara RoD dan penurunan yang terjadi maka ada kerugian yang sebenarnya bisa diminimalisir dikarenakan mesin bisa diperlambat deteriorasinya dengan mengurangi cycle compressor wash sehingga perbandingan laju deteriorasi mesin bisa semakin mendekati laju deteriorisasinya.

4.2.2 Analisa Pengaruh *Compressor Wash Terhadap N3 Margin*

- **PK-GPL**

Pada Grafik 4.2 yang berisi data N3 Margin terhadap waktu menunjukkan penurunan N3 Margin seiring berjalannya waktu yang diakibatkan oleh cycle pakai dan kontaminan yang menumpuk di kompresor. Dalam grafik terlihat juga 2 kali kenaikan margin yang terjadi karena dilakukan *compressor wash* pada mesin tersebut pada tanggal 20 Februari 2015 dan 13 September 2015 dengan jarak antar *compressor wash* sebesar 475 cycle.

Pola grafik yang terjadi terlihat bahwa seiring meningkatnya *cycle* maka N3 Margin akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan kondisi yang ada bahwa mesin mengalami penurunan performa yang diakibatkan oleh kontaminan yang masuk dari lingkungan operasi. Penurunan performa terjadi karena kontaminan dari lingkungan operasi masuk tersedot kedalam mesin dan menimbulkan kerusakan *flow path*, erosi permukaan, kekasaran pada *airfoil* akibat gesekan dan korosi. Kontaminan yang masuk berasal dari pasir, debu, es, dan partikel-partikel lain yang ada di lingkungan operasi yang bisa masuk tersedot kedalam mesin. Kontaminan ini masuk tersedot dan kemudian mengendap sehingga mengganggu kinerja mesin dan mengurangi efisiensi aerodinamik kompresor sehingga compressor perlu bekerja lebih keras dengan berputar lebih kencang untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan. N3 adalah shaft pada bagian High Pressure sehingga bagian ini yang menanggung beban lebih saat terjadi penurunan performa mesin dikarenakan shaft ini adalah fase kompresi terakhir dan fase ekspansi turbin pertama. Sehingga dampak menurunnya perfoma sangat terasa di bagian ini hingga

putaran marginnya mendekati atau malah minus dikarenakan menurunnya efisiensi karena kontaminan tadi.

Pada rolls-royce Trent 700 ada dua batasan untuk N3 margin yang ditetapkan oleh rolls-royce, yaitu batas atas dan batas bawah. Batas atas adalah $<0.4\%$ dan batas bawah adalah $<0.2\%$. jika terjadi penurunan margin sampai batas diatas maka rolls-Royce merekomendasikan untuk mengecek riwayat perawatan dan melakukan compressor wash atau menghubungi *rolls-royce representative* untuk nasihat lebih jauh. Sementara jika N3 margin sudah $>0.6\%$ maka sudah dinyatakan baik atau disebut *exit criteria*.

Pada mesin dengan ESN 41839 yang terpasang di posisi nomor 1 pada PK-GPL terlihat penurunan margin seiring bertambahnya cycle pada mesin. Terhitung rata-rata N3 Margin pada 10 cycle terakhir sebelum dilakukan compressor wash pertama adalah $0,49\%$ dan rata-rata N3 Margin pada 10 cycle awal setelah dilakukan compressor wash pertama adalah $0,65\%$. Sementara pada compressor wash kedua terhitung rata-rata N3 Margin pada 10 cycle terakhir sebelum dilakukan compressor wash kedua adalah $0,33\%$ dan rata-rata N3 Margin pada 10 cycle awal setelah dilakukan compressor wash kedua adalah $0,53\%$. Hal ini tidak sesuai dengan exit criteria yang ditetapkan rolls-royce yakni $>0,6\%$ dikarenakan setelah dilakukan compressor wash didapati N3 Margin tidak melebihi $0,6\%$. Pada kenyataan dilapangan banyak didapati kasus seperti ini dimana compressor wash tidak selalu mengembalikan margin diatas $0,6\%$ dan juga didapati bahwa banyak mesin yang beroperasi dengan normal dengan margin pada kisaran $0,4\%$. Dan setelah dianalisa berdasarkan *N3 Margin data mean* didapatkan bahwa N3 margin kembali menyentuh angka $0,4\%$ setelah 386 cycle dan menyentuh angka $0,2\%$ diatas 476 cycle. Semakin kencangnya putaran N3 shaft juga berpengaruh dengan usia *high pressure component* karena harus menahan gaya yang besar, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan usia part yang lebih panjang maka N3 margin perlu dijaga setinggi mungkin dan $>0,4\%$. Sehingga untuk mendapatkannya bisa disimpulkan dari data yang ada bahwa perlu dilakukan compressor wash disekitar 350 cycle untuk menjaga N3 margin diatas $0,4\%$ dan dengan ini maka efisiensi mesin juga lebih terjaga.

- **PK-GPU**

Pada Grafik 4.4 yang berisi data N3 Margin terhadap waktu menunjukkan penurunan N3 Margin seiring berjalannya waktu yang diakibatkan oleh cycle pakai dan kontaminan yang menumpuk di kompresor. Dalam grafik terlihat juga 2 kali kenaikan margin yang terjadi karena dilakukan *compressor wash* pada mesin tersebut pada tanggal 21 maret 2015 dan 18 desember 2015 dengan jarak antar *compressor wash* sebesar 523 cycle.

Pola grafik yang terjadi terlihat bahwa seiring meningkatnya *cycle* maka N3 Margin akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan kondisi yang ada bahwa mesin mengalami penurunan performa yang diakibatkan oleh kontaminan yang masuk dari lingkungan operasi. Penurunan performa terjadi karena kontaminan dari lingkungan operasi masuk tersedot kedalam mesin dan menimbulkan kerusakan *flow path*, erosi permukaan, kekasaran pada *airfoil* akibat gesekan dan korosi. Kontaminan yang masuk berasal dari pasir, debu, es, dan partikel-partikel lain yang ada di lingkungan operasi yang bisa masuk tersedot kedalam mesin. Kontaminan ini masuk tersedot dan kemudian mengendap sehingga mengganggu kinerja mesin dan mengurangi efisiensi aerodinamik kompresor sehingga kompresor perlu bekerja lebih keras dengan berputar lebih kencang untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan. N3 adalah shaft pada bagian High Pressure sehingga bagian ini yang menanggung beban lebih saat terjadi penurunan performa mesin dikarenakan shaft ini adalah fase kompresi terakhir dan fase ekspansi turbin pertama. Sehingga dampak menurunnya performa sangat terasa di bagian ini hingga putaran marginnya mendekati atau malah minus dikarenakan menurunnya efisiensi karena kontaminan tadi.

Pada rolls-royce Trent 700 ada dua batasan untuk N3 margin yang ditetapkan oleh rolls-royce, yaitu batas atas dan batas bawah. Batas atas adalah $<0.4\%$ dan batas bawah adalah $<0.2\%$. jika terjadi penurunan margin sampai batas diatas maka rolls-Royce merekomendasikan untuk mengecek riwayat perawatan dan melakukan *compressor wash* atau menghubungi *rolls-royce representative* untuk nasihat lebih jauh. Sementara jika N3 margin sudah $>0.6\%$ maka sudah dinyatakan baik atau disebut *exit criteria*.

Pada mesin dengan ESN 42459 yang terpasang di posisi nomor 1 pada PK-GPU terlihat penurunan margin seiring bertambahnya cycle pada mesin. Terhitung rata-rata N3 Margin pada 10 cycle terakhir sebelum dilakukan *compressor wash*

pertama adalah 0,36% dan rata-rata N3 Margin pada 10 cycle awal setelah dilakukan compressor wash pertama adalah 0,69%. Hal ini sudah sesuai dengan exit criteria yang ditetapkan rolls-royce yakni $>0,6\%$. Dan setelah dianalisa berdasarkan *N3 Margin data mean* didapatkan bahwa N3 margin kembali menyentuh angka 0,4% setelah 329 cycle dan menyentuh angka 0,2% setelah 410 cycle. Sementara pada cycle diatas itu berkali-kali N3 margin turun hingga mendekati 0% dan bahkan terjadi beberapa kali minus yang berarti N3 shaft berputar melebihi batas RPM yang ditentukan. Semakin kencangnya putaran N3 shaft juga berpengaruh dengan usia *high pressure component* karena harus menahan gaya yang besar, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan usia part yang lebih panjang maka N3 margin perlu dijaga setinggi mungkin dan $>0,4\%$. Sehingga untuk mendapatkannya bisa disimpulkan dari data yang ada bahwa perlu dilakukan compressor wash disekitar 300 cycle untuk menjaga N3 margin diatas 0,4% dan dengan ini maka efisiensi mesin juga lebih terjaga.

Pada mesin dengan ESN 42460 yang terpasang pada posisi nomor 2 pada PK-GPU terlihat penurunan margin seiring bertambahnya cycle pada mesin. Terhitung rata-rata N3 Margin pada 10 cycle terakhir sebelum dilakukan compressor wash pertama adalah 0,36% dan rata-rata N3 Margin pada 10 cycle awal setelah dilakukan compressor wash pertama adalah 0,72%. Hal ini sudah sesuai dengan exit criteria yang ditetapkan rolls-royce yakni $>0,6\%$. Dan setelah dianalisa berdasarkan *N3 Margin data mean* didapatkan bahwa N3 margin kembali menyentuh angka 0,4% setelah 351 cycle dan menyentuh angka 0,2% setelah 401 cycle. Sementara pada cycle diatas itu berkali-kali N3 margin turun hingga mendekati 0% dan bahkan terjadi beberapa kali minus yang berarti N3 shaft berputar melebihi batas RPM yang ditentukan. Semakin kencangnya putaran N3 shaft juga berpengaruh dengan usia *high pressure component* karena harus menahan gaya yang besar, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan usia part yang lebih panjang maka N3 margin perlu dijaga setinggi mungkin dan $>0,4\%$. Sehingga untuk mendapatkannya bisa disimpulkan dari data yang ada bahwa perlu dilakukan compressor wash disekitar 300 cycle untuk menjaga N3 margin diatas 0,4% dan dengan ini maka efisiensi mesin juga lebih terjaga.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa pengaruh compressor wash terhadap turbine gas temperature margin dan N3 margin pada engine rolls-royce Trent 700, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terbukti dilapangan bahwa terjadi tumpukan kontaminan pada bagian kompresor yang menghasilkan pengingkatan kerja pada mesin
2. Hasil analisa menunjukkan terjadinya perbaikan TGT *Margin* dan N3 *Margin* setelah dilakukan *compressor wash*.
3. *Compressor Wash* yang paling efisien adalah saat mesin telah beroperasi sebanyak 300 *cycle*.
4. Untuk memaksimalkan *on-wing life* sebaiknya *compressor wash* dilakukan setiap 300 *cycle* sekali.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk operator trent 700 dan juga untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Mesin dapat beroperasi dengan normal dengan N3 *margin* 0,4% sehingga batasan 0,4% hendaknya diperbaiki.
2. Atas dasar hasil analisa hendaknya PT. Garuda Indonesia selaku operator Airbus A330 merubah waktu *compressor wash* dari 500 *cycle* menjadi 300 *cycle* dengan pertimbangan efisiensi dan usia pakai mesin.
3. Meneliti lebih lanjut pengaruh compressor wash terhadap *delta fuel flow*.



DAFTAR PUSTAKA

- Bromley Andrew., “*gas turbine axial compressor fouling and washing*”. houston, Texas.
- Hovland, G,2005. *Scheduling og gas turbine compressor washing*. Electrical Engineering, University of Queensland: Australia.
- Airbus, “Flight Crew Operating Manual (FCOM), 2014
- Rolls-Royce, “Trent 700 Engine Manuals”, 2008.
- Meher-Homji, B, Cyrus., “Gas Turbine Performance Deterioration” levitown, New York.
- Garuda Indonesia. “Maintenance Job Card ONE TIME ENGINE COMPRESSOR WASH WITH JUNIPER WASH RIG-(FCP) AND LP COMPRESSOR FAN BLADES CLEANING FOR SOLVING N3 WORST CASE MARGIN DETERIORATION PROBLEM” 2015
- Rolls-Royce. “Notice to operator Trent Engines no 81” 2013.
- Nick James. “Trent 700 - N3 Speed Margin Advisories” 2015
- GMF AeroAsia, “Worksheet in basic CW 500 Cycle” 2015
- GMF AeroAsia, “Worksheet in basic CW one time” 2015

