

Estimasi Biaya Pemeliharaan pada Tahap Awal Disain Kaitannya dengan Model Perhitungan Kompleksitas Pemeliharaan pada Beberapa Jenis Sepeda Motor

Hendri DS Budiono, Vinda B.T.L. Manurung, Gandjar Kiswanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia,
Kampus UI Depok 16424, Jawa Barat, Indonesia.
e-mail : hendri@eng.ui.ac.id

Abstrak

Reliability, availability dan *maintanability* produk erat kaitannya dengan siklus hidup produk, yakni tahap *engineering design*, produksi, hingga pengoperasian termasuk pemeliharaan. [Maraghy,2003] berhasil mengembangkan model perhitungan kompleksitas sistem manufaktur sebagai salah satu alat ukur (*assessment*) sebuah produk padatahapanproduksi. Estimasi biaya pada tahap awal proses disain berguna dalam mempercepat waktu produk untuk dapat sampai ke pasar, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas untuk menghasilkan produk dengan tingkat daya saing yang tinggi dipasar bebas melalui perhitungan nilai kompleksitas proses pemeliharaan. Penelitian yang dilakukan adalah mengembangkan model perhitungan kompleksitas dengan melakukan karakterisasi parameter yang berpengaruh dalam setiap aktivitas pemeliharaan melalui wawancara dan penyebaran kuesioner. Model pembobotan multi-tier ranking dan normalisasi digunakan sebagai bagian dalam model perhitungan dan digunakan untuk menilai parameter-parameter tersebut ke dalam bentuk kuantitatif, sehingga nantinya dapat menghasilkan model yang diperlukan untuk estimasi biaya proses pemeliharaan.

Aplikasi model dilakukan pada kasus pemeliharaan untuk beberapa jenis sepeda motor, yaitu : sepeda motor 100-cc, 250-cc dan 883-cc. Hasil perhitungan kompleksitas proses pemeliharaan diperoleh hasil 79,65 untuk 100cc, 80,05 untuk 250cc dan 88,67 untuk sepeda motor 883cc. Data lain memperlihatkan bahwa adanya keterkaitan nilai tersebut dengan biaya proses pemeliharaannya atau Rp 100.000 untuk 100-cc, Rp. 200.000 untuk 250cc dan Rp. 450.000 untuk sepeda motor 883cc. Perbedaan nilai kompleksitas yang didapat sebagian besar dikarenakan oleh pembobotan yang dilakukan pada parameter kegiatan pengukuran dalam aktivitas operasional pemeriksaan dan parameter dari aktivitas *repair* akibat penggunaan shape, geometri dan toleransi yang berbeda. Dengan menggunakan model ini diharapkan akan membantu perancang untuk bias melakukan Estimasi biaya proses pemeliharaan pada tahap awal proses perancangan (*early stage of design*).

Keyword : kompleksitas, disain, tahap awal disain, pemeliharaan, estimasi biaya

1. Pendahuluan

Siklus hidup sebuah produk (*product lifecycle*) adalah terdiri dari proses perencanaan, pembuatan, penggunaan, dan recycling. Selama beberapa dekade ke belakang, dunia industri telah menunjukkan bahwa banyak sekali perubahan yang dapat terjadi baik terencana ataupun tidak direncanakan pada aspek tersebut, sehingga diperlukan optimasi yang harus dilakukan oleh para engineer dalam industri. Kebutuhan strategi optimisasi ini dipacu oleh kebutuhan industri akan “pendekatan dalam pengambilan keputusan yang sistematis dan efisien (*efficient and systematic decision-making approach*)” dalam menghasilkan sebuah produk.

Perbaikan yang kontinyu merupakan sebuah siklus

dari optimalisasi produk dan proses di dalam siklus hidup sebuah produk (*product lifecycle*), industri dituntut untuk terus-menerus mengeksplorasi batas baru dalam teknologi yang berkaitan dengan segala aspek dalam siklus hidup produk. Diperlukan strategi dan manajemen yang matang dalam menjalankan optimalisasi tersebut. Kegiatan inilah yang kemudian dikenal sebagai PPOM (*Product and Process Optimization Management*) (Biren Prasad, 1995).

Biren Prasad (1995), dalam jurnalnya, memaparkan bahwa manajemen siklus hidup sebuah produk (*product lifecycle management*) adalah proses manajemen yang secara sistematis dapat menangani kontinuitas dan revisi produk untuk kembali menyatukan famili produk baru atau teknologi baru. Dari pengertian tersebut, maka ada tiga aspek yang dikelola dalam *product lifecycle management* :

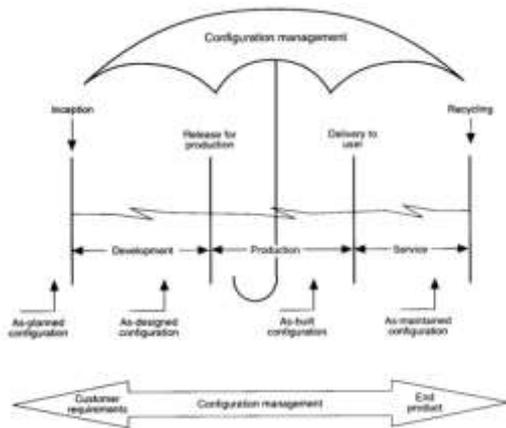
- Mengelola perubahan reprocessing, restructuring atau

re-engineering

- Mengelola kontinuitas
- Mengelola perubahan revisi

Tantangannya adalah bagaimana menyeimbangkan “kontinuitas”, “revisi” dan “re-engineering”. Penelitian yang dilakukan ini akan memfokuskan diri pada aspek mengelola kontinuitas pada *product lifecycle management*.

Proses manajemen kontinuitas dimulai dengan disain awal dari proses manajemen konfigurasi, sehingga berbagai perubahan diperbolehkan selama masih dalam batas-batas yang telah ditetapkan oleh kontrol konfigurasi. Manajemen konfigurasi, yang dipaparkan dalam Gambar 1.1., dapat dipahami sebagai pengelolaan dari rangkaian ketentuan/aturan pada setiap titik dalam aspek siklus yang dilalui secara kontinyu dalam menghasilkan sebuah produk. Konfigurasi inilah yang membentuk sebuah kerangka manajemen dalam sebuah siklus hidup suatu produk.



Gambar 1.1. Product Lifecycle Management [Sumber : Biren Prasad. 1995]

Biren Prasad (1995), mengusulkan dalam jurnalnya, agar setiap metodologi pada tahap-tahap diatas disusun berdasarkan pengukuran manfaat dari aktivitas-aktivitas pokok yang terkandung. Yang kemudian disampaikan dalam bentuk metrik. Hal tersebut bertujuan agar tercipta kooperasi yang lebih baik, lebih fleksibel, dan mampu memberikan perubahan yang besar ketika siklus dimulai kembali ke tahap development (perencanaan).

Penelitian ini membantu merealisasikan ide tersebut pada satu titik tertentu, yakni pada : aktivitas *maintenance* di dalam tahapan *service* (penggunaan) dengan membuat sebuah cara pengukuran (*assesment*) yang menggunakan pendekatan berupa indeks kompleksitas *maintenance*. Hasil pengukuran ini diharapkan dapat digunakan pada tahapan *development*, yaitumenerapkan pertimbangan “*as-maintained configuration* (konfigurasi pemeliharaan)” ke tahap awal “*as-designed configuration* (konfigurasi disain)”.

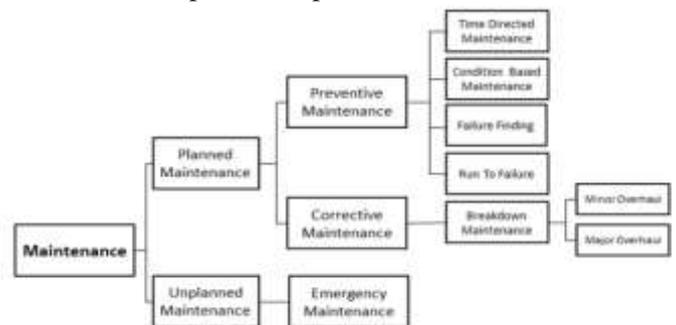
1.1. Kompleksitas

[El-Maraghy 2003], mendefinisikan kompleksitas sebagai usaha mengelola dari banyak informasi yang dipengaruhi oleh jumlah informasi (H), variasi dari informasi (DR), dan isi dari informasi yaitu koefisien kompleksitas relaif (c). Koefisien kompleksitas relatif (c) merupakan hasil dari deskripsi fitur – fitur yang diinginkan beserta usaha yang dilakukan untuk menghasilkan fitur-fitur seperti seperti tahapan proses atau tool. Kemudian semua informasi yang diperoleh dibobotkan secara statistik. Terdapat 3 jenis kompleksitas dalam lingkup manufaktur, yaitu : kompleksitas produk, kompleksitas proses, dan kompleksitas operasional. Ketiganya saling mempengaruhi dan berhubungan.

Kompleksitas produk merupakan fungsi dari material, disain, spesifikasi dan komponen dari suatu produk. Kompleksitas proses adalah fungsi dari produk, jumlah yang dibutuhkan, dan lingkungan kerja. Kompleksitas operasional adalah fungsi dari produk, proses dan logistik yang diperlukan saat produksi.

1.2. Pemeliharaan

Pendapat beberapa ahli dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemeliharaan diperlukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan dalam perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien.[Agus Ahyari, 2002] pemeliharaan berfungsi memperpanjang umur ekonomis dari mesin dan peralatan produksi serta mengusahakan agar mesin dan peralatan tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap digunakan. Klaisifikasi *maintenance* dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Klasifikasi Maintenance [Sumber :Corder, A. K.Hadi. 1992]

Menurut Dhillon B.S, (2006) dalam bukunya “maintainability, maintenance, and reliability for engineers”, ada 7 elemen dari pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*), yaitu :Inspeksi / Pemeriksaan, Kalibrasi, Pengujian, Penyesuaian, Servicing, Instalasi dan Alignment

2. MetodaEksperimen&Fasilitas Yang Digunakan

Pemodelan kompleksitas *maintenance* diawali dengan usaha menelaah aktivitas penting yang menjadi dasar dari kegiatan *maintenance* secara keseluruhan. Berdasarkan teori dasar *maintenance*, yang dipaparkan pada Tabel 2.1.,

aktivitas penting tersebut adalah *disassembly*, pemeriksaan, *quality control*, *repair*, dan *assembly*.

Tabel 2. 1. Aktivitas Penting dalam Maintenance

Maintenance Activities		
Assembly & Disassembly - Set-Up Sistem	Checking dan Quality Control - Inspection - Cleaning	Reparation - Service & Replacement - Performa - Stabilizing - Analytical - Reporting

Aktivitas tersebut kemudian dikaitkan dengan model perhitungan kompleksitas sistem manufaktur yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya dan bisa lebih jelas mengelompokkannya pada 3 model yang ada, yaitu :

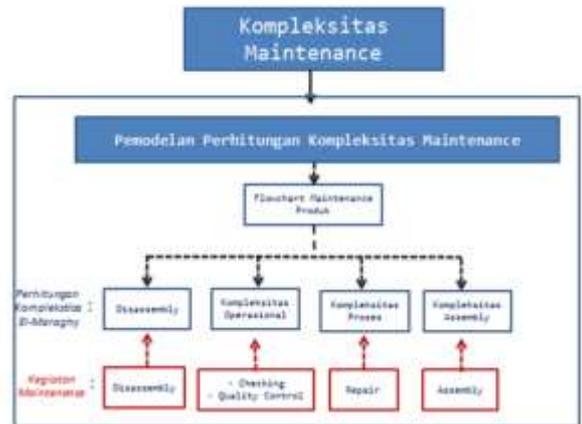
- Aktivitas *maintenance* pemeriksaan dan *quality control* dapat dipahami sebagai aktivitas yang memiliki kebutuhan akan performa manusia/operator dalam menjalankan alat ukur terhadap produk yang di *maintenance*. Oleh sebab itu, aktivitas ini cocok jika diperhitungkan dengan model kompleksitas operasional.
- Aktivitas *maintenance* reparation dapat dipahami sebagai sebuah proses pengembalian produk ke dalam keadaan atau fungsi semula. Dengan demikian, aktivitas ini dapat diperhitungkan dengan menggunakan perhitungan kompleksitas proses.
- Aktivitas *maintenance* assembly memiliki rincian kegiatan yang mirip dengan penelitian sebelumnya, yakni *physical attributes* akan mempengaruhi proses *handling* dan *insertion* saat *assembly*, sehingga perhitungan dengan menggunakan kompleksitas *assembly* akan tepat digunakan untuk aktivitas *maintenance* ini.
- Aktivitas *disassembly* belum coba dikaji dan diperhitungkan dalam penelitian ini

Dengan analisa terhadap pengelompokan yang dilakukan, maka bisa dinyatakan bahwa kompleksitas *maintenance* adalah merupakan penjumlahan dari indeks kompleksitas tiap aktivitas *maintenance* yang disebutkan diatas.

3. Metodologi

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan sebuah model perhitungan kompleksitas *maintenance* dengan menerapkan model perhitungan kompleksitas sistem manufaktur yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya pada sebuah kasus *maintenance*. Sebagai objek penelitian digunakan data kasus servis besar – 12.000 km pada sepeda motor 100cc sebagai kasus yang akan

digunakan sebagai acuan dalam membentuk model perhitungan kompleksitas *maintenance*. Rancangan penelitian pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini (Gambar 3.1) :



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian diawali dengan tahap persiapan yang berupa pengumpulan seluruh data, parameter, hingga *literature* dan jurnal yang berhubungan dengan aktivitas yang dilakukan dalam *maintenance* sepeda motor 100 cc. Tahap ini ditampilkan secara ringkas dalam bentuk *flowchart process*. Sesuai teori yang digabungkan antara sistem *maintenance* dengan kompleksitas, maka skema kerja yang dihasilkan oleh *flowchart process maintenance* dari kasus adalah seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Alur Perhitungan Kompleksitas Maintenance

Dalam menghitung indeks kompleksitas dari masing-masing aktivitas *maintenance* pada rangkaian alur diatas, digunakan model perhitungan yang telah dibuat oleh El-Maraghy (Tabel 3.2 sampai Tabel 3.4). Untuk area pembobotan, masing-masing aktivitas ini memiliki parameter pentingnya tersendiri, sesuai dengan keadaan dari aktivitas yang dijalani.

Tabel 3. 2. Tahapan Rumus Perhitungan Kompleksitas Pemeriksaan dan QC

Kompleksitas Operasional Pemeriksaan dan Kompleksitas Operasional Quality Control	
$C_{max} = \left[\left(D_{max} \cdot \text{aparat} + C_{max} \cdot \text{product} \right) \cdot H_{max} \cdot \text{product} \right] + \left[\left(D_{max} \cdot \text{proses} + C_{max} \cdot \text{process} \right) \cdot H_{max} \cdot \text{process} \right]$	$D_{max} = \frac{N_{max}}{N_{min}}$
$C_{max} \cdot \text{product} = \sum_{j=1}^{D_j} x_{pdj} \cdot P_{Dj}$	$C_{max} \cdot \text{process} = \sum_{j=1}^{D_j} x_{pjd} \cdot P_{Cj}$
$P_{Dj} = \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot a_{ij}}{A}$	$P_{Cj} = \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot a_{ij}}{B}$
$a_{ij} = \frac{P_{ij} + P_{Dj} + C_{ij} + C_{Cj}}{P_{ij} + C_{ij}}$	
$P_{Dj} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{factor level}_{ij}}{N}$	$C_{Cj} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{factor level}_{ij}}{N}$

Tabel 3. 3. Tahapan Rumus Perhitungan Kompleksitas Proses Repair

Kompleksitas Proses Repair	
$C_{proses\ repair} = (D_{R\ proses,x} + c_{proses,x}) * H_{proses,x}$	
$D_{R\ proses,x} = \frac{n}{N}$	$H_{proses,x} = \log_2(N + 1)$
$c_{proses,x} = \sum_{f=1}^F x_f * c_{f,feature}$	
$c_{f,feature} = \frac{F_N * F_{CF} + S_N * S_{CF}}{F_N + S_N}$	
$F_{CF} = \frac{\sum_{j=1}^J factor\ level\ J}{J}$	$S_{CF} = \frac{\sum_{k=1}^K factor\ level\ K}{K}$

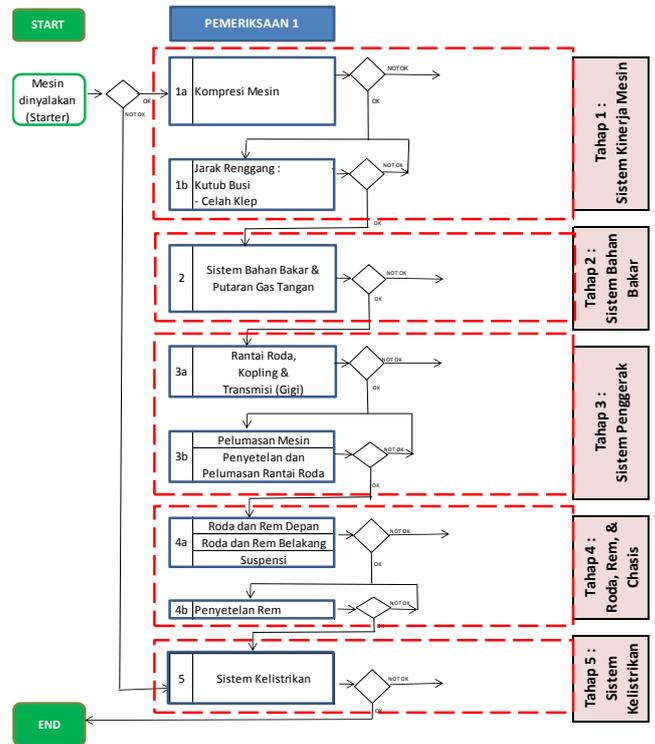
Tabel 3. 4. Tahapan Rumus Perhitungan Kompleksitas Assembly

Kompleksitas Assembly	
$C_{max} = \left[\frac{n_p}{N_p} + c_{product\ assembly} \right] \left[\log_2(N_p + 1) \right] + \left[\frac{n_{fastener}}{N_{fastener}} \right] \left[\log_2(N_{fastener} + 1) \right]$	
$c_{product\ assembly} = \sum_{p=1}^n x_p * c_{part}$	
$c_{part} = \frac{C_A \sum_1^H C_{A,f} + C_I \sum_1^I C_{I,f}}{\sum_1^H C_{A,f} + \sum_1^I C_{I,f}}$	
$C_A = \frac{\sum_1^H C_{A,f}}{H}$	$C_I = \frac{\sum_1^I C_{I,f}}{I}$

HasildanPembahasan

1. Pemodelan Perhitungan Kompleksitas Maintenance pada Sepeda Motor 100cc

Penelitian ini mengambil kasus servis besar pada sepeda motor Honda Supra Astrea 100cc sebagai data acuan. Setelah tahap pertama dilalui, yakni pembentukan *flowchart process* dari servis besar sepeda motor 100cc, maka langkah selanjutnya adalah menjadikan *flowchart* tersebut sebagai panduan alur perhitungan kompleksitas *maintenance*. Garis kerja utama dari servis besar diperlihatkan seperti pada Gambar. 4.1.



Gambar 4. 1. Flowchart Proses Servis Besar 12.000 km Sepeda Motor 100cc

Sehingga, pemodelan perhitungan untuk kompleksitas *maintenance* untuk keseluruhan kasus ini adalah :

$$C_{\text{servis besar sepeda motor 100cc}}^{\text{maintenance}} = C_{M1} + C_{M2} + C_{M3} + C_{M4} + C_{M5}$$

Dimana,

- C_{M1} = Kompleksitas Servis Besar Tahap 1 – Sistem Kinerja Mesin
- C_{M2} = Kompleksitas Servis Besar Tahap 2 – Sistem Bahan Bakar
- C_{M3} = Kompleksitas Servis Besar Tahap 3 – Sistem Penggerak
- C_{M4} = Kompleksitas Servis Besar Tahap 4 – Roda, Rem, & Chasis
- C_{M5} = Kompleksitas Servis Besar Tahap 5 – Sistem Kelistrikan

Penelitian ini hanya dibatasi pada ruang lingkup servis besar tahap 1, yakni C_{M1} . Tahap ini melakukan *maintenance* hanya pada komponen sistem kinerja mesin sepeda motor, yakni *cylinder head* dan area ruang bakar (silinder dan piston).

Flowchart menunjukkan pembagian daerah perhitungan berdasarkan jenis aktivitas *maintenance*. Pembagian ini berguna untuk menentukan pemodelan perhitungan kompleksitas yang mana yang harus dipakai. Alur perhitungan area aktivitas *maintenance* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Demikian pemodelan perhitungan

selanjutnya :

$$C_{M1} = C_{\text{operasional Pemeriksaan 1a}} + C_{\text{maint.CH}} + C_{\text{maint.ARB}} + C_{\text{ass total}} + C_{\text{operasional Pemeriksaan 1b}} \quad (4.2)$$

Dimana,

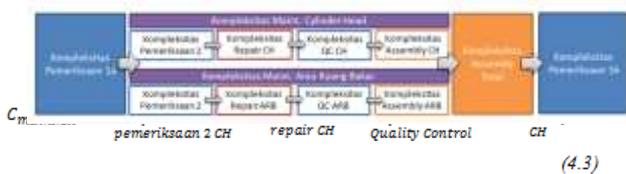
$C_{\text{operasional Pemeriksaan 1a}}$ = Kompleksitas Operasional dalam aktivitas *Pemeriksaan 1a*

$C_{\text{maint.CH}}$ = Kompleksitas *Maintenance* komponen *Cylinder Head*

$C_{\text{maint.ARB}}$ = Kompleksitas *Maintenance* komponen Area Ruang Bakar

$C_{\text{ass total}}$ = Kompleksitas *Assembly* total dalam servis besar tahap 1

$C_{\text{operasional Pemeriksaan 1b}}$ = Kompleksitas Operasional dalam aktivitas *Pemeriksaan 1b*



dan,

$$C_{\text{maint.ARB}} = C_{\text{operasional pemeriksaan 2 ARB}} + C_{\text{proses repair ARB}} + C_{\text{operasional Quality Control}} + C_{\text{assembly ARB}} \quad (4.4)$$

Gambar 4. 2. Alur Perhitungan Aktivitas Maintenance dalam C_{M1}

Sesuai dengan *flowchart* servis besar, ada aktivitas *maintenance* berikutnya yang dilakukan di dalam $C_{\text{maint.CH}}$ dan $C_{\text{maint.ARB}}$. Aktivitas dijabarkan dalam suatu model perhitungan dibawah ini : Setelah dilakukan perhitungan dengan pemodelan yang dikembangkan berdasakan *flowchart process maintenance* servis besar sepeda motor 100cc, maka didapat besar indeks kompleksitas *maintenance*-nya adalah : $C_{MI} = 79,65$. Dengan detail sebagai berikut:

Tabel 4.1. Detail Perhitungan Kompleksitas Maintenance Sepeda Motor 100cc

Kompleksitas pemeriksaan 1a	Kompleksitas pemeriksaan 2 CH	Kompleksitas Repair CH	Kompleksitas QC CH	Kompleksitas ass CH	Kompleksitas ass total	Kompleksitas pemeriksaan 1b
3,46	10,97	2,91	8,86	6,83	8,60	7,57
	Kompleksitas pemeriksaan 2 ARB	Kompleksitas Repair ARB	Kompleksitas QC ARB	Kompleksitas ass ARB		
	11,29	1,58	7,24	7,34		

2. Verifikasi Model pada Sepeda Motor 250cc dan 883cc

Pemodelan perhitungan indek kompleksitas *maintenance* yang telah dikembangkan selanjutnya diverifikasipada sepeda motor lainnya. Hal ini disimpulkan atas dasar digunakannya berbagai data

dan informasi dari kegiatan servis besar pada jenis motor lain, sebagai data pembanding dalam salah satu area dari perhitungan kompleksitas, yakni area pembobotan. Oleh sebab itu, kesimpulan ini hendak dibuktikan dengan mencoba melakukan sebuah verifikasi dari pemodelan perhitungan kompleksitas *maintenance* servis besar sepeda motor 100cc, pada jenis motor yang lain, yakni sepeda motor dengan mesin berkapasitas 250cc dan 883cc. Dimana, kegiatan servis besar sepeda motor jenis 250cc menggunakan sepeda motor Honda CBR250R sebagai data acuan dan untuk jenis 883cc yang akan menjadi acuan adalah dari servis besar sepeda motor Harley Davidson XLH883”Sporster”. Peneliti menempuh jalur yang sama dalam mengumpulkan data untuk perhitungan kompleksitas *maintenance* jenis motor ini, yakni dengan melakukan studi literature dan studi lapangan.

Hasil perhitungan kompleksitas *maintenance* servis besar tahap 1 (sistem kinerja mesin : komponen *cylinder head* dan area ruang bakar), pada sepeda motor 250cc :

Tabel 4.2. Detail Perhitungan Kompleksitas Maintenance Sepeda Motor 250cc

Kompleksitas pemeriksaan 1a	Kompleksitas pemeriksaan 2 CH	Kompleksitas Repair CH	Kompleksitas QC CH	Kompleksitas ass CH	Kompleksitas ass total	Kompleksitas pemeriksaan 1b
3,46	12,07	4,21	8,86	6,83	8,60	7,57
	Kompleksitas pemeriksaan 2 ARB	Kompleksitas Repair ARB	Kompleksitas QC ARB	Kompleksitas ass ARB		
	11,49	2,38	7,24	7,34		

maka, sesuai dengan persamaan 4.5, nilai kompleksitas *maintenance* – nya adalah $C_{MI} = 80,05$.

Hasil perhitungan kompleksitas *maintenance* servis besar tahap 1 (sistem kinerja mesin : komponen *cylinder head* dan area ruang bakar), pada sepeda motor 883cc :

Tabel 4.3. Detail Perhitungan Kompleksitas Maintenance Sepeda Motor 883cc

Kompleksitas pemeriksaan 1a	Kompleksitas pemeriksaan 2 CH	Kompleksitas Repair CH	Kompleksitas QC CH	Kompleksitas ass CH	Kompleksitas ass total	Kompleksitas pemeriksaan 1b
6,99	13,63	3,88	10,73	6,10	7,02	8,77
	Kompleksitas pemeriksaan 2 ARB	Kompleksitas Repair ARB	Kompleksitas QC ARB	Kompleksitas ass ARB		
	13,75	2,38	9,00	6,41		

maka, sesuai dengan persamaan 4.5, nilai kompleksitas *maintenance* – nya adalah $C_{MI} = 88,67$.

Analisa

Hasil perhitungan menunjukkan hasil yang diharapkan oleh peneliti, yakni bahwa indeks kompleksitas *maintenance* pada servis besar tahap 1 untuk sepeda motor 250cc dan 883cc adalah lebih besar daripada sepeda motor 100cc. Hal ini dijelaskan lebih detail dalam bentuk analisa adalah sebagai berikut :

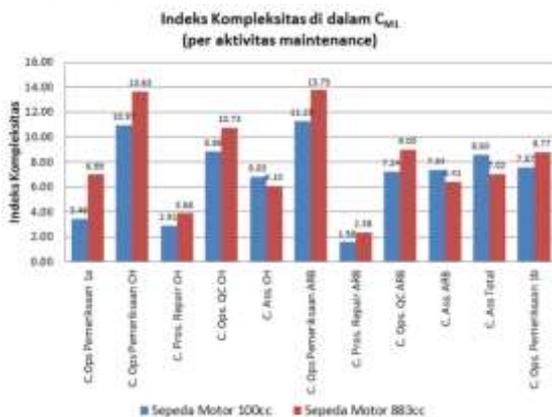
• **Aktivitas Maintenance dalam Kasus Servis Besar Sepeda Motor**

Perhitungan nilai kompleksitas pada masing-masing aktivitas cukup bervariasi. Hasil yang perhitungan indeks kompleksitas maintenance sepeda motor 100cc memang cukup jauh lebih kecil dari pada nilai kompleksitas maintenance sepeda motor 250cc dan 883cc (Grafik 4.1.) Masing-masing nilai indeks kompleksitas per aktivitas, dari sepeda motor 883cc, mengalami kenaikan dibandingkan dengan sepeda motor 250cc. Namun, antara sepeda motor 250cc dan 100cc, kenaikan hanya terjadi di area aktivitas pemeriksaan dan repair.



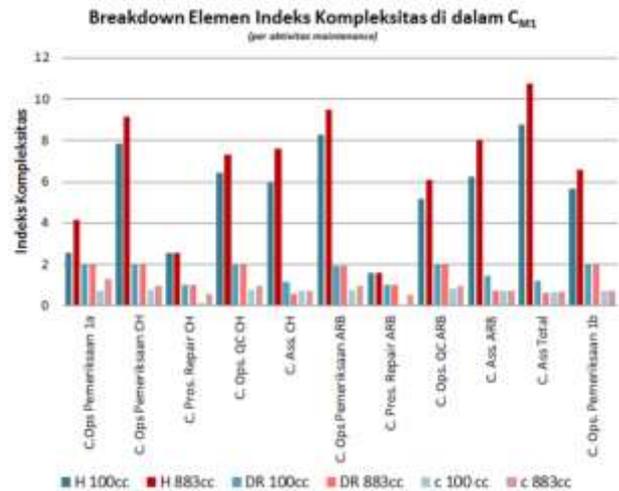
Grafik 4. 1. Indeks Kompleksitas Maintenance Servis Sepeda Motor Tahap 1 (CM1)

Grafik 4.2., memperlihatkan indeks kompleksitas masing-masing aktivitas maintenance yang terkandung di dalam CM1, hanya antara sepeda motor 100cc dan 883cc. Secara keseluruhan, terjadi perbedaan yang jauh antara indeks kompleksitas masing-masing aktivitas. Indeks kompleksitas sepeda motor 883cc selalu hampir dua kali lipat dari indeks kompleksitas sepeda motor 100cc. Hal ini tentu masuk akal, karena, secara general, mesin sepeda motor 883cc adalah mesin dua silinder, sedangkan sepeda motor 100cc adalah mesin bersilinder tunggal. Dengan demikian, jumlah part yang dikerjakan per aktivitasnya pun menjadi dua kali lipat juga.



Grafik 4. 2. Indeks Kompleksitas setiap Aktivitas Maintenance di dalam CM1

Namun, ada aktivitas maintenance yang ternyata mengalami penurunan dalam nilai indeks kompleksitasnya, yakni kompleksitas assembly. Hal ini selanjutnya diteliti lebih mendalam agar bisa diketahui perbedaannya. Grafik 4.3. mengakomodir kebutuhan ini. Di dalam grafik ini, elemen-elemen utama pembentuk indeks kompleksitas per aktivitas maintenance ditampilkan dan diperbandingkan antara sepeda motor 100cc dengan 883cc. Elemen-elemen tersebut adalah : kuantitas informasi (H), rasio keragaman dari informasi (DR), dan konten dari informasi (c).



Grafik 4. 3. Breakdown Elemen Indeks Kompleksitas setiap Aktivitas di dalam CM1

Setelah diteliti lebih mendalam pada aktivitas yang mengalami penurunan indeks kompleksitas tersebut, analisisnya kembali mengacu kepada definisi dari kompleksitas pada aktivitas masing-masing. Pada indeks kompleksitas assembly, penurunan indeks kompleksitas terjadi di semua aktivitas assembly, yakni : assembly CH, assembly ARB, dan assembly total. Hal ini disebabkan oleh elemen ratio keragaman dari informasi (DR) yang tidak mengalami kenaikan pada perhitungan kompleksitas assembly total. Hal tersebut terjadi karena meskipun pada kasus sepeda motor 883cc ada dua kali lebih banyak part yang harus di-assembly, namun hanya satu variasi yang terhitung. Karena, ketika assembly dilakukan, variasi part yang dikerjakan bernilai 1 untuk dua part yang sejenis. Hal ini menunjukkan bahwa dalam hal perhitungan kompleksitas, semakin banyak hal yang sama yang dilakukan berulang-ulang pada part yang sama, maka akan berdampak pada mengecilnya nilai variasi dari informasi sehingga kompleksitas pun akan semakin kecil. Di sisi yang lain, elemen kuantitas informasi (H) mengalami kenaikan, namun untuk elemen konten informasi (koefisien relatif) tidak mengalami perubahan, hal itu dikarenakan oleh sejenisnya physical attributes dari produk yang di maintenance.

Berkebalikan dengan indeks kompleksitas assembly, terjadi kenaikan pada ketiga elemen perhitungan untuk indeks

kompleksitas pada aktivitas *maintenance* yang lainnya. Meskipun telah dibahas diatas, bahwa sepeda motor 883cc memiliki variasi informasi yang lebih sedikit, namun di dalam perhitungan kompleksitas untuk aktivitas operasional pemeriksaan, QC, dan proses repair, part yang diperiksa atau diperbaiki memiliki identitasnya masing-masing sebagai part yang diasumsi mengalami kerusakan. Sehingga, tidak bisa “di cap” bahwa part yang sama tersebut tidak memiliki *distinct* (varietas). Karena dalam hal *maintenance*, (khususnya di aktivitas pemeriksaan, QC, dan *repair*) setiap part, meskipun sama persis, diasumsikan “beda”, oleh karena adanya kemungkinan bahwa part tersebut melenceng dari standar (bentuk part itu sesungguhnya). Sehingga, pengerjaan yang dilakukan pada part yang sama tersebut akan dinilai sebagai dua aktivitas yang berbeda.

Efek dari nilai indeks kompleksitas ini dapat kita lihat secara konkret pengaruhnya pada harga servis besar di pasaran. Grafik 4.4 memperlihatkan kenaikan harga tersebut secara kasar.



Grafik 4.4. Grafik Perbandingan Nilai Kompleksitas Maintenance dengan Harga Servis Besar

Pemodelan yang dirancang ini diharapkan dapat menjadi tolakan awal untuk mulai memikirkan secara detail mengenai kegiatan *maintenance* yang akan dilakukan pada sebuah produk ketika masih di masa *development* (conceptual design, dst). Melalui model perhitungan dari penelitian ini, dapat mulai disimpulkan apa yang perlu diperhatikan dari sebuah desain produk ketika ingin memikirkan aktivitas *maintenance* – nya, yakni dengan melihat parameter penting dari masing-masing aktivitas *maintenance*.

Lampiran 1 (Gambar 4.6) menjelaskan parameter penting yang ada dalam konten informasi saat menghitung indeks kompleksitas *maintenance*. Diharapkan parameter ini dapat menjadi acuan ketika sebuah feature dari produk dibentuk dalam desain awal. Sebagai contoh, untuk meminimalisir kompleksitas operasional pemeriksaan dan QC, yang pertama kali dilakukan adalah dengan melihat

jenis pengukuran yang akan dilakukan pada feature yang sedang di desain,. Dimana, untuk menakar jenis pengukuran yang efektif pada feature tersebut, dapat dilihat dari variabel penentunya yakni “alat ukur terhadap aktivitas *maintenance*” melalui physical dan cognitive elemen yang berperan didalamnya. Dan begitu seterusnya, pendekatan ini dilakukan lagi untuk meminimalisir kompleksitas proses repair dan *assembly*.

Bagan pertimbangan diatas akan sangat berguna dalam mencapai ke-efektif-an dari nilai koefisien relatif operasional (*c*), sesuai dengan aktivitas *maintenance* yang sedang dipertimbangkan. Untuk meng-efektif-kan elemen kuantitas informasi (*H*) dan ratio varietas informasi (*DR*), pertimbangan yang dibutuhkan terletak pada mengurangi jumlah dan menaikkan variasi dari feature produk dan konten dari lingkungan pendukungnya dalam hal *maintenance*, yakni : alat ukur, alat reparasi, dan fastener.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang dilakukan terhadap kasus servis besar tahap 1 pada sepeda motor 100cc, 250cc, dan 883cc demikian kesimpulan yang didapatkan oleh peneliti :

1. Dalam menghitung indeks kompleksitas *maintenance*, perlu dikelompokkan terlebih dahulu secara jelas pembagian kerja *maintenance* yang dialami oleh kasus tersebut dalam sebuah bentuk flowchart process *maintenance*.
2. Indeks kompleksitas *maintenance* merupakan jumlah dari keseluruhan indeks kompleksitas dari aktivitas *maintenance* yang terlibat. Pemodelan ini mampu menghitung indeks kompleksitas *maintenance* dengan alur perhitungan pada Gambar 3.2.
3. Parameter penting yang membentuk indeks kompleksitas adalah :
 - D_R = variasi dari feature produk dan lingkungan *maintenance* (alat ukur, alat reparasi, dan fastener).
 - H = jumlah dari feature produk dan lingkungan *maintenance* (alat ukur, alat reparasi, dan fastener).
 - c = nilai koefisien relatif kompleksitas berdasarkan parameter penting yang dilihat dari variabel penentu pada *feature*, di dalam aktivitas *maintenance* masing-masing.
4. Model perhitungan kompleksitas *maintenance* servis besar tahap 1 pada sepeda motor 100cc menghasilkan nilai $C_{M1} = 79.65$. Sedangkan pada verifikasi model perhitungan untuk sepeda motor 250cc, menghasilkan nilai $C_{M1} = 80.05$, sedangkan untuk sepeda motor 883cc, menghasilkan nilai $C_{M1} = 88.67$. Hal ini disebabkan oleh :

- jumlah dari feature produk (H) dari sepeda motor 883cc adalah hampir 2x lipat dari sepeda motor 250cc dan 100cc, untuk setiap aktivitas *maintenance*-nya. Hal ini karena secara general, mesin sepeda motor 883cc adalah dua silinder, sedangkan mesin sepeda motor 250cc dan 100cc adalah silinder tunggal, sehingga ada jumlah part yang 2x lebih banyak.
 - nilai koefisien relatif kompleksitas (c) sepeda motor 883cc, yang selalu jauh lebih besar daripada sepeda motor 250cc dan 100cc, di dalam hampir semua aktivitas *maintenance* servis besar tahap 1, menunjukkan bahwa aktivitas yang dilakukan terhadap sepeda motor 883cc adalah jauh lebih rumit. Dan begitu juga ketika sepeda motor 250cc dibandingkan dengan 100cc. Hal ini dinilai berdasarkan pembobotan terhadap parameter penting dalam setiap aktivitas *maintenance* (Gambar 4.2) yang dilakukan dalam area perhitungan.
5. Peningkatan indeks kompleksitas *maintenance* sangat bergantung pada tingkat keakuratan hasil pembobotan yang dilakukan untuk menilai suatu perubahan disain dan lingkungan *maintenance*-nya. Peningkatan ini nantinya akan berpengaruh kepada peningkatan harga.

Nomenclatur :

$C_{ops, check, QC}$	indeks kompleksitas pemeriksaan dan <i>quality control</i>
$D_{R ops, y related task}$	ratio variasi dari fitur (melihat aktivitas terkait dengan produk) dan ratio variasi dari alat kerja (melihat aktivitas terkait dengan proses)
$c_{o, y related task}$	koefisien relatif kompleksitas operasional, berdasarkan elemen-elemen yang berpengaruh pada aktivitas pemeriksaan dan QC
$H_{ops, y related task}$	jumlah informasi dari fitur (melihat aktivitas terkait dengan produk) dan jumlah informasi dari alat kerja (melihat aktivitas terkait dengan proses)
$n_{ops, y}$	variasi dari informasi
$N_{ops, y}$	jumlah total dari informasi
$x_{pd, f}$	presentase fitur yang menjalani pemeriksaan dan QC dari keseluruhan produk
Pd_D	faktor kompleksitas dari

$x_{pc, f}$	rangkaian aktivitas persiapan proses terhadap produk presentase proses pemeriksaan dan QC yang dijalankan pada fitur, dari keseluruhan proses pada produk
Pc_D	faktor kompleksitas dari rangkaian aktivitas proses pemeriksaan dan QC
e_{f_A}	upaya (effort), dalam melawan elemen-elemen fisik dan kognitif, yang dibutuhkan dalam menjalankan rangkaian aktivitas persiapan proses terhadap produk
e_{f_B}	upaya (effort), dalam melawan elemen-elemen fisik dan kognitif, yang dibutuhkan dalam menjalankan rangkaian aktivitas proses pemeriksaan dan QC
A	rangkaian persiapan proses terhadap produk
B	rangkaian proses pemeriksaan dan QC
P_N	Jumlah dari pembobotan pengaruh elemen fisik terhadap rangkaian aktivitas
C_N	Jumlah dari pembobotan pengaruh elemen kognitif terhadap rangkaian aktivitas
C_D	faktor upaya kognitif
<i>factor leve</i>	Variasi dari elemen fisik yang berperan
<i>factor leve</i>	Variasi dari elemen kognitif yang berperan
M	Elemen fisik
N	Elemen kognitif
$C_{proses repair}$	indeks kompleksitas proses <i>repair</i>
$D_{R proses, x}$	ratio variasi dari lingkungan penunjang proses <i>repair</i> (<i>fixtures, tools, gauges, machines</i>)
$H_{proses, x}$	jumlah informasi dari lingkungan penunjang proses <i>repair</i> (<i>fixtures, tools, gauges, machines</i>)
n	variasi informasi
N	jumlah informasi
x_f	sub-proses perbaikan, pada fitur tertentu, dari keseluruhan proses perbaikan yang dijalani oleh produk tersebut
$C_f, feature$	faktor upaya untuk memperbaiki, yang dilihat dari hasil pembobotan elemen <i>in - process feature</i> dan <i>in-process specification</i> .
F_N	Jumlah dari nilai pembobotan upaya dalam mencapai tagert utama dari perbaikan (<i>in-process feature</i>)

F_{CF}	ratio jumlah proses perbaikan terhadap target utama yang hendak dicapai	McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-145230-4, (2005)
S_N	Jumlah dari nilai pembobotan upaya dalam mencapai target tambahan dari perbaikan (<i>in-process specification</i>)	Prasad, Biren. <i>Product Lifecycle Management</i> . Springer. ISBN 978-3-540-78173-8, (1995).
S_{CF}	ratio jumlah proses perbaikan terhadap target tambahan yang hendak dicapai	Peter Coder. <i>Total production Maintenance the Western Way</i> , Butterworth, Heinemann, First Published, Oxford, London, (1992)
J	Aspek <i>in-process feature</i> (target utama dari perbaikan)	Stark, John. <i>Product Lifecycle Management: 21st century Paradigm for Product Realisation</i> . Springer. ISBN 978-1-85233-810-7, (2004).
K	Aspek <i>in-process specification</i> (target tambahan dari perbaikan)	S. Nakajima: <i>Introduction to TPM</i> , Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, (1988).
$factor\ level\ j$	Variasi aspek <i>feature</i>	
$factor\ level\ k$	Variasi aspek <i>specification</i>	
C_{ass}	indeks kompleksitas <i>assembly</i>	
n_p	variasi <i>part</i> yang di <i>assembly</i>	
N_p	jumlah total <i>part</i> yang di <i>assembly</i>	
$c_{i, product assembly}$	nilai koefisien relatif kompleksitas <i>assembly</i> yang dilihat dari pengaruh <i>handling</i> dan <i>insertion</i> terhadap <i>physical attributes</i> dari <i>part</i>	
$n_{fastener}$	variasi <i>fastener</i> yang terlibat dalam <i>assembly</i>	
$N_{fastener}$	jumlah <i>fastener</i> yang terlibat dalam <i>assembly</i>	
x_p	presentase jumlah <i>part</i> yang di <i>assembly</i> terhadap jumlah total semua <i>part</i>	
C_{part}	faktor upaya dalam melakukan <i>assembly</i> , dengan melihat hasil pembobotan <i>handling</i> dan <i>insertion attribute</i> dari masing-masing <i>part</i> yang di <i>assembly</i>	
C_h	<i>handling attributes</i>	
C_i	<i>insertion attributes</i>	
H	variasi dari <i>handling attributes</i>	
I	variasi dari <i>insertion attributes</i>	

Referensi

Dhillon, B.S *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Mc Graw Hill, New York, (2006).

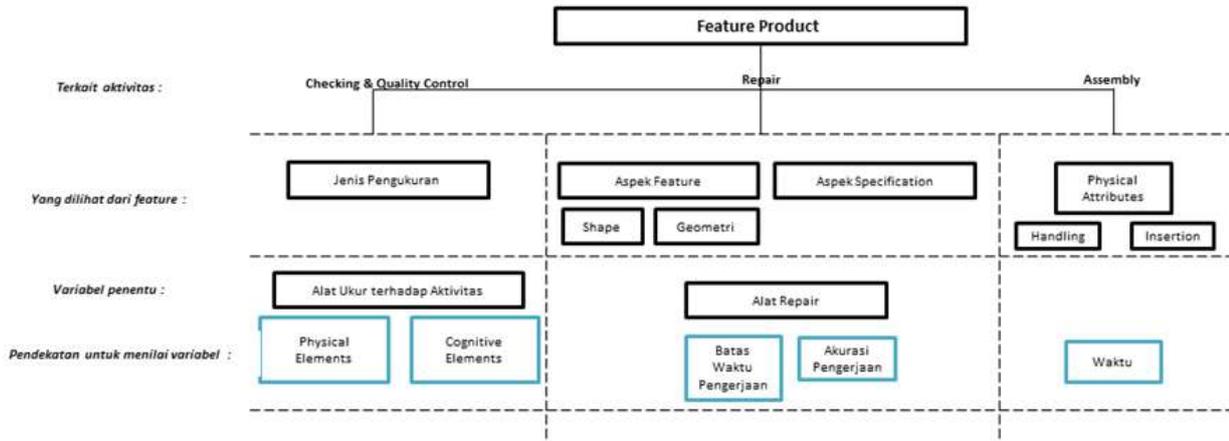
El-Maraghy, W.H. *Modelling of Manufacturing Systems Complexity*. University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, (2003).

El-Maraghy, W.H. *Assessment of Manufacturing Operational Complexity*. University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, (2006).

El-Maraghy, W.H. *A model for measuring products assembly complexity*. University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, (2009)

Grieves, Michael. *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking*.

Lampiran 1.



Gambar 4. 6. Parameter Penting Perhitungan Kompleksitas Maintenance dalam Konten Informasi (nilai Koefisien Relatif Kompleksitas)