



## **Rekayasa Ulang Komponen Mekanis Sistem Turbin Air**

### ***Reverse Engineering of a Hydro Turbine System Mechanical Parts***

**Nofirman Firdaus<sup>1,2,\*</sup>, Usdek Panjaitan<sup>2</sup>, Bambang Teguh Prasetyo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> PT.Esco Pacific

Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Institut Sains & Teknologi Nasional (ISTN)

Jl. Moh Kahfi II, Jakarta, Indonesia

Received 08 September 2016; Revised 16 September 2016; Accepted 18 September 2016, Published 18 October 2016

<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2016.V6.72-79>

Academic Editor: Asmara Yanto ([asmarayanto@yahoo.com](mailto:asmarayanto@yahoo.com))

Correspondence should be addressed to [nofirman@gmail.com](mailto:nofirman@gmail.com)

Copyright © 2016 N. Firdaus. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### **Abstract**

*This paper presents a reverse engineering process for mechanical parts of a hydro turbine system. The parts under reverse engineering (RE) are faceplates and bushings. A glance of reverse engineering process is also presented based on the case study. The key to reverse engineering process is determining the key properties of material. Based on the analysis, there are several material properties that would be used for the comparison with the original equipment. The comparison of the final products with the original components shows that faceplates and bushings manufactured from reverse engineering are equivalent to the original components.*

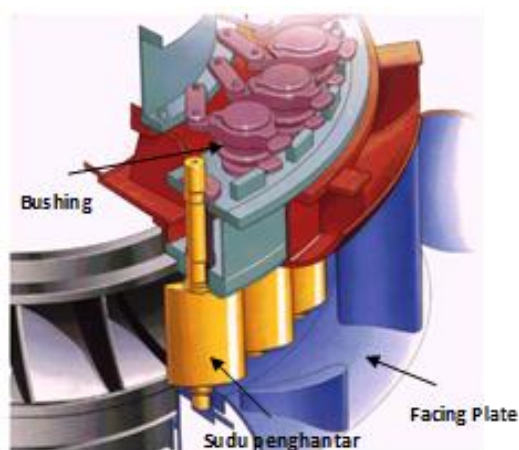
**Keywords:** reverse engineering, mechanical parts, hydro turbine

### **1. Pendahuluan**

Indonesia adalah salah satu bangsa dengan penduduk terbanyak no 5 di dunia. Dengan banyaknya jumlah penduduk, konsekuensinya hal ini juga membuat Indonesia sebagai salah satu kekuatan ekonomi yang besar di dunia, hal ini dibuktikan dengan besarnya GPD Indonesia no 16 terbesar di dunia. Akan tetapi, dalam bidang industri kita masih kalah bersaing dengan negara-negara maju. Salah satu sektor yang penguasaan teknologi kita tertinggal adalah dalam teknologi pembangkit listrik, khususnya dalam hal penguasaan enjiniring dan kemampuan membuat peralatan pembangkit di dalam negeri.

Dalam bidang pembangkit listrik, hampir sebagian besar teknologi pembangkit listrik, khususnya penggerak utama (prime mover) masih di impor dari luar negeri, mayoritas produknya berasal dari Amerika Serikat, Eropa, dan Jepang. Dengan banyaknya produk asing di pembangkit listrik di Indonesia, maka dominasi perusahaan asing masih begitu terasa di industri

kita. Selain produk baru, produksi spare parts juga masih tergantung dari produsen teknologi itu sendiri yang mayoritas adalah negara-negara asing. Impor tidak dapat dihindari, hal ini mengakibatkan kita rentan terhadap beberapa hal; fluktuasi nilai tukar mata uang asing, dan ketergantungan terhadap produsen luar negeri. Akan tetapi, dengan semakin meningkatnya pemahaman mengenai ketahanan nasional, khususnya dalam hal kemandirian dalam industri nasional, beberapa perusahaan mulai melakukan reverse engineering untuk komponen-komponen (spare parts) pembangkit listrik. Diantaranya adalah komponen untuk turbin air skala besar.



Gambar 1. Sudu penghantar turbin francis (Wicket gate) [1]

Obyek dari proses reverse engineering yang dilakukan adalah komponen turbin air tipe francis dengan kapasitas hampir 200 MW, yaitu sistem sudu penghantar yang biasa dikenal dengan nama *guide vanes* atau *wicket gate*. Turbine ini beroperasi hampir 30 tahun, komponen-komponen sudu penghantar masih di import dari negara produsen. Sudu pengarah (guide vane atau wicket guide) dari turbin francis mempunyai beberapa komponen utama yaitu oilless bushing, facing plate, dan sudu pengarah (Gambar.1). Sistem ini berfungsi untuk mengontrol jumlah aliran yang akan masuk kedalam turbin francis dengan cara menggerakkan sudu penghantar.

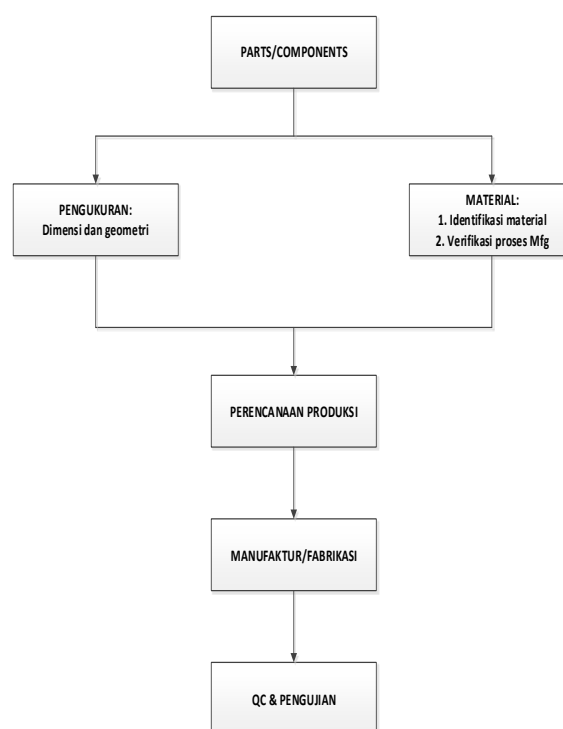
Bushing berfungsi sebagai bearing tuas penggerak sudu penghantar dan juga berfungsi sebagai pelumas padat (Solid lubrication) dengan adanya material grafit di permukaan. Terdapat 2 jenis bushing yaitu pada sisi atas (upper side) dan sisi bawah (lower side). Terdapat dua tipe bushing yang di gunakan yaitu tipe standar SAE 430 dan BC-6. Selama 20 tahun pertama tipe yang digunakan adalah BC-6, yang mempunyai umur pakai 5-6 tahun. Di 10 tahun berikutnya tipe yang digunakan adalah berdasarkan standard SAE 430, tipe ini memiliki grade yang lebih tinggi sehingga usia pakainya bisa mencapai 10 tahun. Tipe yang diinginkan oleh pengguna adalah balik ke tipe awal yaitu bushing BC-6. Karena contoh bushing yang adalah tipe SAE 430, maka tipe ini hanya akan digunakan dalam mengukur dimensi dan geometri bushing. Untuk sifat material mengacu kepada standard bushing tipe BC-6.

Untuk facing plate juga terdapat di 2 lokasi pemasangan yaitu lokasi sisi atas (upper) dan sisi bawah (lower). Facing plate ini mengapit sudu penghantar di sisi atas dan sisi bawahnya. Karena facing plate menjadi dudukan sudu penghantar, maka besarnya clearance antara

facing plate dengan sisi atas dan bawah sudu penghantar harus presisi yaitu dengan toleransi  $\pm 0,025$  mm.

## 2. Proses Reverse Engineering

Dalam melakukan reverse engineering, tahapan-tahapan proses yang akan dilakukan seperti di tunjukkan oleh Gambar 2. Secara garis besar terdapat 5 tahapan proses, mulai dari pengukuran geometri sampai dengan uji material dan pengukuran dimensi produk yang sudah selesai di manufaktur (Quality Control). Dalam hal ini, langkah yang paling krusial adalah tahapan verifikasi proses manufaktur, proses manufaktur, dan kontrol kualitas (QC)



Gambar 2. Diagram alir proses *reverse engineering*

### A. Pengukuran Dimensi dan Geometri

Dalam proses reverse engineering, dimensi dan geometri dari komponen di ukur dari komponen OEM yang baru (Original equipment manufacturing). Jika komponen OEM yang baru tidak ada, maka bisa menggunakan komponen OEM yang bekas, tapi nanti harus dilakukan beberapa adjustment dalam menentukan dimensi dan geometri dari komponen. Dipaper ini, geometri dan dimensi diukur berdasarkan komponen OEM yang baru, yang akan digunakan untuk unit lain.

Terdapat beberapa cara pengukuran untuk menentukan geometri dan dimensi dari suatu komponen. Pertama, adalah pengukuran manual dengan menggunakan alat ukur manual atau

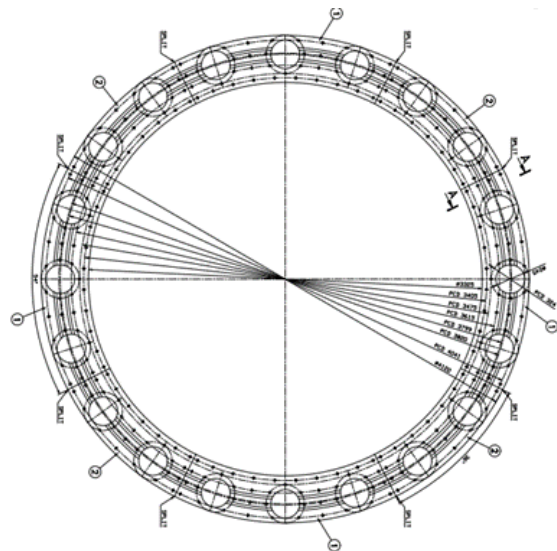
digital seperti caliper, micrometer sekrup, dan lain sebagainya. Kedua, adalah dengan menggunakan alat ukur canggih. Pemilihan cara pengukuran yang tepat di pilih berdasarkan tingkat ketelitian dan akurasi yang dibutuhkan.

Instrumentasi yang digunakan untuk mendapatkan informasi geometri dan dimensi adalah alat 3D scanner. Alat 3D Scanner bekerja dengan cara sebagaimana kamera digital bekerja. Proses pemindai bekerja tanpa menyentuh permukaan benda yang diukur. Kecepatan proses pemindai menentukan banyaknya titik yang dapat di pindai. Semakin banyak titik yang berhasil di pindai, semakin akurat hasil yang didapatkan.

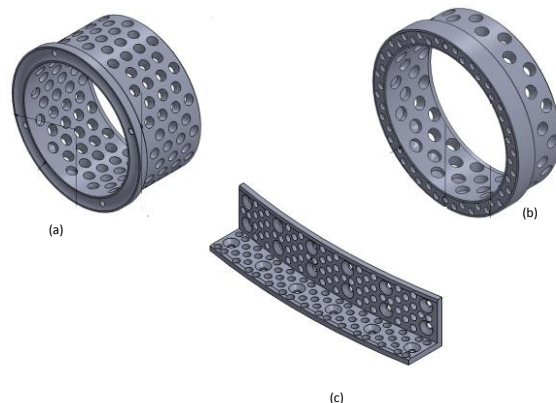


Gambar 3. Proses pemindai faceplate dengan 3D Scanner

Faceplate terdiri dari 4 faceplate panjang dan 4 faceplate pendek yang jika disusun dan digabungkan akan membentuk lingkaran seperti tampak pada Gambar 2. Faceplate yang disusun dalam bentuk lingkaran ini memiliki diameter lingkaran luar sebesar 4120 mm. Hasil dari pemindai kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak untuk menghasilkan gambar 2D dan 3D. Karena panjang keliling faceplate jauh lebih besar dibandingkan ketebalannya (21 mm), maka gambar yang ditampilkan dalam paper ini hanya yang dalam bentuk 2D (Gambar 4). Pemindai dengan 3D scanner juga dilakukan terhadap bushing yang terdiri dari 3 macam bentuk yaitu bushing tangan (Middle bushing), lower bushing (Bushing bawah) dan guide stlipt (Gambar 5). Hasil pengukuran dimensi dan geometri inilah yang dijadikan acuan dalam proses manufaktur.



Gambar 4. Gambar Faceplate



Gambar 5. Oilless Bushing  
(a) lower bushing, (b) upper bushing, (c) guide stlipt

## B. Analisa Material

Sebuah material mempunyai beberapa sifat (properties), secara umum sifat tersebut dibagi

tiga [RE] yaitu sifat mekanik, sifat metalurgi, dan sifat fisik (Physics). Sifat mekanis umumnya berkenaan dengan hubungan antara tegangan (Stress) dan regangan (Strain). Contoh dari sifat mekanis diantaranya adalah: tegangan tarik (Ultimate tensile strength, tegangan luluh (Yield strength), kekerasan (Hardness), keuletan (Ductility) dan lain sebagainya. Sedangkan sifat metalurgi diantaranya adalah komposisi material, dan mikrostruktur. Yang terakhir adalah sifat fisik, sifat ini adalah independen, tidak tergantung pada dua sifat lainnya. Macam sifat fisik adalah berat jenis, temperatur luluh, koefisien perpindahan panas, panas spesifik dan lain sebagainya.

Dalam reverse engineering, secara teoritis suatu material dikatakan ekuivalen dengan material lainnya jika semua sifat-sifat materialnya sama atau identik, akan tetapi jika semua sifat material diuji untuk menentukan kesamaan material dengan produk hasil reverse engineering, maka biaya yang dikeluarkan akan sangat besar, membutuhkan waktu yang lama, dan bisa jadi mustahil untuk dilakukan [RE]. Untuk terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menentukan sifat material mana saja yang diuji yang dapat mewakili ke-ekuivalenan suatu material. Secara garis besar hal ini terfokus kepada sifat metalurgi dan beberapa sifat mekanik .

Sifat metalurgi mempunyai peranan yang sangat penting dalam reverse engineering. Sifat mekanik alloy ditentukan oleh komposisi material dan struktur mikro dari material. Dua material yang memiliki komposisi material yang sama, belum tentu sifat mekanik kedua material tersebut sama, jika struktur mikro kedua material berbeda. Oleh sebab itu kesamaan bentuk struktur mikro menjadi faktor kunci dalam menentukan apakah kedua material ekuivalen. Jadi menyamakan struktur mikro material reverse engineering dengan material OEM akan membuat material hasil reverse engineering ekuivalen dengan material OEM.

Analisa struktur mikro yang dilakukan dalam proses reverse engineering adalah analisa morfologi butiran (Grain morphology) struktur mikro dan tekstur dari material. Dari analisa struktur mikro ini kita dapat menelusuri proses manufaktur apa saja yang dialami oleh material tersebut dengan bantuan analisa diagram fase material. Salah satu parameter dalam analisa struktur mikro ini adalah ukuran butir struktur mikro material. Material yang memiliki struktur mikro yang berbeda, mengalami proses manufaktur dan perlakuan panas yang berbeda

pula, dan sifat mekanik kedua material tersebut akan berbeda pula.

Dalam menghitung ukuran butiran struktur mikro material bisa mengacu kepada standar ASTM E112 (*Standard test method for determining grain size*). Untuk membandingkan struktur mikro dari dua material dapat dilakukan dengan beberapa cara [2]. Pertama, jumlah butiran per satuan luas dihitung dengan metode planimetric yang juga dikenal dengan metode Jeffries [4], kemudian dikonversikan kedalam nomor ukuran butir ASTM (ASTM grain size number). Cara Kedua, dengan menggunakan metode Heyn. Metode Heyn menghitung jumlah intersep antara batas butir dan garis uji yang diambil secara acak, kemudian dihitung ukuran rata-rata dari butir struktur mikro material [2]. Metode Heyn lebih sederhana dan lebih cepat dikerjakan dibandingkan dengan metode Jeffries [4,5]. Hasil uji ukuran butir struktur mikro material hasil reverse engineering dibandingkan material OEM. Jika ukuran rata-rata butiran struktur mikro material mendekati atau sama dengan material OEM, maka bisa dikatakan kedua material tersebut adalah ekuivalen.

Terdapat cara untuk menentukan sifat material apa yang diuji dan dijadikan parameter dalam perbandingan material terhadap material OEM. Analisa dilakukan dengan menjawab pertanyaan di bawah [2]:

1. Sifat material yang dianggap penting:
  - Menjelaskan sifat material mana yang dianggap penting (Critical) dan relevan terhadap fungsi dari komponen tersebut.
2. Analisa Resiko:
  - Menjelaskan bagaimana sifat material yang dipilih ini akan mempengaruhi kinerja dari komponen tersebut, dan apa konsekuensi yang dapat terjadi jika nilai sifat material ini tidak dapat memenuhi nilai standar yang berlaku.
3. Jaminan kinerja:
  - Jenis uji material apa yang harus dilakukan untuk menunjukkan ekuivalensi terhadap material *original*.

#### Faceplate:

Faceplate terletak di bagian bawah dan bagian atas dari sudu pengarah. Sudu pengarah bekerja diapit oleh faceplate bagian atas dan faceplate bagian bawah. Aliran air mengalir ruang yang ada diantara dua faceplate dan sudu pengarah. Disini terdapat beberapa mekanisme yang terjadi. Pertama, bisa terjadi gesekan antara faceplate dengan sudu pengarah, akan tetapi gesekan yang terjadi pada suatu waktu akan hilang karena akan terbentuk jarak ruang

(clearance) antara sudu dan faceplate, sehingga sudu akan bebas bergerak kembali. Kedua, air akan melalui permukaan kedua sisi faceplate, sehingga akan terjadi gesekan antara air dengan permukaan faceplate. Sifat material yang penting dalam hal ini adalah sifat mekanik yaitu kekerasan material (Hardness). Sifat kekerasan (Hardness) material adalah kemampuan material untuk tahan terhadap goresan (scratching), abrasi (abrasion), dan tusukan (cutting).

Media yang melalui faceplate adalah air, dan air membuat proses korosi material menjadi lebih cepat. Terlebih bila kualitas air nya sangat buruk berdasarkan parameter yang ada. Oleh sebab itu terdapat satu sifat material yang perlu dijadikan acuan yaitu ketahanan terhadap korosi (Corrosion resistance). Parameter yang digunakan biasanya adalah Pitting resistance equivalent number (PREN). Besarnya nilai PREN ini sangat ditentukan oleh besarnya kandungan chromium (Cr). Formula yang digunakan untuk menghitung nilai PREN adalah sebagai berikut:

$$\text{PREN} = 1 \times \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N \text{ (w/w)} \quad (1)$$

Jika nilai kekerasan dibawah nilai acuan yang di tentukan, maka, material ketebalan faceplate menjadi lebih cepat terkikis dan menjadi lebih tipis. Konsekuensi yang ada adalah umur teknik faceplate menjadi lebih cepat. Umur pakai menjadi lebih cepat, pengadaan baru faceplate menjadi lebih sering. Hal yang sama juga terjadi bila laju korosi menjadi lebih tinggi.

Untuk mengidentifikasi apakah material faceplate hasil reverse engineering bisa dikatakan ekuivalen dengan material faceplate original, akan digunakan tiga sifat material sebagai acuan dan bahan perbandingan yaitu komposisi material, kekerasan (Hardness) dan pitting resistance equivalent number (PREN).

### **Bushings:**

Menurut Wang [2], nilai kekerasan (Hardness) merupakan satu satunya uji parameter yang diperlukan dalam menunjukkan bushing hasil reverse engineering ekuivalen dengan bushing OEM. Di referensi [6], dilakukan proses reverse engineering pada katup kupu-kupu (Butterfly valve) dari kaburator pesawat terbang dengan 4 penumpang. Peralatan ini berfungsi untuk mengatur aliran udara dan bahan bakar ke dalam mesin. Salah satu komponen dalam peralatan ini adalah bushing. Pabrik bushing OEM telah tutup, sehingga sebuah perusahaan manufaktur melakukan reverse engineering terhadap peralatan tersebut,

termasuk bushing. Parameter sifat material yang digunakan adalah nilai kekerasan material. Bushing hasil proses reverse engineering ini dipasang pada sistim pengatur udara dan bahan bakar pesawat. Dalam suatu penerbangan pesawat tersebut jatuh. Hasil investigasi menunjukkan bahwa penyebab kegagalan salah satunya adalah bushing.

Setelah dilakukan pengujian nilai kekerasan material dan dibandingkan dengan nilai kekerasan bushing OEM, diperoleh fakta bahwa nilai kekerasan produk reverse engineering 14% lebih rendah dibandingkan nilai kekerasan material OEM. Perbedaan nilai kekerasan inilah yang ditenggarai sebagai penyebab gagalnya material dan mengakibatkan jatuhnya pesawat terbang tersebut. Jadi dalam proses reverse engineering bushing PLTA, nilai kekerasan bushing akan dijadikan parameter dalam menentukan ekuivalensi dengan material OEM. Karena jenis material sudah ditentukan yaitu BC-6, maka komposisi material juga akan dijadikan sebagai parameter sifat material produk hasil reverse engineering [3-6].

## **3. Proses Manufaktur RE**

Dibawah ini akan dijelaskan proses manufaktur faceplate dan bushing

### **A. Proses Manufaktur: Faceplae**

Material faceplate berupa plat dengan ukuran tertentu. Sebelum dilakukan permesinan, dilakukan beberapa tahap persiapan seperti pemotongan pada geometri plat faceplate agar proses permesinan dengan cnc lebih cepat dan ekonomis. Setelah tahap persiapan selesai, material tersebut di kirim ke mesin cnc (Gambar 5) untuk dilakukan proses permesinan. Ketebalan faceplate yang diinginkan adalah 20 mm dengan akurasi yang diminta oleh konsumen  $\pm 0,025$  mm. Dibandingkan dengan dimensi panjang dan lebar komponen faceplate, akurasi yang diminta bukan pekerjaan mudah karena membutuhkan tahapan persiapan yang sangat kompleks dan presisi agar akurasi yang di minta tercapai.



Gambar 5 . Proses *machining* faceplate

## B. Perbandingan Material: Faceplate

Setelah material selesai di manufaktur, pengujian dan perbandingan sifat material perlu dilakukan untuk memastikan bahwa material tersebut ekuivalen dengan material OEM. Dalam ini ada 3 sifat material yang diuji dan dibandingkan yaitu komposisi material, nilai kekerasan (Hv), dan nilai tahanan terhadap korosi (PREN number). Selain dibandingkan dengan material OEM, tiga sifat material diatas juga dibandingkan dengan standard material SUS-410.

Uji komposisi material reverse engineering memperlihatkan bahwa komposisi material masuk ke dalam kategori SUS-410 (Tabel 1). Jika dibandingkan dengan material orisinil (OEM), unsur C, Si, Mn, serta Cr memiliki nilai yang mendekati. Kecuali pada unsur phosphorus

(P) dan Sulfur (S), dimana nilai nya berbeda dengan material hasil reverse engineering. Nilai phosphorus (P) yang tinggi meningkatkan kekuatan dan kekerasan material dan meningkatkan tahanan terhadap korosi. Nilai sulfur (S) sampai dengan 0,05% adalah bentuk ketidak murnian material, dan tidak mempunyai efek yang besar terhadap sifat material kecuali jika nilainya mencapai 0,1% - 0,3% mampu meningkatkan sifat mampu mesin (Machinability) material. Material orisinil mempunyai kandungan Molybdenum (Mo). Kandungan Molybdenum (Mo) meningkatkan nilai kekerasan material. Perbedaan kandungan unsur-unsur diatas, membuat material OEM memiliki sifat kekerasan dan ketahanan korosi sedikit lebih baik dari material reverse engineering.

Tabel 1. Perbandingan sifat material

No	Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	HV	PREN
1	SUS-410 (Standard)	0.15 Max	1.00 Max	1.00 Max	0.040 Max	0.030 Max	11.5-13.5	0	210 Max	15 Max
2	SUS-410 (Orisinil)	0.111	0.564	0.32	0.145	0.002	12.3	0.0058	220	12.3
3	SUS-410 (Reverse Engi)	0.12	0.507	0.467	0.03	0.02	12.232	0	211	12.2

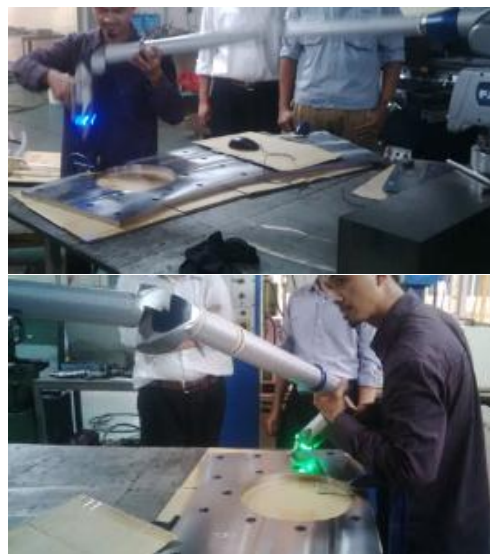
Perbandingan nilai kekerasan (HV) material RE dengan standar, nilai kekerasan RE boleh dibilang ekuivalen dengan standard maksimum pada SUS-410. Jika dibandingkan dengan material OEM, nilai kekerasan material RE lebih rendah 4% dbandingkan dengan nilai kekerasan material OEM. Disisi lain, nilai ketahanan terhadap korosi (PREN) untuk material OEM sedikit lebih baik (0,8% lebih tinggi) dibandingkan material hasil RE. Hal ini dikarenakan kandungan phosphorus (P) dan Molybdenum (Mo) pada meterial OEM. Berdasarkan perbandingan tiga sifat material ini, maka dapat dikatakan bahwa material RE bisa ekuivalen dengan material OEM.

## C. Verifikasi Geometri: Faceplate

Dalam proses pengendalian mutu (QC), dilakukan verifikasi dimensi dan geometri komponen faceplate hasil RE. Verifikasi menggunakan mesin *portable coordinate measuring machine* (CMM) (Gambar 6). Hasil verifikasi menunjukkan bahwa akurasi  $\pm 0,025$  mm dicapai. Kemudian dilakukan pula verifikasi geometri dengan cara menyusun bagian-bagian faceplate menjadi satu lingkaran besar (Gambar 7). Hasil verifikasi menunjukkan bahwa faceplate dapat tersusun sesuai geometri yang di syaratkan oleh konsumen. Setelah proses QC selesai, material di siap dilakukan pengemasan (Gambar 8)

## D. Proses Manufaktur: Bushing

Sebelum dilakukan proses pengecoran, terlebih dahulu harus ditentukan hasil akhir komposisi material diinginkan. Dengan menggunakan diagram fase kuningin dapat ditentukan bahan baku apa saja yang dimasukkan, bahan additive apa saja yang harus diikutkan, berapa suhu tungku proses pengecoran, berapa lama proses pengecoran, dan berapa lama proses pendinginan dalam cetakan (Mold) agar didapatkan sifat material yang diinginkan.



Gambar 6. Proses verifikasi faceplate hasil RE



Gambar 7. Penyusunan faceplate untuk verifikasi geometri



Gambar 8. Proses pengemasan faceplate



(a) Pengecoran



(b) Hasil cetakan casting

Gambar 9. Proses casting

Proses pengecoran menggunakan tungku dengan bahan bakar solar (Gambar 9.a). Setelah proses pengecoran didalam tungku selesai, kemudian kuningan cair dimasukkan kedalam cetakan dengan geometri dan dimensi yang diinginkan. Lalu dipanaskan kembali dengan panas lebih rendah dibanding didalam tungku, dan kemudian didinginkan sesuai hasil analisa dari diagram fase kuningan. Hasil cetakan dapat di lihat di gambar 9.b

Hasil cetakan kemudian di machining, sehingga mulai tampak lapisan kuningan pada permukaan bushing. Setelah itu dilakukan pemasangan grafit pada lobang-lobang di permukaan bushing. Dalam memasang grafit ini, grafit dipanaskan agar menjadi cair, kemudian dipasang kedalam cetakan yang sudah di siapkan di lobang bushing. Setelah dibiarkan beberapa waktu grafit akan menjadi padat dan kering. Kemudian dilakukan machining kembali dengan mesin bubut agar tumpahan cairan grafit tadi bisa bersih kembali dan machining juga dilakukan agar ketebalan bushing sesuai dengan yang disyaratkan. Akurasi yang diminta pada bushing ini adalah  $\pm 0,3$  mm, sehingga proses permesinan cukup menggunakan mesin bubut.

#### E. Perbandingan Material: Bushing

Sifat material yang akan digunakan dalam menentukan ekuivalensi dengan material OEM adalah komposisi material dan nilai kekerasan (Hardness). Berdasarkan Tabel 2, sifat komposisi material RE masuk kedalam tembaga paduan standar BC-6. Kandungan unsur tembaga (Cu), timah (Sn), timbal (Pb), dan seng (Zn) masih dalam batas kriteria tembaga paduan BC-6. Perbandingan nilai kekerasan, menunjukkan bahwa nilai kekerasan material RE lebih besar dari nilai minimum yang diizinkan. Berdasarkan perbandingan dua sifat material yaitu komposisi material dan kekerasan, maka material RE ekuivalen dengan standard CAC-406 BC-6.

Tabel 2. Sifat material bushing

Unsur	Standar JIS 512	Reverse
	CAC-406 (BC6)	Eng
Cu	83-87	83.87
Sn	4.0-6.0	5.08
Pb	4.0-6.1	4.94
Zn	4.0-6.2	5.23
Sifat		
Hv	60 min	75

## F. Verifikasi Geometri: Bushing

Verifikasi dimensi dan geometri bushing menggunakan caliper dan mikrometer digital hal ini dikarenakan akurasi yang dibutuhkan tidak setinggi faceplate. Hasil verifikasi dimensi dan geometri menunjukkan dimensi dan geometri bushing sesuai dengan yang disyaratkan oleh pemesan.



Gambar 10. Hasil akhir bushing sebelum dipasang grafit

dan nilai kekerasan bushing. Perbandingan bushing hasil RE dengan standard BC-6 menunjukkan bahwa bushing hasil RE ekuivalen dengan standard yang di syaratkan.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Staf PT.Esco Pacific dan Staf Jurusan Teknik Mesin Institut Sains & Teknologi Nasional yang telah memberikan kontribusi sehingga artikel dapat diselesaikan.

## Referensi

- [1] Norwegian University of Science and Technology, Di akses 25 Oktober 2016, <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4195/inhold/Forelesninger/forelesninger%202006/8%20-%20Guide%20Vanes%20in%20Francisturbines.pdf>
- [2] W. Wego, *Reverse Engineering: Technology of Reinvention*. CRC Press, 2010
- [3] Diakses pada 25 Oktober 2016: [http://www.tf.unikel.de/matwis/amat/iss/kap\\_6/illustr/i6\\_2\\_1.html](http://www.tf.unikel.de/matwis/amat/iss/kap_6/illustr/i6_2_1.html)
- [4] G. F. V. Voort. *Metallography, Principles and Practice*. Second edition. ASM International. 1999
- [5] J. J. Friel. *Practical Guide to Image Analysis*. ASM International. 2000
- [6] A. J. McEvily, "Reverse engineering gone wrong: A case study". *Engineering Failure Analysis*, Vol. 12, Issue 5, pp. 834-838, October 20015.

## 4. Simpulan

Berdasarkan proses reverse engineering untuk komponen faceplate dan bushing terdapat beberapa sifat material yang dijadikan parameter ekuivalensi material terhadap material OEM. Faceplate menggunakan tiga sifat material yaitu komposisi material, nilai kekerasan, dan nilai indeks tahanan terhadap korosi (PREN). Berdasarkan perbandingan 3 parameter tersebut, dapat dikatakan bahwa komponen faceplate hasil RE ekuivalen dengan faceplate OEM. Begitu juga dengan dimensi dan geometri faceplate.

Untuk komponen bushing, digunakan dua parameter untuk menunjukkan ekuivalensi dengan bushing OEM berdasarkan standar JIS 511 CAC-406 BC-6, yaitu komposisi material