

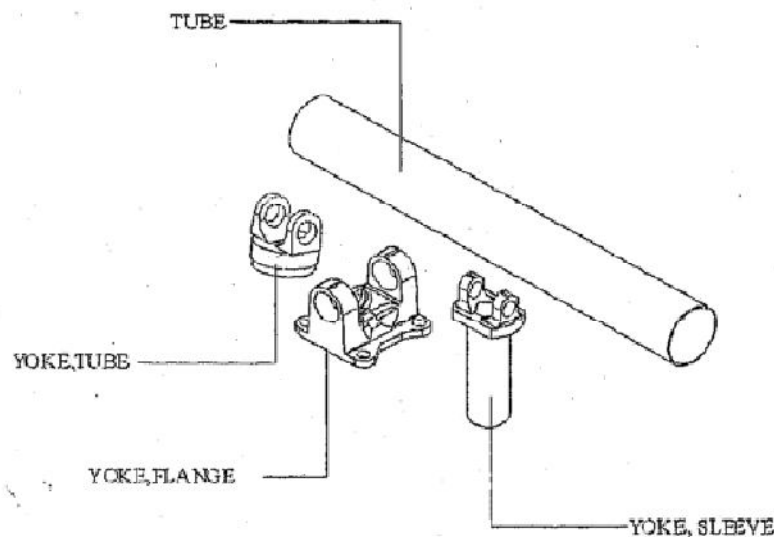
BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL

4.1. Produk Sand Casting

4.1.1. Deskripsi Produk

Produk casting yang diambil sebagai obyek penelitian adalah Flange yoke. Flange yoke merupakan salah satu komponen dari propeller shaft yang berfungsi sebagai salah satu joint antara tube shaft dengan rear axle. Flange yoke disassembly dengan tube, yoke tube, yoke sleeve, menggunakan bantuan jig untuk kemudian dilakukan proses pengelasan untuk menyatukannya. Propeller shaft dimana flange yoke ditempatkan adalah jenis 2-joint propeller shaft.

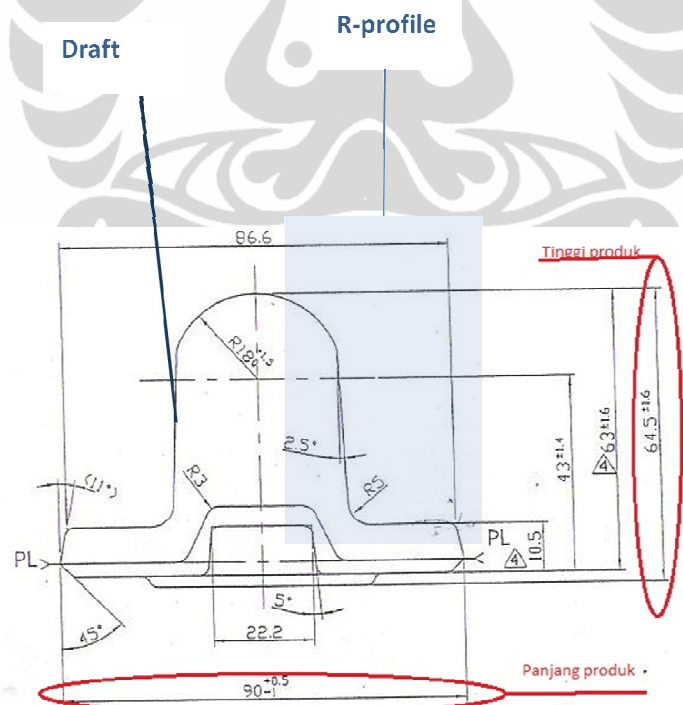


Gambar4. 1 Komponen Propeller Shaft (Sumber: PT.X)



Gambar4. 2 Flange yoke setelah proses sand casting (sebelum perubahan desain)

Material logam yang digunakan untuk flange yoke adalah sejenis ferrous yaitu FCD 500. Material logam yang digunakan untuk pattern adalah Aluminium. Material mold yang digunakan merupakan pasir jenis green-sand ditambahkan dengan basin. Bagian dari flange yoke yang paling krusial untuk dibuat adalah draft, close joint, parting line, R-profile (radius bentuk bulat terbesar), ketebalan produk, dan lebar produk.

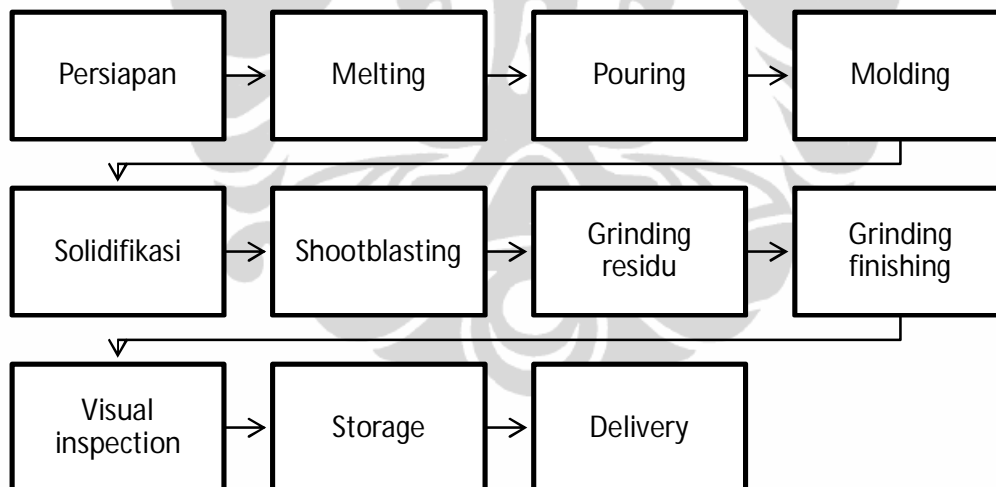


Gambar4. 3 Bagian krusial pada flange yoke untuk proses sand casting

4.1.2. Tahapan Proses Casting

Tahapan proses pembuatan Flange yoke, merupakan proses sand casting untuk bentuk flange yoke-nya dan pembuatan holes dengan proses machining, terdiri dari:

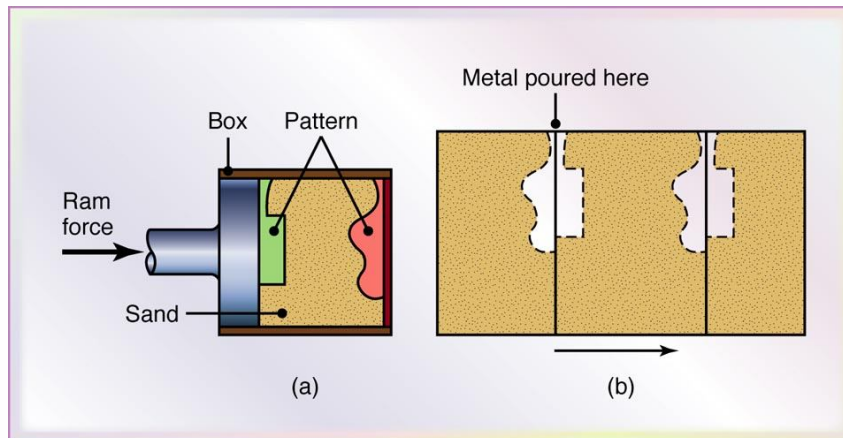
1. Sand Preparation, merupakan tahapan persiapan material untuk mold sebelum dibentuk, yang lebih kepada pengolahan pasir untuk mencapai komposisi kimia tertentu.
2. Molding Preparation, merupakan proses pembentukan pasir sebagai cetakan dengan bentuk seperti produk casting yang ingin diproduksi akan tetapi memiliki dimensi lebih besar.
3. Penuangan, proses penuangan metal cair ke dalam dalam cetakan.
4. Proses Solidifikasi, merupakan proses pemadatan
5. Shot Blast, merupakan proses penyemprotan dengan udara bertekanan tinggi untuk menghilangkan sisa-sisa pasir dari produk casting



Gambar4. 4 Alur Proses Sand Casting

6. Grinding, merupakan proses penghilangan sisa-sisa riser, parting line, dan cacat lainnya.
7. Inspeksi, merupakan proses pemeriksaan fisik dari produk berdasarkan daftar geometri yang merupakan

Teknologi proses sand casting yang dipergunakan untuk memproduksi flange yoke adalah *Vertical Flask Molding*. Vertikal flask molding merupakan teknologi proses sand casting dengan posisi vertical dengan komponen hampir sama dengan proses sand casting pada umumnya yang terdiri dari drag dan cope.



Gambar4. 5 Proses vertical flask molding. (a) Sebelum dipress, (b) setelah dipress (Sumber: Kalpakjian)

Pada teknologi ini pattern dibagi dua pada bagian *squeeze* dan *counter*. Pattern pada *squeeze* akan ditekan dengan bantuan mesin untuk disatukan dengan *counter* setelah pasir diisikan.

4.1.3. Tahapan Proses Machining untuk Pembuatan Lubang

Setelah proses sand casting selesai dilakukan sampai tahapan inspeksi, selanjutnya dilakukan proses machining untuk membuat lubang dan penghalusan permukaan, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penghalusan permukaan bagian bawah yang ada hole
2. Spot facing/pemakanan sebagian pada kaki flange yoke
3. Drill holes pada kaki-kali flange yoke untuk tempat fastening ke arah companion flange-Rear Axle
4. Drilling untuk memperoleh lubang pada kedua kuping flange yoke
5. Pembuatan groove untuk tempat snap ring

4.1.4. Pattern

Pattern yang dipergunakan untuk membuat Flange yoke adalah jenis gated pattern. Merupakan kumpulan pattern yang dijadikan satu dalam suatu frame dengan menggunakan mur dan baut. Material pattern yang digunakan adalah aluminium.

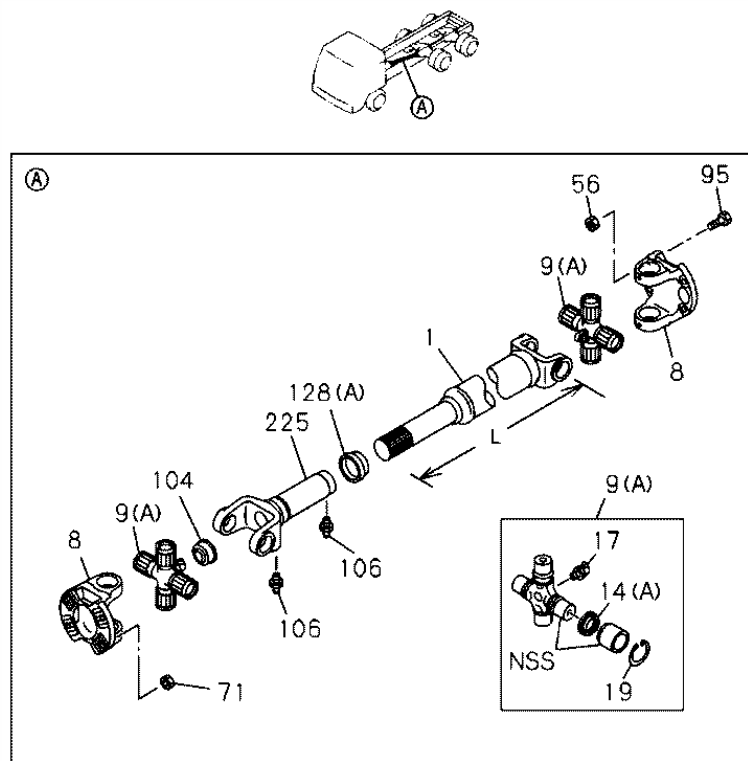


Gambar4. 6 Flange Yoke pattern (Sumber: PT. Y)

Pattern dibuat satu per satu dengan menggunakan proses machining. Pembuatan pattern menggunakan CNC Milling dan/atau EDM. Untuk tahapan proses pembuatan pattern baik untuk yang squeeze maupun counter dilakukan dengan tahapan milling permukaan untuk membentuk profile dari raw material kemudian surface finish adalah roughing, semi finishing, finishing.

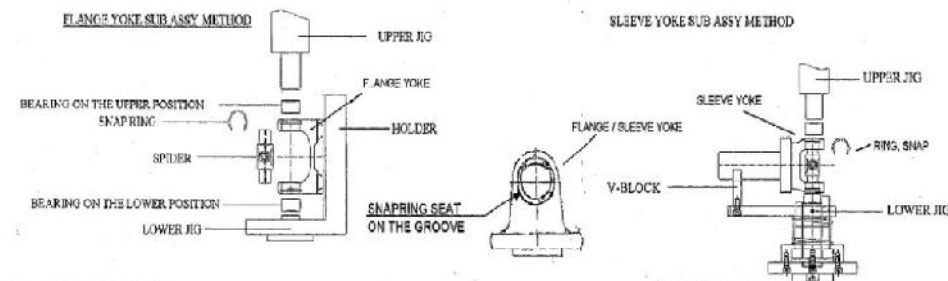
4.1.5. Tahapan Proses Assembly

York flange akan disatukan menjadi suatu sub assembly dari garda truk. Untuk merakit York flange dengan yoke tube, yoke sleeves, dan tube menjadi propeller shaft dilakukan secara berurut sebagai berikut:



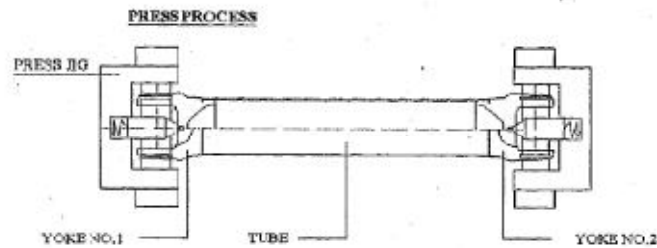
Gambar4. 7 Komponen Propeller shaft (Sumber: www.ipay.com)

1. Flange yoke, berfungsi sebagai joint kepada transmisi. Sewaktu persiapan perakitan diletakkan menghadap ke atas berpatokan kepada emboss yang terletak di bagian atas flange yoke. Flange yoke akan digabungkan dengan spider, snap ring dan bearing. Proses penyatuan dilakukan dengan bantuan mesin press. Titik referensi dari proses perakitan adalah titik pusat dari jig press.



Gambar4. 8 Sub assembly untuk flange yoke dan yoke sleeves (Sumber: PT.X)

2. Yoke sleeves berfungsi sebagai universal joint kepada rear axle. Diletakkan tertidur. Yoke sleeves dirakit dengan snap ring paralel dengan proses perakitan flange yoke.
3. Yoke tube berfungsi sebagai joint pada kedua sisi dari tube kepada flange yoke dan yoke sleeves. Proses penyatuan dilakukan di jig press.



Gambar4. 9 Proses penyatuan komponen propeller shaft di Jig press (sumber: PT.X)

4. Tube, berfungsi memindahkan atau meneruskan tenaga dari transmisi ke differensial.

Setelah seluruh komponen dari propeller shaft berada di dalam jig press selanjutnya yang dilakukan adalah proses pengelasan pada ke dua sambungan antara yoke tube. Sehingga referensi dari proses perakitan adalah sumbu jig press. Proses assembly untuk produk flange yoke sebelum dan sesudah perubahan desain memiliki urutan yang sama.

4.2. Perubahan Desain Flange Yoke

Perubahan desain yang dilakukan adalah menggantikan tahap pembuatan lubang pada kuping flange yoke dengan penggunaan core sewaktu proses sand casting.

4.3. Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk, Indeks Kompleksitas Pattern dan Indeks Kompleksitas Proses (El-Maraghy).

Kompleksitas produk dengan menggunakan metodologi EL-Maraghy dengan jumlah informasi dan keunikan yang dikumpulkan melalui melalui studi literature, jurnal, wawancara, dan kuestioner. Seleksi informasi dilakukan melalui kuestioner menghasilkan parameter penting yang menjadi input untuk pembuatan matrik pengaruh aspek feature dan spesifikasi terhadap bagian dari Flange yoke. Hasil seleksi adalah N dan n yang dapat dilihat pada Lampiran 5 dan 6- Tabel informasi

yang mempengaruhi produk sand casting dan pattern untuk El-Maraghy, sebelum dan setelah perubahan desain. Selanjutnya lakukan tahapan perhitungan untuk menentukan kompleksitas produk (CI , produk). Hasil perhitungan menunjukkan nilai $N = 90$, $n = 81$, c_j , produk = 0,49 maka $CI_{\text{produk}} = 9,07$. $CI_{\text{pattern}} = 9,96$, PI_{proses} untuk flange yoke = 78,13, dengan $p_{\text{cx sand casting}} = 27,72$, $p_{\text{cx pattern}} = 15,90$, $p_{\text{cx machining flange yoke}} = 15,47$ dan $p_{\text{cx assembly}} = 0$ karena pada metode el-maraghy tidak memperhitungkan tahapan proses perakitan.



Tabel 4. 1 Matrik J X K terhadap bagian flange yoke untuk kompleksitas produk (El-Maraghy)

| | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-------------|--------------|--------------|------------------------|-------------------------------|--|-----|----------|--|
| Total informasi (N) | 90 | | | | | | | | | |
| Informasi unik (n) | 81 | | | | | | | | | |
| Entropy (H) | 6.51 | | | | | | | | | |
| Variasi informasi ($DR_{produkt}$) | 0.90 | | | | | | | | | |
| El-Maraghy (tanpa lubang)- Pembobotan dihasilkan dari wawancara, kuesioner dan asumsi berdasar referensi | | | | | | | | | | |
| Description | J = 4 | | | | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | | | | |
| | | Shape | Geometry | Tolerances | Material | Tolerance stack up (assembly) | | SUM | F_{CF} | |
| Draft | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 3 | 0.60 | |
| Close joint | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 3 | 0.60 | |
| Parting line | 1 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | | 1 | 0.20 | |
| R-profile | 4 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | | 3 | 0.60 | |
| Lebar produk | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | | 3.5 | 0.70 | |
| Ketebalan produk | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 | | 1 | 0.20 | |
| Holes | 6 | 0 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | | 1.5 | 0.30 | |
| Ketinggian dari titik berat radius terbesar produk ke parting line | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 3 | 0.75 | |
| SUM | 20 | 1 | 6.5 | 7 | 1 | 3.5 | | | | |
| Description | K = spesifikasi = 4 | | | | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | | | | |
| | | No porosity | No shrinkage | No heat tear | No surface discontinue | | | SUM | S_{CF} | |
| Draft | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | 2 | 0.50 | |
| Close joint | 2 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | | | 3.5 | 0.88 | |
| Parting line | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | 1 | 0.25 | |
| R-profile | 4 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | | | 3.5 | 0.88 | |
| Lebar produk | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | | | 0.5 | 0.13 | |
| Ketebalan produk | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | | | 0.5 | 0.13 | |
| Holes | 6 | 0 | 1 | 0.5 | 0 | | | 1.5 | 0.38 | |
| Ketinggian dari titik berat radius terbesar produk ke parting line | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | | | 0.5 | 0.13 | |
| | | xf | | Cf, feature | Cj,feature | | | | | |
| Draft | | 0.20 | | 0.55 | 0.11 | | | | | |
| Close joint | | 0.10 | | 0.74 | 0.07 | | | | | |
| Parting line | | 0.05 | | 0.23 | 0.01 | | | | | |
| R-Profile | | 0.20 | | 0.74 | 0.15 | | | | | |
| Lebar produk | | 0.05 | | 0.41 | 0.02 | | | | | |
| Ketebalan produk | | 0.05 | | 0.16 | 0.01 | | | | | |
| Holes | | 0.30 | | 0.34 | 0.10 | | | | | |
| Ketinggian dari titik berat radius terbesar produk ke parting line | | 0.05 | | 0.44 | 0.02 | | | | | |
| Relative Product Complexity Co. $c_j, produk$ | | | | | | | | | 0.49 | |
| Maka | | | | | | | | | | |
| $C_{I, produk}$ | 9.07 | | | | | | | | | |

Tabel 4. 2 Matrik J X K terhadap bagian flange yoke untuk kompleksitas pattern(EI-Maraghy)

| | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------|----------------|--------------------|------------|------|-----------------|-----------------|
| Total informasi (N) | 114 | | | | | | | |
| Informasi unik (n) | 114 | | | | | | | |
| Entropy (H) | 6.85 | | | | | | | |
| Variasi informasi(DR _{produk}) | 1 | | | | | | | |
| Description | J = 4 | | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | SUM | F _{CF} |
| | | Shape | Geometry | Tolerances | Material | | | |
| Cavity | 9 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 3.5 | 0.88 | |
| Riser | 30 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0 | 2 | 0.50 | |
| Gates | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.25 | |
| Cores | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | |
| SUM | 58 | | | | | | | |
| Description | K = spesifikasi = 4 | | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | SUM | S _{CF} | |
| | | No surface discontinues | Surface finish | No sharp edge/burr | Holes fit | | | |
| Cavity | 9 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1.00 | | |
| Riser | 30 | 1 | 0.5 | 1 | 2 | 0.67 | | |
| Gates | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 2 | 0.67 | | |
| Cores | 18 | | | | 0 | 0.00 | | |
| | | | xf | Cf. feature | Cj.feature | | | |
| Cavity | | | 0.16 | 0.94 | 0.15 | | | |
| Riser | | | 0.52 | 0.58 | 0.30 | | | |
| Gates | | | 0.02 | 0.46 | 0.01 | | | |
| Cores | | | 0.31 | 0.00 | 0.00 | | | |
| | Relative Product Complexity Co. c _j .produk untuk pattern | | | | | | 0.46 | |
| Maka | | | | | | | | |
| CI_{pattern} | 9.96 | | | | | | | |

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan kompleksitas relatif terhadap setiap tahapan proses casting(pcx) EI.Maraghy

| Proses casting sebelum desain (Primary) | | | | | |
|--|---------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|
| | Total informasi (N) | Informasi yang unik(n) | H _{process,x} | D _{R process,x} | pc _x |
| Material handling (QC material untuk casting) | 9 | 9 | 3.32 | 1.00 | 3.32 |
| Melting | 29 | 29 | 4.91 | 1.00 | 4.91 |
| Pouring | 26 | 10 | 4.75 | 0.38 | 1.83 |
| Sand preparation | 24 | 10 | 4.64 | 0.42 | 1.93 |
| Molding | 14 | 5 | 3.91 | 0.36 | 1.40 |
| Solidifikasi & pemisahan produk dengan pattern | 18 | 18 | 4.25 | 1.00 | 4.25 |
| Shootblasting | 11 | 4 | 3.58 | 0.36 | 1.30 |
| Grinding residu | 28 | 12 | 4.86 | 0.43 | 2.08 |
| Grinding finishing | 23 | 11 | 4.58 | 0.48 | 2.19 |
| Final inspection | 71 | 27 | 6.17 | 0.38 | 2.35 |
| Storage | 4 | 2 | 2.32 | 0.50 | 1.16 |
| Delivery | 1 | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | Total pcx | | | | 27.72 |

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan kompleksitas relative terhadap setiap tahapan proses machining flange yoke (El-Maraghy)

| Proses machining flange yoke (making hole+surface finish) | | | | | |
|---|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------|
| | Total informasi (N) | Informasi yang unik(n) | $H_{process,x}$ | $D_{R,process,x}$ | pc_x |
| Stopper/fixture | 20 | 20 | 4.39 | 1.00 | 4.39 |
| Tools | 9 | 9 | 3.32 | 1.00 | 3.32 |
| Gauges | 5 | 5 | 2.58 | 1.00 | 2.58 |
| Machine | 5 | 5 | 2.58 | 1.00 | 2.58 |
| In-process feature | 5 | 5 | 2.58 | 1.00 | 2.58 |
| | Total pcx | | | | 15.47 |

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan kompleksitas relative terhadap setiap tahapan proses pembuatan pattern (El-Maraghy)

| Proses pembuatan pattern (machining) | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------|
| | Total informasi (N) | Informasi yang unik(n) | $H_{process,x}$ | $D_{R,process,x}$ | pc_x |
| Stopper/fixture | 36 | 20 | 5.21 | 0.56 | 2.89 |
| Tools | 20 | 20 | 4.39 | 1.00 | 4.39 |
| Gauges | 7 | 7 | 3.00 | 1.00 | 3.00 |
| Machine | 6 | 6 | 2.81 | 1.00 | 2.81 |
| In-process feature | 6 | 6 | 2.81 | 1.00 | 2.81 |
| | Total pcx | | | | 15.90 |

4.4. Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk, Indeks Kompleksitas Pattern dan Indeks Kompleksitas Proses Sebelum Pemberian Lubang

Dengan jumlah total informasi dan keunikan yang sama dengan informasi yang digunakan pada perhitungan metodologi El-Maraghy. Hasil perhitungan menunjukkan nilai $N=90$, $n=81$ (Lampiran 5), $c_{j,produk} = 0,59$ dan $CI_{produk} = 9,22$. Kompleksitas pattern memiliki nilai yang sama dengan nilai kompleksitas pattern yang dihitung dengan metodologi El-Maraghy yaitu 9,96(Lampiran 6). Tahapan proses sand casting, pembuatan pattern, dan machining setelah proses casting sama dengan hasil perhitungan menggunakan metodologi El-Maraghy, sehingga tahap dan hasil perhitungan sama kecuali tahapan proses perakitan yang memperhitungkan DFA manual pada kompleksitas proses dengan $pc_x assembly = 10,36$, sehingga $pc_x sand casting = 27,72$; $pc_x machining flange yoke = 15,47$, dan $pc_x pattern = 15,90$. Maka PI_{proses} untuk flange yoke adalah 78,27.

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan kompleksitas proses untuk proses perakitan (metode gabungan-sebelum lubang)

| | Total informasi (N) | Informasi yang unik(n) | $H_{process,x}$ | $D_{R,process,x}$ | pc_x |
|--|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| Persiapan layout assembly (komponen dan mesin) | 27 | 27 | 4.81 | 1.00 | 4.81 |
| Handling | 4 | 2 | 2.32 | 0.50 | 1.16 |
| Insertion | 6 | 6 | 2.81 | 1.00 | 2.81 |
| Fastening | 2 | 2 | 1.58 | 1.00 | 1.58 |
| | Total pcx | | | | 10.36 |

4.5. Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk, Indeks Kompleksitas Pattern dan Indeks Kompleksitas Proses Setelah Pemberian Lubang

Hasil seleksi adalah N dan n yang dapat dilihat pada Lampiran 5 dan 6. Selanjutnya lakukan tahapan perhitungan untuk menentukan kompleksitas produk (CI_{produk}). Hasil perhitungan menunjukkan nilai $N=164$, $n=155$, $c_{j,produk}=0,53$ dan $CI_{produk}=10,86$. Kompleksitas pattern setelah memperhitungkan penambahan core adalah 13,01 (Informasi pada lampiran 6). Tahapan pembuatan pattern, dan proses perakitan sama dengan hasil perhitungan menggunakan metodologi gabungan El-Maraghy dan Boothroyth, sehingga $pc_{assembly}=10,36$, dan $pc_{pattern}=15,90$. Setelah dilakukan perhitungan maka $pc_{sand\ casting}=29,95$, $pc_{machining\ flange\ yoke}=13,67$ sehingga PI_{proses} untuk flange yoke adalah 83,39.

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan kompleksitas proses machining flange yoke setelah pemberian lubang (Gabungan)

| Proses machining flange yoke (making hole) | | | | | |
|--|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| | Total informasi (N) | Informasi yang unik(n) | $H_{process,x}$ | $D_{R,process,x}$ | pc_x |
| Stopper/fixture | 12 | 12 | 3.70 | 1.00 | 3.70 |
| Tools | 7 | 7 | 3.00 | 1.00 | 3.00 |
| Gauges | 4 | 4 | 2.32 | 1.00 | 2.32 |
| Machine | 4 | 4 | 2.32 | 1.00 | 2.32 |
| In-process feature | 4 | 4 | 2.32 | 1.00 | 2.32 |
| | Total pcx | | | | 13.67 |

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan kompleksitas relative terhadap setiap tahapan proses sand casting (pcx) (pemberian lubang)

| | Total informasi (N) | Informasi yang unik(n) | $H_{process,x}$ | $D_{R,process,x}$ | pc_x |
|--|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| Material handling (QC material untuk casting) | 9 | 9 | 3.32 | 1.00 | 3.32 |
| Melting | 29 | 29 | 4.91 | 1.00 | 4.91 |
| Pouring | 26 | 10 | 4.75 | 0.38 | 1.83 |
| Sand preparation | 24 | 10 | 4.64 | 0.42 | 1.93 |
| Molding + pemasangan cores | 32 | 23 | 5.04 | 0.72 | 3.63 |
| Solidifikasi & pemisahan produk dengan pattern | 18 | 18 | 4.25 | 1.00 | 4.25 |
| Shootblasting | 11 | 4 | 3.58 | 0.36 | 1.30 |
| Grinding residu | 28 | 12 | 4.86 | 0.43 | 2.08 |
| Grinding finishing | 23 | 11 | 4.58 | 0.48 | 2.19 |
| Final inspection | 71 | 27 | 6.17 | 0.38 | 2.35 |
| Storage | 4 | 2 | 2.32 | 0.50 | 1.16 |
| Delivery | 1 | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | Total pcx | | | | 29.95 |

Tabel 4. 10 Matrik J X K terhadap bagian flange yoke untuk kompleksitas produk (pemberian lubang)

| | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------------|--------------|------------------------|------------------------|----------------|-----------------------|------|-----------------|
| Total informasi (N) | | 164 | | | | | | | |
| Informasi unik (n) | | 155 | | | | | | | |
| Entropy (H) | | 7.37 | | | | | | | |
| Variasi informasi (DR _{produk}) | | 0.95 | | | | | | | |
| El-Maraghy+Boothroyth(Lubang) | | | | | | | | | |
| Description | J = 6 | | | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | Insertion | SUM | F _{CF} |
| | | Shape | Geometry | Dimensional Tolerances | Material | Handling | | | |
| Draft | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 | 0.67 |
| Close joint | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0.5 | 1 | 3.5 | 0.58 |
| Parting line | 1 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.17 |
| R-profile | 4 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 1 | 4 | 0.67 |
| Lebar produk | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0.50 |
| Ketebalan produk | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 2 | 0.33 |
| Holes | 6 | 0 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0 | 1 | 2.5 | 0.42 |
| Ketinggian dari titik berat radius terbesar produk ke parting line | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.33 |
| SUM | 20 | 1 | 6.5 | 7 | 1 | 2 | 4.5 | | |
| Description | K = spesifikasi = 4 | | | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | Snap ring/Bearing fit | SUM | S _{CF} |
| | | No porosity | No shrinkage | No heat tear | No surface discontinue | Surface finish | | | |
| Draft | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | 2 | 0.50 |
| Close joint | 2 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | | | 3.5 | 0.88 |
| Parting line | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | 1 | 0.25 |
| R-profile | 4 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | | | 3.5 | 0.88 |
| Lebar produk | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 1 | | 1.5 | 0.30 |
| Ketebalan produk | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 1 | 1 | 2.5 | 0.42 |
| Holes | 6 | 0 | 1 | 0.5 | 0 | | 1 | 2.5 | 0.42 |
| Ketinggian dari titik berat radius terbesar produk ke parting line | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | | | 0.5 | 0.13 |
| | | | | xf | Cf, feature | Cj,feature | | | |
| Draft | | | | 0.20 | 0.58 | 0.12 | | | |
| Close joint | | | | 0.10 | 0.73 | 0.07 | | | |
| Parting line | | | | 0.05 | 0.21 | 0.01 | | | |
| R-Profile | | | | 0.20 | 0.77 | 0.15 | | | |
| Lebar produk | | | | 0.05 | 0.40 | 0.02 | | | |
| Ketebalan produk | | | | 0.05 | 0.38 | 0.02 | | | |
| Holes | | | | 0.30 | 0.42 | 0.13 | | | |
| Ketinggian dari titik berat radius terbesar produk ke parting line | | | | 0.05 | 0.23 | 0.01 | | | |
| Relative Product Complexity Co. c _{j,produk} | | | | | | | | 0.53 | |
| Maka | | | | | | | | | |
| CI_{produk} | | 10.86 | | | | | | | |

Tabel 4. 11 Matrik J X K terhadap bagian flange yoke untuk kompleksitas pattern (pemberian lubang)

| | | | | | | | |
|---|---|-------------------------|----------------|--------------------|------------|------|-----------------|
| Total informasi (N) | 156 | | | | | | |
| Informasi unik (n) | 156 | | | | | | |
| Entropy (H) | 7.29 | | | | | | |
| Variasi informasi (DR _{produk}) | 1 | | | | | | |
| Description | J = 4 | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | |
| | | Shape | Geometry | Tolerances | Material | SUM | F _{CF} |
| Cavity | 9 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 3.5 | 0.88 |
| Riser | 30 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0 | 2 | 0.50 |
| Gates | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.25 |
| Core | 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1.00 |
| SUM | 58 | | | | | | |
| Description | K = spesifikasi = 4 | | | | | | |
| | Number | Aspects | | | | | |
| | | No surface discontinues | Surface finish | No sharp edge/burr | Holes fit | SUM | S _{CF} |
| Cavity | 9 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1.00 | |
| Riser | 30 | 1 | 0.5 | 1 | 2 | 0.67 | |
| Gates | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 2 | 0.67 | |
| Cores | 18 | | | 1 | 1 | 1.00 | |
| | | | xf | Cf, feature | Cj.feature | | |
| Cavity | | | 0.16 | 0.94 | 0.15 | | |
| Riser | | | 0.52 | 0.58 | 0.30 | | |
| Gates | | | 0.06 | 0.46 | 0.03 | | |
| Cores | | | 0.31 | 1.00 | 0.31 | | |
| | Relative Product Complexity Co. c _{j,produk untuk pattern} | | | | | 0.78 | |
| Maka | | | | | | | |
| CI _{pattern} | 13.01 | | | | | | |

4.6. Perbandingan Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan menunjukkan indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses apabila disandingkan antara hasil perhitungan dengan metodologi El-Maraghy, sebelum pemberian lubang dengan metodologi gabungan dan setelah pemberian lubang dengan metodologi gabungan hampir seluruhnya menunjukkan peningkatan kecuali dan sebagian kecil terjadi penurunan, merupakan indikasi yang menunjukkan:

1. Kompleksitas produk sand casting El-Maraghy ke metodologi gabungan sebelum pemberian lubang dari dari 9,07 ke 9,22. Menunjukkan peningkatan karena belum mempertimbangkan parameter DFA secara

mendetail pada kompleksitas produk sehingga di matrik feature dan spesifikasi, yang berakibat kepada bertambahnya informasi dan aspek pertimbangan dalam kompleksitas. Terjadi pula peningkatan kompleksitas produk sand casting sebelum dan setelah pemberian lubang meningkat dari 9,22 ke 10,86 karena belum dipertimbangkannya penambahan cores yang berakibat kepada pembobotan pada aspek handling dan insertion sehingga lubang hasil proses sand casting dipandang memerlukan kehati-hatian tingkat tinggi sewaktu proses perakitan.

Tabel 4. 12 Perbandingan indeks kompleksitas produk dan proses

| Hasil Perhitungan | El-Maraghy (Tanpa lubang) | El-Maraghy + Boothroyth (Tanpa lubang) | El-Maraghy + Boothroyth (Lubang) |
|------------------------|------------------------------|--|--|
| CI produk sand casting | 9.07 | 9.22 | 10.86 |
| CI pattern | 9.96 | 9.96 | 13.01 |
| pcx pattern | 15.90 | 15.90 | 15.90 |
| pcx casting | 27.72 | 27.72 | 29.95 |
| pcx machining | 15.47 | 15.47 | 13.67 |
| pcx assembly | 0.00 | 10.36 | 10.36 |
| PI | 78.13 | 78.27 | 83.39 |

Keterangan:

El-Maraghy (Tanpa lubang) = Perhitungan kompleksitas tanpa mempertimbangkan DFMA

El-Maraghy+Boothroyth (Tanpa lubang) = Perhitungan kompleksitas dengan mempertimbangkan DFMA

El-Maraghy+Boothroyth (Lubang) = Perhitungan kompleksitas dengan mempertimbangkan DFMA+lubang

2. Kompleksitas pattern antara hasil perhitungan El-Maraghy dengan metodologi gabungan sebelum pemberian lubang sama yaitu 9,96 karena keseluruhan jumlah informasi, keunikan dan pembobotan sama. Sedangkan kompleksitas pattern hasil perhitungan metodologi gabungan dengan lubang sebesar 13,01 menunjukkan peningkatan karena adanya tambahan informasi yaitu cores dengan jumlah 18.
3. Kompleksitas pada setiap tahapan proses pembuatan pattern tetap mengingat tahapan pembuatan proses tetap sama.

4. Hasil perhitungan kompleksitas pada tahap proses sand casting dengan El-Maraghy dan metodologi gabungan tanpa lubang memiliki nilai yang sama yaitu 27,72 karena keseluruhan tahapan proses dan kelengkapan proses sama. Sedangkan kompleksitas proses hasil metodologi gabungan dengan lubang sebesar 29,95 menunjukkan peningkatan karena adanya penambahan tahapan proses manufaktur yaitu pembuatan lubang pada kedua kuping flange yoke dengan menggunakan cores pada saat tahap proses molding.
5. Hasil perhitungan kompleksitas pada tahap proses machining flange yoke dengan metode El-Maraghy dan metodologi gabungan tanpa lubang memiliki nilai yang sama yaitu 15,47, karena keseluruhan tahapan proses dan kelengkapan proses sama. Sedangkan kompleksitas proses hasil perhitungan metodologi gabungan dengan lubang sebesar 13,67 menunjukkan penurunan karena adanya pengurangan tahapan proses pada saat machining pembuatan lubang yang sebelumnya 6 buah menjadi 4 buah.
6. Kompleksitas pada tahap proses assembly sama antara hasil perhitungan El-Maraghy dengan metodologi gabungan tanpa lubang berbeda karena pada El-Maraghy tidak diperhitungkan tahapan proses perakitan. Sedangkan hasil perhitungan kompleksitas proses assembly dengan menggunakan metodologi gabungan tanpa lubang dengan lubang sama yaitu 10,36, karena seluruh tahapan dan kelengkapan proses perakitan sama.
7. Terus meningkatnya total keseluruhan kompleksitas proses menunjukkan bahwa pergantian proses pembuatan lubang yang semula dilakukan di proses machining digantikan dengan penggunaan cores pada saat molding di proses sand casting tidak mempermudah proses manufaktur maupun perakitan.