

PENERAPAN PERANCANGAN UNTUK KETERBUATAN DAN KETERAKITAN DALAM ESTIMASI WAKTU PROSES PEMBUATAN TURBIN UAP RADIAL BERBASIS IMPELER TURBIN TURBOCHARGER

Haris Setiawan⁽¹⁾, Sigit Yoewono⁽²⁾ dan Hendi Riyanto⁽²⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 - Dago, Bandung 40135
Phone/Fax: 022-250 0241 / 250 2649
E-mail : harissetiawan99@gmail.com

⁽²⁾Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132
Phone/Fax: 022-250 4243 / 253 4099

Abstrak

Paradigma pembangunan sistem pembangkit energi listrik masa kini adalah sistem terdistribusi, yaitu sejumlah pembangkit skala kecil dibangun dan dikoneksikan ke jaringan listrik lokal maupun nasional. Pada pembangkit energi listrik skala kecil, turbin uap jenis radial aliran masuk cocok untuk diterapkan karena harganya murah. Hal yang paling berpengaruh terhadap kinerja turbin adalah bentuk sudu dari impeler turbin. Salah satu impeler yang cocok untuk digunakan pada turbin radial aliran masuk adalah impeler turbin radial pada *turbocharger*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perencanaan proses pembuatan turbin uap radial aliran masuk berbasis impeler turbin *turbocharger*. Kelayakan teknis turbin ini akan dipertimbangkan berdasarkan pada parameter kinerja keterbuatan dan keterakitan. Dalam kegiatan penelitian ini belum dilakukan perancangan bagian dan sistem kendali dari sistem turbin uap serta analisis kekuatan konstruksi. Metodologi yang diterapkan dalam kegiatan penelitian ini meliputi kaji pembuatan model sudu berbasis impeler *turbocharger*, pemilihan material untuk nosel dan rumah turbin serta komponen-komponen pendukung lainnya, seperti poros, bantalan dan sistem pelumasan, serta perencanaan pemilihan proses pembuatan berbasis kriteria keterbuatan dan keterakitan. Analisis keterbuatan dan keterakitan dilakukan dengan metoda *DFMA (design for manufacture and assembly)*. Hasil akhir dari penelitian ini adalah perencanaan proses pembuatan turbin uap jenis radial aliran masuk pada komponen nosel, stator dan rotor yang menjadikan komponen tersebut bisa dibuat dengan proses yang paling memungkinkan serta waktu pembuatan yang paling cepat. Estimasi waktu perakitan yang dihasilkan dengan metoda DFA adalah 453,03 detik dan efisiensi perakitan meningkat dari 8,09 % menjadi 17,87%. sedangkan waktu Estimasi proses pembuatan komponen nosel 3,02 jam, komponen stator 6,5 jam serta komponen rotor 29,79 jam .

Kata kunci: impeler turbin turbocharger, turbin uap radial, nosel dan rumah turbin, perancangan untuk keterbuatan dan keterakitan

1. Pendahuluan

Sejak tahun 1992, kebutuhan energi listrik nasional meningkat rata-rata 18 persen per tahun, sekitar dua kali lebih tinggi dari pada skenario pertumbuhan yang dibuat pada tahun 1990 [1]. Hal ini disebabkan oleh tingginya pertumbuhan ekonomi nasional terutama di sektor industri dan jasa konstruksi [1, 2]. Jika keadaan ini terus bertahan, berarti diperlukan pengadaan sistem pembangkit energi listrik tambahan guna mengantisipasi peningkatan kebutuhan tersebut.

Dilema yang timbul adalah bahwa di satu sisi pusat-pusat pembangkit energi listrik skala besar diorientasikan untuk mencukupi kebutuhan beban besar, seperti di sektor industri dan komersial. Di sisi lain perlu juga dipikirkan pemenuhan kebutuhan energi listrik pada beban kecil, seperti di perumahan dan di wilayah terpencil. Salah satu alternatif yang dapat diupayakan adalah dengan membangun pusat-pusat pembangkit listrik skala kecil sampai sedang untuk memenuhi kebutuhan listrik di perumahan dan di wilayah terpencil, terutama pembangkit listrik yang memanfaatkan potensi

sumber daya energi setempat, khususnya sumber daya energi baru dan terbarukan. Untuk itu dibutuhkan suatu sistem pembangkitan energi listrik yang efisien, ekonomis dan dapat dikelola mandiri. Usaha untuk menaikkan nilai efisiensi dan keekonomian sistem pembangkitan energi listrik bisa dimulai dari pemanfaatan sumber energi yang murah serta ditunjang dengan perangkat pengubah energi yang efisien.

Pembangkit listrik tenaga uap dapat menerima berbagai macam bahan bakar, antara lain: batubara, limbah biomassa dan bahkan sampah kota. Salah satu bagian terpenting dari sistem pembangkit tenaga uap adalah turbin yang berfungsi untuk mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Kualitas perubahan energi turbin ditentukan oleh bentuk sudu dan konstruksi turbin.

Berdasarkan pada arah aliran fluida kerja, relatif terhadap poros putar turbin, turbin dibagi menjadi turbin aksial dan turbin radial. Turbin aksial umumnya digunakan pada pembangkit listrik skala besar, sedangkan turbin radial lebih banyak digunakan untuk pembangkit listrik skala kecil dan kebanyakan dengan fluida kerja gas, misalnya *turbocharger* di mesin kendaraan bermotor. Impeler *turbocharger* diperkirakan sangat cocok digunakan untuk turbin uap aliran masuk karena bentuknya kecil dan potensi daya yang dibangkitkan relatif besar. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perencanaan proses pembuatan turbin uap radial aliran masuk berbasis impeler turbin *turbocharger*. Perencanaan proses pembuatan akan mengacu pada konsep perancangan untuk keterbuatan dan keterakitan (DFMA – *design for manufacture and assembly*).

2. Perancangan untuk Keterbuatan dan Keterakitan (DFMA)

Konsep perancangan untuk keterbuatan dan keterakitan merupakan gabungan dari dua konsep perancangan, yaitu konsep perancangan untuk keterbuatan (DFM – *design for manufacture*) dan perancangan untuk keterakitan (DFA – *design for assembly*). Manfaat utama yang dapat diperoleh dari penerapan metode ini adalah penyederhanaan konstruksi yang dirancang, pengurangan waktu perakitan, serta pengurangan biaya proses yang akan dilakukan sehingga secara keseluruhan produk akan sesuai dengan kualitas yang diinginkan dengan pengeluaran biaya yang paling ekonomis. Perancangan untuk keterakitan adalah konsep perancangan perakitan suatu

produk dengan jalan mencari waktu proses perakitan paling singkat.

2.1. Perakitan Secara Manual

proses perakitan merupakan proses yang memakan waktu cukup besar dalam proses manufaktur (53% dari total waktu manufaktur) [3]. Proses perakitan secara manual dapat dibagi dua [4]:

- 1) *Handling (acquiring and grasp, moving, and orienting the part).*
- 2) *Insertion dan fastening.*

Secara umum ada dua faktor utama yang mempengaruhi waktu perakitan:

- (1) Jumlah komponen dalam produk
- (2) Kemudahan dalam *handling, insertion, dan fastening* dari masing-masing komponen.

Berdasarkan percobaan *Boothroyd-Dewhurst*, diperoleh tabel matrik *manual handling* dan *manual insertion* yang berisikan waktu perakitan yang diperlukan berdasarkan pada hambatan dan kesulitan dalam perakitan [5].

Untuk mengetahui tingkat efisiensi perakitan suatu produk perakitan dapat dihitung dengan rumusan berikut [5]:

$$E = NM \cdot ta / tm \quad (1)$$

dimana :

- E = efisiensi desain (*DFA index*)
 NM = jumlah komponen minimum teoritis
 ta = perakitan dasar tiap komponen (rata-rata diambil 3 detik)
 tm = jumlah waktu perakitan seluruh komponen

Setiap komponen produk terakit akan berpengaruh terhadap pemilihan bahan dan proses yang mana akan mempengaruhi keekonomisan biaya manufaktur.

2.2. Pemilihan Bahan dan Proses

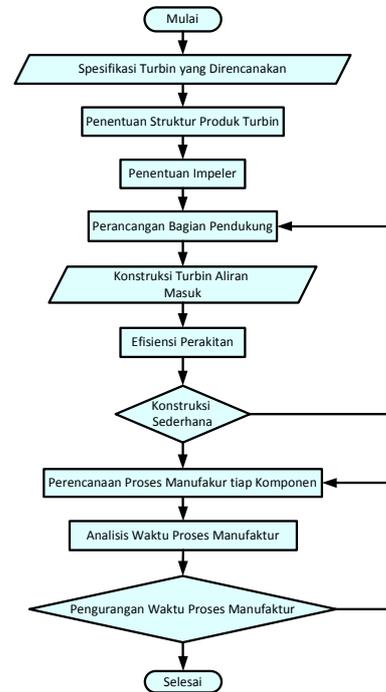
Pemilihan bahan dan proses akan menjadi pertimbangan utama pada konsep perancangan produk untuk keterbuatan. Konsep ini menitikberatkan pada faktor-faktor:

- 1) jenis bahan yang digunakan,
- 2) perencanaan waktu proses pembuatan,
- 3) biaya proses,
- 4) harga bahan serta ketersediaan di pasaran bentuk komponen serta bahan sangat berpengaruh terhadap pemilihan proses yang akan dilakukan.

3. Metodologi

Metoda yang digunakan dimulai dengan perancangan produk, tetapi tidak semua langkah-langkah perancangan produk dilakukan. Tahapan yang tidak dilakukan adalah identifikasi kebutuhan konsumen, pemasaran, serta kelayakan teknis suatu produk di masyarakat dan lingkungan. Perancangan yang dilakukan dimulai dengan identifikasi konsep pemecahan masalah berdasarkan kebutuhan akan energi listrik yang menghasilkan spesifikasi turbin uap dan disesuaikan dengan fungsi keseluruhan dari sebuah turbin. Fungsi keseluruhan dibangun dari fungsi-fungsi bagian dan merupakan konstruksi bagian dari turbin uap. Selanjutnya dilakukan pemodelan gambar bagian-bagian turbin sehingga dihasilkan suatu konstruksi turbin uap aliran masuk. Konstruksi yang dihasilkan diverifikasi dengan konsep DFA untuk menentukan efisiensi perakitan berdasarkan tabel *manual handling* dan *manual insertion* [5]. Sebagai contoh komponen volute. Komponen ini mempunyai karakteristik perakitan sebagai berikut : pemegangan dilakukan satu tangan dengan alat bantu, komponen memerlukan alat bantu khusus untuk melokasikan pada titik tertentu, orientasi terhadap sumbu putarnya 360^0 . Dengan karakteristik seperti ini diperoleh kode *handling* 6.9 dengan waktu *handling* 9 detik. Komponen *volute* mempunyai karakteristik *insertion* sebagai berikut: komponen tidak terkunci setelah dirakit, pelokasian pada posisi yang diinginkan mudah, perlu waktu tambahan untuk memperbaiki lokasi atau orientasinya, mudah dalam penyebarisan serta pelokasian. Dengan karakteristik seperti ini diperoleh kode *insertion* 0.6 dengan waktu *insertion* 5,5 detik. Setiap komponen akan ditentukan waktu perakitannya dengan cara seperti ini. Langkah berikutnya pemilihan bahan yang dilakukan berdasar pada tuntutan komponen-komponen turbin. Selanjutnya adalah pemilihan proses untuk menentukan jenis proses yang memungkinkan dalam membuat komponen dari konstruksi yang sudah dirancang. Pemilihan proses dilakukan berdasarkan tabel pemilihan proses serta bentuk komponen yang akan dibuat (*generation shape*)[5]. Pemilihan proses dilakukan hanya pada komponen nosel, *stator* serta *rotor* karena tiga elemen ini merupakan hal yang sangat penting pada sebuah turbin Langkah terakhir adalah menghitung estimasi waktu proses manufaktur berdasarkan pada urutan proses yang dilakukan serta bahan yang digunakan.

Hasil penghitungan waktu proses akan dianalisis dan akan diganti jika terdapat suatu proses yang bisa mengurangi waktu siklus dari perencanaan pembuatan komponen ini. Diagram alir urutan proses yang dilakukan terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Urutan Metoda yang Digunakan

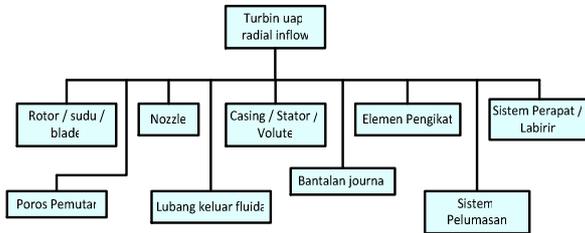
4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari identifikasi permasalahan dituangkan dalam spesifikasi produk seperti yang terlihat pada tabel 1.

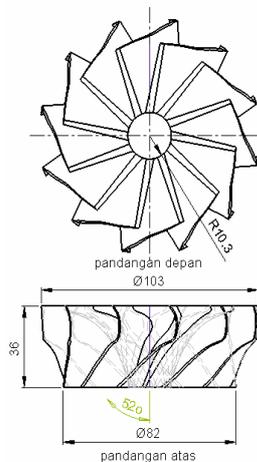
Tabel 1. Daftar Persyaratan

No	Parameter	Kuantitas/ Kualitas	Keterangan
1	Persyaratan utama		
	Input berupa fluida uap	Suhu 160° - 180°C Tekanan 7 bar	
	Proses manufaktur & perakitan	mudah	Dianalisis dengan metoda DFMA
	Jenis turbin	Turbin uap radial inflow	
	Putaran turbin	Max 100000 rpm	
	Daya yang dikeluarkan turbin	200 - 900 watt	
2	Persyaratan kedua		
	Jumlah operator yang merakit	1 orang	
3	Keinginan		
	Biaya pembuatan	Relatif murah	Dianalisis dengan metoda DFMA

Fungsi keseluruhan dari turbin uap dapat dijabarkan dalam fungsi bagian tiap-tiap komponen sehingga didapatkan suatu struktur produk pembentuk turbin uap radial aliran masuk. Gambar 2 adalah gambar struktur produk turbin uap yang dirancang.



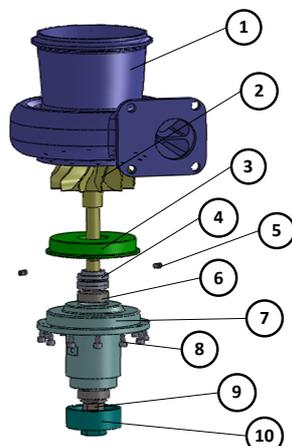
Gambar 2. Struktur Produk Turbin Uap



Gambar 3. Impeler Turbocharger

4.1. Analisis Konstruksi

Model impeler terpilih dikembangkan untuk membuat fungsi-fungsi bagian yang lain meliputi stator, nosel, sistem perapat, sistem pelumasan dan bantalan. Hasil yang diperoleh dari pembuatan konstruksi turbin uap dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Konstruksi Awal Turbin Uap

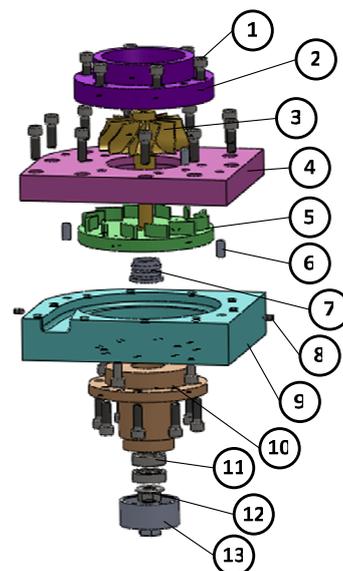
Konstruksi yang dihasilkan terdiri dari 10 komponen, yang mana terdapat 1 komponen yang berjumlah 12 buah, 2 komponen berjumlah 2 buah. Hasil analisis perakitan konstruksi ini tertuang pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil DFA Iterasi ke 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
No	Nama Komponen	Jumlah	Jumlah Komponen Teroris	Kode manual handling	Waktu manual handling (det)	Kode manual insertion	Waktu manual insertion (det)	Waktu assy. (det) (6)+(8)
1	Volute	1	1	6.9	9	0.6	5.5	14.5
2	Impeller turbocharger	1	1	6.8	8	0.0	1.5	9.5
3	Insulating board	1	1	9.4	3	0.3	3.5	6.5
4	mekanik seal	1	1	9.0	2	3.9	8	10
5	baut headless DIN 914-M16 x 12 - C	2	0	6.0	9.6	0.3	7	15.6
6	angular contact bearing DIN 628-7203B-10.DE.AC.10_68	2	0	4.9	14	3.9	16	30
7	bearing housing	1	1	4.9	7	3.9	8	15
8	baut inbus M6 x 20	12	0	6.0	57.6	0.3	42	99.6
9	Mur segienam DIN 6923-M16-C	1	0	6.0	4.8	3.8	6	10.8
10	tutup oli	1	1	6.0	4.8	3.8	6	10.8
	Total	23	6		119,8		103,5	222,3

Waktu yang dibutuhkan untuk merakit konstruksi turbin adalah 222,3 detik dengan efisiensi perakitan sebesar 8,09 %.

Komponen-komponen pembentuk fungsi bagian turbin dikonstruksi ulang untuk mendapatkan konstruksi turbin iterasi ke-2 dengan dasar penyederhanaan konstruksi dan kemudahan pada proses perakitan sehingga waktu perakitan yang dilakukan oleh seorang perakit yang ahli dapat dikurangi. Konstruksi hasil penyederhanaan dapat dilihat pada gambar 5. Konstruksi yang dihasilkan terdiri dari 13 komponen, yang mana terdapat 1 komponen yang berjumlah 28 buah, 2 komponen berjumlah 4 buah serta 2 komponen berjumlah 2 buah



Gambar 5. Konstruksi Rancang Ulang Turbin

Bagian *casing/stator* dibuat menjadi dua bagian dan dipasang pena yang berfungsi untuk mempercepat pelokasian pemasangan serta menjamin posisi *casing* pada tempatnya. Hasil dari penyederhanaan konstruksi dapat dilihat pada tabel 3. Berdasarkan tabel *manual handling* dan *manual insertion* [1], waktu yang dibutuhkan untuk merakit konstruksi turbin adalah 453,03 detik, serta efisiensi perakitannya 17,87 %.

Tabel 3. Hasil DFA Iterasi ke 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
No	Nama Komponen	Jumlah	Jumlah Komponen Teoritis	Kode <i>manual handling</i>	Waktu <i>manual handling</i> (det)	Kode <i>manual insertion</i>	Waktu <i>manual insertion</i> (det)	Waktu assy. (det) (6)+(8)
1	Baut inbus M10 x 25 DIN 912	28	0	6.0	134,4	3.8	168	302,4
2	Diffuser	1	1	8.0	4,1	0.0	1,5	5,6
3	Impeler turbocharger	1	1	9.4	3	0.3	3,5	6,5
4	Casing depan	1	1	4.9	7	0.9	7,5	14,5
5	Nosel	1	1	0.0	1,13	0.0	1,5	2,63
6	Pena pengarah	1	1	8.5	5	0.9	7,5	12,5
7	Mekanik seal	1	1	9.4	3	0.3	3,5	6,5
8	Baut head less M6 x 12 DIN 914	2	0	4.9	14	3.9	16	30
9	Casing belakang	1	1	9.0	2	3.9	8	10
10	Dudukan bearing	1	1	6.0	4,8	3.8	6	10,8
11	Angular contact bearing DIN 628 – 7203B-10-DE, AC, 10_68	2	0	4.9	14	3.9	16	30
12	Mur segienam DIN 6923 M16 x 1,5	1	0	6.0	4,8	3.8	6	10,8
13	Tutup oli	1	1	6.0	4,8	3.8	6	10,8
	Total	42	9		202,03		251	453,03

4.2. Pemilihan Bahan dan Proses

Pemilihan material dan proses manufaktur harus sesuai dengan spesifikasi teknis dari komponen yang telah dirancang.

✓ Pemilihan bahan dan proses komponen nosel

Nosel berfungsi mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetis dengan jalan mengembangkan (mengeksansi) uap dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah dalam sebuah turbin. Gambar 5 menunjukkan bentuk nosel untuk turbin uap radial aliran masuk yang dimodelkan berdasarkan dimensi bentuk *rotor/sudu impeler* yang digunakan.

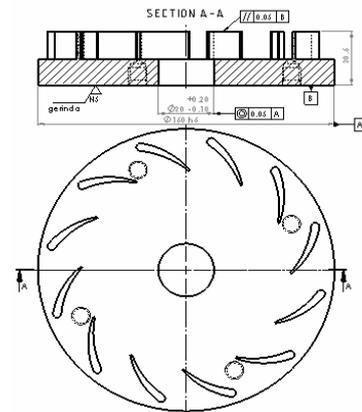
Spesifikasi material berdasarkan fungsi dan lingkungan kerja adalah:

- Temperatur kerja pada suhu 160 – 180°C (suhu fluida uap).
- Tahan tekanan 6-8 bar berdasarkan fluida kerjanya.

Berdasarkan temperatur serta tekanan kerjanya turbin ini termasuk kedalam kelas 1, sehingga bahan yang memenuhi kualifikasi adalah *cast iron* [7]. Maka dipilih bahan *grey cast iron* ($T_m=1370^\circ\text{C}$, $\rho=7209\text{kg/m}^3$, $\sigma_y=110-207\text{Mpa}$) [7]. Bahan ini dipilih karena harganya relatif murah serta banyak tersedia di pasaran. Proses yang paling memungkinkan untuk membuat

nosel berdasarkan bentuk benda serta pemilihan tabel matrik *Boothroyd-Dewhurst* adalah proses pemesinan. Bentuk umum dari nosel yaitu adanya alur pada permukaan, tidak mempunyai bidang miring, mempunyai dinding dan bidang potong yang tidak seragam.

Proses perencanaan pemesinan meliputi proses bubut, proses *milling CNC*, gurdi dan proses gerinda datar.



Gambar 5. Nosel

Pertimbangan pemilihan 4 *workstation* tersebut adalah, proses bubut digunakan untuk memenuhi spesifikasi geometri luar berbentuk lingkaran serta toleransi ukuran diameter luar yang bertoleransi suaian fit karena akan berpasangan dengan *casingnya*. Proses *milling CNC* digunakan karena profil *blade* nosel yang spesifik (*airfoil*) tidak bisa dibuat menggunakan pemesinan manual. Proses gurdi untuk membuat lubang bakalan tap serta ulir M10. Proses gerinda untuk memenuhi spesifikasi kerataan permukaan agar meminimalisasi kebocoran fluida. Kekasaran permukaan minimum yang dapat dicapai oleh proses gerinda 0,4 μm [8]. Estimasi waktu proses bubut adalah 129,6 menit, proses *CNC milling* 134,4 menit, gurdi 35,14 menit dan proses gerinda datar 75,14 menit, sehingga waktu total yaitu 368,38 menit atau 6,14 jam. Proses bubut, gurdi dan gerinda datar bisa dihilangkan dan diganti dengan proses *CNC milling*, sehingga hanya satu pemesinan saja yang digunakan. Tuntutan kekasaran permukaan dapat diatasi dengan proses *face mill* dengan menggunakan *insert wiper*, karena kekasaran permukaan yang bisa dihasilkan 0,4 μm [9]. Hasil perencanaan proses ini menghasilkan waktu proses 3,02 jam.

✓ Pemilihan bahan dan proses komponen stator

Stator yang dirancang dibagi menjadi dua bagian yaitu *casing* depan dan belakang

pemesinan dianggap paling memungkinkan karena bisa mengakomodasi jumlah produk sedikit. Proses pemesinan yang digunakan yaitu proses bubut dan proses *milling CNC 5 axis*. Estimasi waktu proses pembubutan 109,12 menit atau 1,81 jam, sedangkan dari data simulasi pemotongan dengan menggunakan mesin *CNC 5 axis* diperoleh waktu proses pemotongan 1678,67 menit atau 27,97 jam. Dengan demikian total waktu pengerjaan adalah 1787,79 menit atau 29,79 jam.

5. Kesimpulan

- Penelitian ini telah menghasilkan perencanaan proses pembuatan turbin uap jenis radial aliran masuk menggunakan metoda DFMA.
- Perakitan turbin uap radial aliran masuk yang dianalisis waktu perakitannya dengan menggunakan tabel *Boothroyd-Dewhurst*. menghasilkan estimasi waktu perakitan sebesar 453,03 detik dan efisiensi perakitan meningkat dari 8,09 % menjadi 17,87%.
- Estimasi waktu proses pembuatan komponen nosel 3,02 jam, komponen stator 6,5 jam serta komponen rotor 29,79 jam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada POLMAN yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Referensi/Daftar Pustaka

- [1] Djojonegoro, W., "Pengembangan dan penerapan energi baru dan terbarukan", *Lokakarya "Bio Mature Unit" (BMU) untuk pengembangan masyarakat pedesaan*, (1992), BPPT, Jakarta.
- [2] Wibawa, U., "Effahrung mit dem Betneb Kleinwindhybrid Eanlage in Ciparanti-Ciamis", (1996), ARTES-Institut, Flensburg.
- [3] Rita Maria Veranika, Aplikasi design for assembly (DFA) pada perancangan produk vaccine carrier, (2007) Universitas Indonesia, program studi Teknik Mesin
- [4] Yusri, "Penerapan *Design For Assembly* (DFA) Untuk Mereduksi Biaya Produksi Suatu Produk", *Jurnal Teknik Mesin*, (2008), ISSN 1829-8958, vol.5 no.1
- [5] Boothroyd, G., Knight, W., and Dewhurst, P., "Product Design For Manufacture and Assembly", 2nd Edition, (2002), Marcel Dekker, Inc.
- [6] Ostwald, P.F., and Munoz, J., "Manufacturing processes and system", ninth edition, (1997), John Wiley & sons.
- [7] Heinz P. Bloch, Murari P. Singh, "Steam Turbines: Design, Applications and Rating", 2009, 2nd Edition, McGraw Hill
- [8] Sutanto, Agus Pengaruh Beberapa Parameter Proses Terhadap Kualitas Permukaan Hasil Pemesinan Gerinda Rata Pada Baja AISI 1070 dan HSS *Jurnal Teknik Mesin* 2010, No 33 Vol 1 ISSN : 0854-8471
- [9] <http://www.secotools.com/en/Global/Products/Milling/Face-milling/R220-Double-Octomill/> diakses tanggal 28-05-201