

Perhitungan dan Analisis Nilai Kompleksitas *Setup* Mesin CNC untuk Fitur Rotational dan Non Rotational

Hendri DS Budiono¹, Alvinsyach Pratama², Azka Rianto Tedja Ningrat³

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424.

Email: hendri@eng.ui.ac.id, idalvin.pratama@hotmail.com, azka.rianto@ui.ac.id

Abstrak

Tahapan disain sebesar 70-80% biaya produksi merupakan tahapan yang paling berpengaruh dalam usaha merealisasikan suatu produk manufaktur. Proses pemesinan dalam banyak hal selalu berperan dalam setiap proses pembuatan suatu produk manufaktur bahkan hingga memakan porsi antara 60%-80%, tidak saja berkaitan pada produknya secara langsung akan tetapi juga termasuk pembuatan *tools* yang digunakan. Bervariasinya bentuk fitur produk manufaktur, mendorong Jong Yun Jung melakukan klasifikasi fitur kedalam empat fitur dasar yang dapat dibentuk dengan proses permesinan, yaitu *rotational feature*, *slab feature*, *prismatic feature*, dan *revolving feature*. Kondisi persaingan dalam industri menuntut para pelakunya untuk bekerja cepat, kualitas bagus, dan harga rendah yang salah satunya dapat dipercepat melalui upaya estimasi biaya pada tahap awal proses disain dengan mengetahui secara cepat kompleksitas proses pemesinan yang dimudahkan dengan ke empat klasifikasi dasar tersebut. Pada penelitian ini akan dihitung nilai kompleksitas dari *setup* mesin CNC untuk fitur *rotational* dan *non rotational*. Metode perhitungan kompleksitas yang digunakan adalah metode yang telah dikembangkan oleh El Maraghy dan Urbanic dimana penilaian dilakukan berdasarkan jumlah informasi, variasi informasi, dan isi informasi dari *setup* mesin CNC. Hasil perhitungan dan analisis menunjukkan bahwa nilai kompleksitas *setup* mesin CNC untuk *rotational feature* ($\sum p_{cx} 9.93 - 10.48$) dan *non rotational feature* ($\sum p_{cx} 9.74 - 10.38$).

Kata kunci: Kompleksitas proses, *setup*, CNC, *rotational feature*, *non rotational feature*

1. Pendahuluan

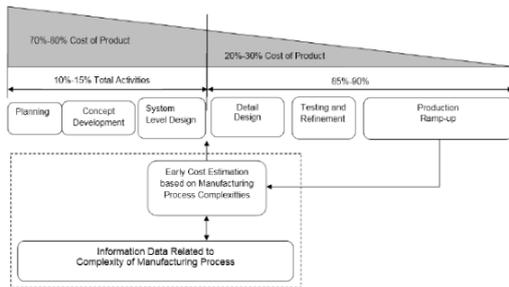
Industri manufaktur memegang peranan penting dalam perkembangan ekonomi global, termasuk banyaknya lapangan pekerjaan di dalam industri manufaktur yang mendukung perkembangan ekonomi dan pasar suatu negara. Hal ini membuat setiap negara bersaing untuk mengembangkan strategi dalam memajukan industri manufaktur masing-masing.

Salah satu kunci di balik strategi manufaktur yang berhasil yaitu terus dilakukannya inovasi dan pengembangan teknologi. Inovasi yang dilakukan dalam membuat suatu produk melibatkan berbagai aspek seperti disain produk, pemilihan material, proses manufaktur, dll.

Disain produk sebagai tahap awal perancangan suatu produk menentukan fungsi dan performa dari produk yang akan dibuat. Aktivitas ini menentukan 70-80% biaya dari produk[1]. Oleh karena itu, dalam pengembangan suatu produk, inovasi di dalam disain produk menjadi suatu hal yang esensial. Disain produk melibatkan segala perencanaan produk mulai dari bentuk produk, proses produksi hingga pengaplikasiannya.

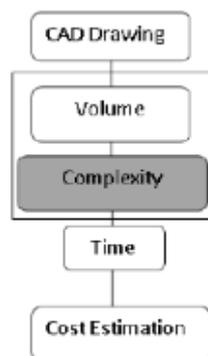
Aktivitas disain pada kegiatan manufaktur pada umumnya dilakukan secara berurutan, dari proses perencanaan, pengembangan konsep, kemudian disain tersebut dianalisis secara detail, hingga pada akhirnya produk siap untuk diproduksi.

Namun dalam melakukan pengembangan, melakukan aktivitas hingga detail disain memakan waktu yang cukup lama, sehingga berimbas kepada dibutuhkannya biaya yang besar. Oleh karena itu, diperlukan metode yang dapat mengestimasi penerapan inovasi bahkan pada tahap sebelum detail disain.



Gambar 85. Konsep estimasi biaya sebelum detail disain [1]

Dengan menerapkan inovasi pada tahap awal proses disain atau sebelum detail disain, waktu yang dibutuhkan untuk menerapkan ide-ide baru menjadi lebih cepat. Inovasi dilakukan dengan membandingkan berbagai konsep atau bahkan produk baru dengan informasi data mengenai kompleksitas proses yang telah direkam menjadi *database*.

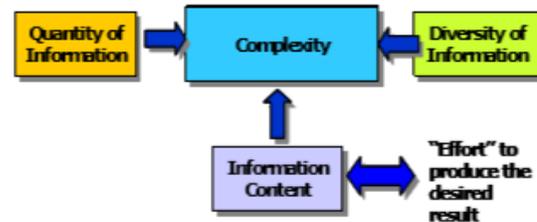


Gambar 86. Cost estimation sebelum tahap detail disain [1]

Melakukan aktivitas sebelum tahap detail disain merupakan hal yang cukup sulit, karena informasi yang ada mengenai produk belum cukup. Setelah melakukan tahap disain awal (*CADDrawing*), aktivitas estimasi dapat dilakukan berdasarkan volume dari produk manufaktur maupun

waktu yang dibutuhkan, khususnya waktu permesinan dalam membuat produk tersebut. Namun hal tersebut belum cukup untuk merepresentasikan informasi dalam melakukan estimasi biaya.

Dalam pengembangan konsep assessment produk, ElMaraghy dan Urbanic (2003) mengemukakan bahwa suatu produk manufaktur memiliki nilai kompleksitas yang merepresentasikan tingkat kerumitan dari produk tersebut. Nilai kompleksitas didapat dengan mendefinisikan berbagai informasi mengenai suatu produk. Nilai dari kompleksitas tersebut selanjutnya digunakan dalam proses pengestimasian. Nilai tersebut secara detail dapat merepresentasikan informasi mengenai produk tersebut.

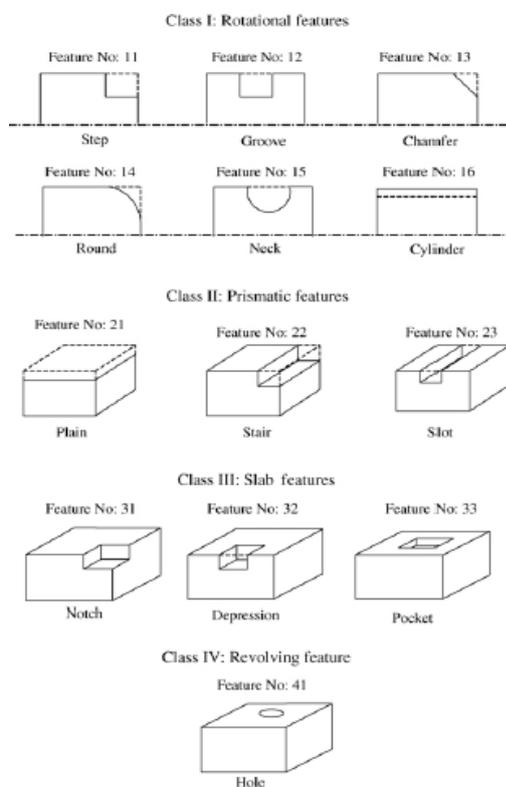


Gambar 3. Konsep kompleksitas [2]

Kompleksitas merupakan tingkat kerumitan dari suatu kegiatan proses atau operasional, ataupun tingkat kerumitan dari suatu produk yang dibuat. Tingkat kerumitan dihitung dengan mengetahui subproses yang ada di dalam sebuah proses manufaktur. Untuk setiap subproses yang didefinisikan, terdapat parameter-parameter penting yang akan menentukan nilai dari kompleksitas yang dicari. Parameter tersebut dibagi menjadi parameter fisik dan parameter non fisik. Parameter fisik adalah parameter yang berasal dari komponen fisik, atau peralatan yang digunakan dalam sebuah proses manufaktur. Parameter fisik dari sebuah proses manufaktur selanjutnya diklasifikasikan sebagai *fixture*, *tools*, *gauge*, dan *machine*. Selanjutnya parameter non fisik dibedakan menjadi dua, yaitu *in-process feature* dan *in-process specification*. *In-process feature* adalah

parameter yang ditambahkan ke dalam proses untuk membentuk produk secara *shape*, *geometry*, dan *tolerance* dengan kualitas standar. Sedangkan *in-process specification* adalah parameter yang ditambahkan ke dalam proses dengan tujuan bahwa produk yang dibuat memiliki nilai lebih dibandingkan kualitas standar. Parameter fisik terdiri atas jumlah informasi (H) dan keragaman informasi (D_R). Sedangkan parameter non-fisik berisi konten informasi (c_j). Ketiga parameter tersebut yang akan menentukan nilai dari kompleksitas.

Dalam menghitung nilai kompleksitas, bentuk geometri suatu produk merupakan salah satu faktor utama, namun bentuk geometri dari produk tidak dapat dihitung karena jumlahnya yang tidak terhingga, sesuai dengan tingkat kreativitas dan inovasi dari perancang dalam membuat produk tersebut.



Gambar 4. Klasifikasi proses permesinan Jong-Yun Jung [3]

Oleh karena itu, diperkenalkan istilah *feature* yang mencakup semua geometri dengan membentuk beberapa klasifikasi. Jong Yun Jung (2002) menjelaskan bahwa *feature* merupakan bentuk penampilan dari geometri yang dihubungkan dengan aktivitas manufakturnya, di mana hampir semua proses produksi (60% sampai 80%) dilakukan melalui proses permesinan, baik produknya secara langsung maupun pembuatan *tools* yang digunakan. Jong Yun Jung (2002) selanjutnya memaparkan ada empat klasifikasi dasar *feature* dalam proses manufaktur, dengan melibatkan berbagai proses *machining*, yaitu *rotational features*, *prismatic features*, *slab features* dan *revolving features*. Setiap *feature* melibatkan proses yang berbeda, baik itu dari proses *machining* maupun *tools* yang dipilih.

Proses permesinan secara umum terdiri dari tiga proses utama, yaitu *set-up*, *operation* dan *non-operation*. Masing-masing memiliki nilai kompleksitas yang disebut kompleksitas proses (El Maraghy & Urbanic, 2003). Proses *operation* dan *non-operation* dilakukan sesuai dengan jenis mesin yang digunakan. Keduanya semakin dipermudah dengan adanya mesin *Computerized Numerical Control (CNC)*. Namun untuk setiap fitur yang akan dibuat, memerlukan proses *set-up* yang berbeda. Sehingga diperlukan perhitungan kompleksitas *set-up* untuk setiap fitur.

Penelitian berjudul **PERHITUNGAN DAN ANALISIS NILAI KOMPLEKSITAS SET UP MESIN CNC** akan membahas setiap fitur yang dikemukakan Jong Yun Jung. Akan dibuktikan bahwa perbedaan *feature* berpengaruh terhadap nilai kompleksitas *set up machining*, dengan menghitung nilai kompleksitas proses dari setiap fitur. Nilai kompleksitas yang didapat akan digunakan sebagai bagian dari *database* yang digunakan dalam menerapkan ide atau disain baru pada tahap konsep disain.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur serta studi lapangan. Studi lapangan dilakukan di lima tempat, yaitu di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Politeknik Negeri Jakarta, CV. Alko Millenium Perkasa Engineering, PT. Sarana Adhikarya Utama, dan CV. Harapan Bubut. Perlu pemahaman mengenai permodelan kompleksitas serta *setup* proses bubut dan milling dengan mesin CNC. Setelah memahami keseluruhan *setup* proses bubut dan milling CNC, dilakukan penguraian subproses serta tahapan – tahapan dalam setiap subproses untuk menentukan parameter – parameter yang akan dibobotkan dalam model perhitungan kompleksitas *setup* proses bubut dan milling CNC. Data pada penelitian ini didapatkan dari pengamatan penulis, wawancara dengan para ahli, dan dengan mengumpulkan standar produksi yang dimiliki suatu perusahaan. Objek penelitian ini adalah tiga fitur dasar proses permesinan yang diklasifikasikan oleh Jong-Yun Jung.

2.1 Identifikasi Parameter

Parameter yang berpengaruh pada kompleksitas proses manufaktur terbagi menjadi dua, yaitu parameter fisik dan parameter non fisik.

2.1.1 Parameter Fisik

Parameter fisik adalah parameter yang berasal dari komponen – komponen fisik atau peralatan yang digunakan dalam sebuah proses manufaktur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh El Maraghy [1], parameter fisik dari sebuah proses manufaktur dapat diklasifikasikan sebagai *fixture*, *tools*, *gauge*, dan *machines*.

2.1.2 Parameter Non Fisik

Parameter non fisik pada perhitungan kompleksitas proses terbagi menjadi dua, yaitu *in process feature* dan *in process specification*. *In process feature* adalah parameter yang ditambahkan ke dalam proses untuk menghasilkan produk sesuai standarnya. Sedangkan *in process*

specification adalah parameter yang ditambahkan ke dalam proses dengan tujuan menghasilkan produk melebihi standarnya.

2.2 Pengolahan Data

Perhitungan kompleksitas proses dari parameter fisik dan parameter non fisik dilakukan secara terpisah. Data parameter fisik yang diperoleh diolah menjadi H dan D_R . H atau jumlah elemen informasi dihitung dengan persamaan

$$H = \log_2 (N + 1) \quad (1)$$

Sedangkan D_R atau rasio keragaman dihitung dengan persamaan

$$D_R = \frac{n}{N} \quad (2)$$

dimana N adalah jumlah informasi dan n adalah jumlah informasi yang unik.

Pengolahan data parameter nonfisik dimulai dengan penyeragaman nilai dengan pembobotan dengan menggunakan metode normalisasi. Hal tersebut dilakukan karena data parameter yang diperoleh memiliki satuan yang berbeda-beda, sehingga agar dapat dihitung, data tersebut diseragamkan terlebih dahulu. Proses pembobotan ini menghasilkan F_{CF} dan S_{CF} yang diperoleh dengan persamaan:

$$F_{CF} = \frac{\sum_{j=1}^J factor_level_j}{J} \quad (3)$$

$$S_{CF} = \frac{\sum_{k=1}^K factor_level_k}{K} \quad (4)$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung $C_{f,feature}$ atau koefisien kompleksitas feature relatif, yang merupakan deskripsi dari fitur-fitur yang diinginkan beserta usaha-usaha yang dilakukan untuk membentuk fitur tersebut.

$$C_{f,feature} = \frac{F_N * F_{CF} + S_N * S_{CF}}{F_N + S_N} \quad (5)$$

Setelah itu, dapat dihitung koefisien kompleksitas relatif dengan persamaan:

$$c_{processx} = \sum_{f=1}^F X_f * c_{f,feature} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (1), (2), dan (6) dapat dihitung nilai kompleksitas proses dengan persamaan sebagai berikut

$$pc_x = (D_{R_{processx}} + c_{processx}) * H_{processx} \quad (7)$$

Nilai kompleksitas proses atau $\sum pc_x$ adalah penjumlahan jumlah dari seluruh subproses di dalamnya. Dalam penelitian ini, nilai kompleksitas proses dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sum pc_x = pc_{x,subproses\ 1} + pc_{x,subproses\ 2} + \dots + pc_{xn} \quad (8)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Kompleksitas

Setelah mengetahui parameter fisik dan non fisik dari *setup* proses bubut CNC, perhitungan dilakukan terhadap tiga fitur Jong-Yun Jung. Berikut adalah hasil perhitungan kompleksitas *setup*

Tabel 1. Nilai kompleksitas *setup* fitur *step*

<i>Step</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	4.585	0.696	0.344	4.764
2	3.585	0.545	0.328	3.132
3	2.585	1	0	2.585
$\sum pc_x$				10.48

Tabel 2. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Groove*

<i>Groove</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	4.087	0.688	0.343	4.211
2	3.585	0.545	0.328	3.132
3	2.585	1	0	2.585
$\sum pc_x$				9.93

Tabel 3. Nilai kompleksitas *setup* fitur

<i>Chamfer</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	4.585	0.696	0.344	4.764
2	3.585	0.545	0.328	3.132

3	2.585	1	0	2.585
$\sum pc_x$				10.48

Tabel 4. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Round*

<i>Round</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	4.585	0.696	0.344	4.764
2	3.585	0.545	0.328	3.132
3	2.585	1	0	2.585
$\sum pc_x$				10.48

Tabel 5. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Neck*

<i>Neck</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	4.585	0.696	0.344	4.764
2	3.585	0.545	0.328	3.132
3	2.585	1	0	2.585
$\sum pc_x$				10.48

Tabel 6. Nilai kompleksitas *setup* fitur

<i>Cylinder</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	4.585	0.696	0.344	4.764
2	3.585	0.545	0.328	3.132
3	2.585	1	0	2.585
$\sum pc_x$				10.48

Tabel 7. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Plain*

<i>Plain</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	3,81	0,85	0,15	3,77
2	2,32	1,00	0,08	2,51
3	4,25	0,89	0	3,78
$\sum pc_x$				10.06

Tabel 8. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Stair*

<i>Stair</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	3,70	0,83	0,13	3,55
2	2,32	1,00	0,08	2,51
3	4,17	0,88	0	3,68
$\sum pc_x$				9.74

Tabel 9. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Slot*

<i>Slot</i>				
Subproses	H	DR	C _{process_x}	pc _x
1	3,70	0,83	0,13	3,55
2	2,32	1,00	0,08	2,51
3	4,17	0,88	0	3,68

$\sum pcx$	9.74
------------	------

Tabel 10. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Notch*

<i>Notch</i>				
Subproses	H	DR	$C_{process\ x}$	pcx
1	4,09	0,81	0,19	4,09
2	2,32	1,00	0,08	2,47
3	4,17	0,88	0,03	3,82
$\sum pcx$				10.38

Tabel 11. Nilai kompleksitas *setup* fitur

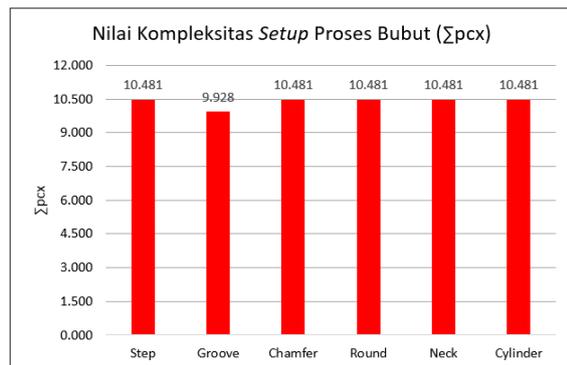
<i>Depression</i>				
Subproses	H	DR	$C_{process\ x}$	pcx
1	4,09	0,81	0,19	4,09
2	2,32	1,00	0,08	2,47
3	4,17	0,88	0,03	3,82
$\sum pcx$				10.38

Tabel 12. Nilai kompleksitas *setup* fitur *Pocket*

<i>Pocket</i>				
Subproses	H	DR	$C_{process\ x}$	pcx
1	4,09	0,81	0,19	4,09
2	2,32	1,00	0,08	2,47
3	4,17	0,88	0,03	3,82
$\sum pcx$				10.38

3.2 Analisis Hasil Perhitungan

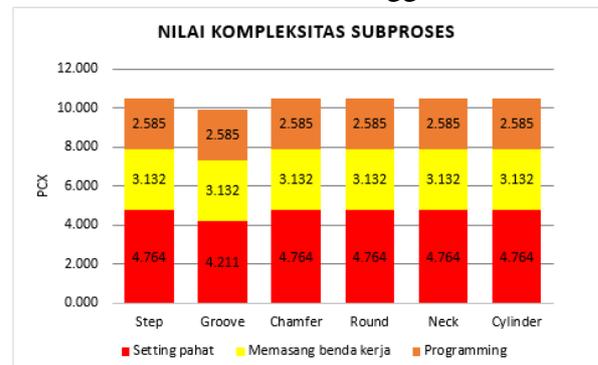
Perhitungan kompleksitas dilakukan dengan metode yang dikemukakan oleh El Maraghy. Perhitungan ini dilakukan secara manual dengan bantuan *software* Microsoft Excel.



Gambar 5 Diagram kompleksitas *setup* bubut

Dari gambar 5 terlihat bahwa nilai kompleksitas *setup* proses bubut untuk keenam *rotational feature* relatif sama. Perbedaan nilai kompleksitas hanya terlihat

pada fitur *groove* yang sedikit lebih rendah, yaitu 9.928. Sedangkan fitur lainnya memiliki nilai kompleksitas yang sama, yaitu 10.481. Nilai ini didapat dari nilai entropi informasi (H), rasio variasi informasi (D_R), dan koefisien kompleksitas relatif ($C_{process\ x}$). Nilai entropi informasi didapatkan dari banyaknya jumlah informasi. Semakin banyak jumlah informasi yang ada, maka akan semakin tinggi juga nilai entropi informasinya. Rasio variasi informasi dinilai dari besarnya jumlah informasi yang dianggap unik. Informasi unik merupakan ragam dari informasi. Semakin tinggi rasio antara jumlah informasi dan informasi unik, maka nilai rasio variasi informasi juga akan semakin tinggi. Terakhir adalah koefisien kompleksitas relatif. Nilai ini didapatkan dari penjumlahan dari jumlah total *feature* dikalikan dengan koefisien kompleksitas *feature* relatif. Semakin tinggi jumlah total *feature* dan koefisien kompleksitas *feature* relatif, maka nilai koefisien kompleksitas relatif maka akan semakin tinggi.

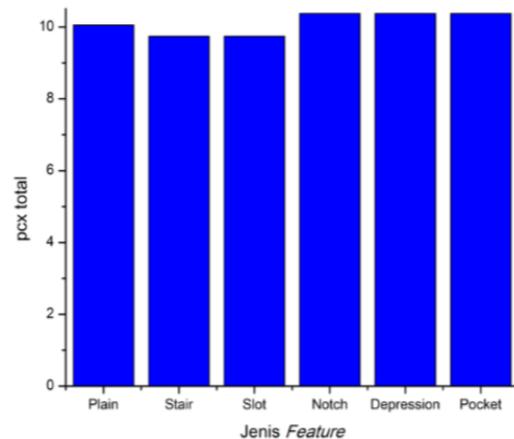


Gambar 6 Diagram kompleksitas subproses

Gambar 6 adalah diagram nilai kompleksitas *setup* proses bubut berdasarkan subproses penyusunnya. Subproses yang menyumbang nilai terbesar untuk nilai kompleksitas secara keseluruhan adalah subproses *setting* pahat, diikuti oleh subproses *memasang* benda kerja dan terakhir adalah subproses *programming*. Terlihat bahwa pada subproses *memasang* benda kerja dan *programming* nilai kompleksitasnya sama untuk semua *rotational feature*, yaitu 3.132

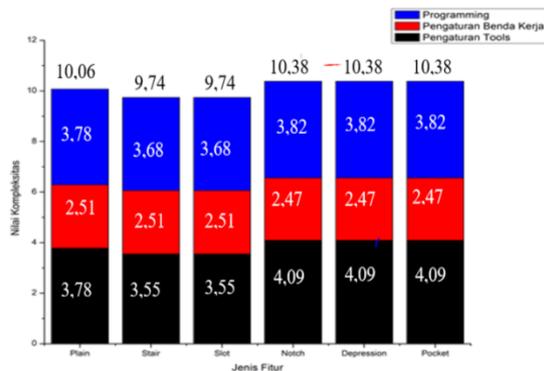
dan 2.585. Kedua nilai kompleksitas subproses tersebut sama karena seluruh aktivitas yang dilakukan dan nilai aspek penting pada tiap – tiap aktivitasnya sama untuk setiap fitur. Perbedaan nilai kompleksitas terlihat pada subproses *setting* pahat. Nilai kompleksitas subproses *setting* pahat fitur *groove* lebih rendah dari kelima fitur lainnya, yaitu sebesar 4.211. Sedangkan fitur – fitur lainnya memiliki nilai kompleksitas subproses *setting* pahat sebesar 4.764. Pada subproses ini lah yang menyebabkan nilai kompleksitas *setup* proses bubut fitur *groove* lebih rendah dari fitur – fitur lainnya.

Nilai kompleksitas subproses *setting* pahat dihasilkan dari pembobotan dua aspek penting, yaitu *assembly time* pahat dan jumlah pahat yang dicari *offset*-nya. Ada dua nilai *assembly time* pada subproses ini. Pertama *assembly time* untuk *in process feature* dan yang kedua *assembly time* untuk *in process specification*. Nilai *assembly time* didapatkan dari pendekatan DFMA [7]. Nilai kompleksitas subproses *setting* pahat fitur *groove* lebih rendah karena jenis pahat yang digunakan untuk *roughing cut* dan *finishing cut* sama. Hanya berbeda radius saja. Sedangkan untuk fitur – fitur lainnya, pahat yang digunakan untuk *roughing cut* dan *finishing cut* berbeda. Untuk *roughing cut* pahat yang digunakan adalah pahat negatif, untuk *finishing cut* pahat yang digunakan adalah pahat positif. Perakitan pahat positif harus lebih teliti dari pada pahat negatif karena pada pahat positif hanya satu sisinya dapat digunakan. Dengan perlunya ketelitian tersebut, maka nilai *assembly time* pahat positif lebih tinggi dibanding dengan pahat negatif atau pun pahat *groove*.



Gambar 7 Diagram kompleksitas *set up milling*

Sedangkan untuk *non rotational feature*, dari keenam fitur yang dihitung, nilai *pcx total* dari *notch*, *depression* dan *pocket* memiliki nilai tertinggi. Walaupun fitur *stair* dan *slot* menggunakan jenis *tools* yang sama, namun fitur *notch*, *depression* dan *pocket* membutuhkan dua *tools* pada saat tahap *roughing*, sedangkan fitur lain termasuk *stair* dan *slot* hanya membutuhkan satu ukuran *tools*. Dengan jumlah *tools* yang lebih banyak waktu yang dibutuhkan dalam melakukan *assembly tools* menjadi lebih lama. Dan juga, aktivitas pengaturan *tools* terhadap benda kerja juga menjadi lebih rumit. Lalu nilai kompleksitas dari fitur *plain* yang lebih tinggi dari nilai kompleksitas fitur *stair* dan *slot* bisa terjadi karena aktivitas *assembly tools* dari fitur *plain* lebih rumit daripada *stair* dan *slot*. Pada aktivitas *assembly tools* fitur *plain*, *cutter insert* dimasukkan ke *slot tool holder*, selanjutnya dikencangkan dan dimasukkan ke dalam *arbor*, baru selanjutnya dimasukkan ke dalam *magazine*. Sedangkan pada fitur *stair* dan *slot*, *tools end mill* dimasukkan ke dalam *collet* dan langsung dimasukkan ke *magazine*.



Gambar 8 Diagram kompleksitas subproses

Gambar 8 menunjukkan nilai dari subproses pada masing-masing *non rotational feature*. Di mana nilai subproses yang relatif sama menunjukkan untuk setiap perbedaan fitur, tingkat kompleksitas dalam memasang benda kerja tidak terlalu berbeda. Lalu pada subproses *programming*, perbedaan nilai dari kompleksitas tiap fitur terjadi pada aktivitas pengaturan tools terhadap benda kerja, di mana semakin banyak tools yang harus diatur/*di-setting*, maka tingkat kompleksitas dari subproses tersebut akan meningkat.

Melihat dari perbandingan data tersebut, pada fitur *stair* dan *slot* subproses *programming* memiliki nilai tertinggi

Gambar 10 Grafik korelasi kompleksitas *setup* dengan waktu (fitur *non rotational*)

Namun dengan perbedaan nilai subproses yang tinggi pada fitur *notch*, *depression* dan *pocket* hingga lebih dari 0,2; ini menunjukkan bahwa pengaturan tools insert pada fitur *plain* lebih kompleks daripada pengaturan tools end mill pada fitur *slot* dan *stair*.

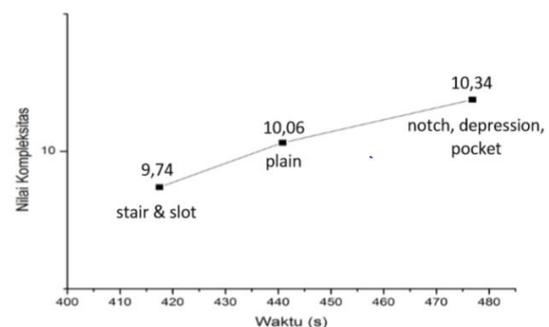
Dengan dibutuhkannya 2 tools end mills saat *roughing* pada *feature notch*, *depression* dan *pocket* lebih rumit dibandingkan satu tools insert saat *roughing* pada fitur *plain*. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa subproses pengaturan tools merupakan subproses yang paling berpengaruh di dalam aktivitas *set up* mesin *milling* CNC.

3.3 Korelasi Kompleksitas dan Waktu



Gambar 9 Grafik korelasi kompleksitas *setup* dengan waktu (fitur *rotational*)

Gambar 9 adalah grafik korelasi antara kompleksitas *setup* dengan waktu *setup* untuk fitur *rotational*. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kompleksitas *setup* maka semakin lama pula waktu *setup* yang dilakukan.



Sedangkan gambar 10 untuk fitur *non rotational*, dapat dilihat juga bahwa semakin tinggi nilai kompleksitas *set up*, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam melakukan aktivitas *set up*. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa nilai kompleksitas *setup* memiliki hubungan positif dengan waktu *setup*.

4. Kesimpulan

- Aspek penting yang berkaitan dengan *setup* mesin CNC untuk fitur *rotational* dari sisi *feature* adalah *assembly time* pahat, jumlah pahat yang dicari *offset*-nya, diameter benda

kerja, panjang benda kerja, *assembly time* benda kerja, dan bentuk benda kerja. Sedangkan dari sisi *specification* aspek yang berpengaruh hanyalah *assembly time* pahat. Aspek penting yang berpengaruh terhadap nilai kompleksitas set up CNC untuk fitur *non rotational* dari sisi *feature*, *tools*, bentuk maupun toleransi yaitu dimensi *tools* pada saat *roughing*, dimensi benda kerja, *assembly time tools roughing* dan *assembly time* benda kerja, dan jumlah *tools* yang digunakan. Lalu dari sisi *specification* yaitu *assembly time tools* pada saat *finishing* dan dimensi *tools finishing*.

2. Nilai kompleksitas proses pemesinan untuk *setup* proses *feature rotational* adalah:
 - a. *Step* : 10,48
 - b. *Groove* : 9,93
 - c. *Chamfer* : 10,48
 - d. *Round* : 10,48
 - e. *Neck* : 10,48
 - f. *Cylinder* : 10,48

Sedangkan nilai kompleksitas proses pemesinan *setup* proses *feature non-rotational* adalah:

- a. *Plain* : 10,06
 - b. *Slot* : 9,74
 - c. *Stair* : 9,74
 - d. *Notch* : 10,38
 - e. *Depression* : 10,38
 - f. *Pocket* : 10,38
3. Ditinjau dari hasil perhitungan dan analisis, subproses yang paling mempengaruhi perbedaan nilai kompleksitas set up untuk fitur *rotational* adalah *setting* pahat. Sedangkan untuk fitur *non rotational* adalah pengaturan *tools*.

Manufacturing Cost Estimation During The Early Design Phase Related To The Complexity Of The Machining Processes. Mechanical Engineering Department, University of Indonesia: Depok, Indonesia.

[2] ElMaraghy, W. H. & Urbanic, R. J. 2003. *Modeling of manufacturing systems complexity*. Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre, Faculty of Engineering, University of Windsor: Windsor, Ontario, Canada.

[3] Jong-Yun Jung. 2001. *Manufacturing cost estimation for machined parts based on manufacturing features*. Departemen of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University: Changwon, South Korea.

[4] Kalpakjian, Serope & Schmid, Steven. 2006. *Manufacturing Engineering and Technology*, 5th Edition. Prentice Hall: New Jersey.

[5] DeGarmo, E. Paul. 2008. *Materials and Processes in Manufacturing*, 10th edition. John Wiley & Sons, Inc.: New York.

[6] Krar, Steve & Gill, Arthur. 1990. *CNC: Technology and Program*. McGraw-Hill, Inc.: New York.

[7] Boothroyd, Geoffrey, et al. 2011. *Product Design for Manufacture and Assembly*, 3rd edition. CRC Press: Boca Raton, FL.

Referensi

- [1] Budiono, Hendri D.S., et al. 2014. *Method And Model Development For*