

Reverse Engineering Suku Cadang Peralatan Pembangkitan Tenaga Listrik

Indra Djodikusumo

Kelompok Keahlian Teknik Produksi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesa 10 Bandung 40132

E-mail : djodikusumo.indra@gmail.com

HP: 0811208675

Abstrak

Mesin dan peralatan pembangkitan tenaga listrik yang dioperasikan di tanah air ini biasanya tidak dilengkapi dengan gambar mesin. Pengadaan suku cadang mesin dan peralatan pembangkitan, khususnya yang dikategorikan suku cadang kritis, masih diadakan dari pabrikan luar negeri yang membuat suku cadang asli dengan menggunakan identitas nomor "part". Tentu saja menjadi suatu pertanyaan besar, apakah benar bahwa suku cadang tersebut memang kritis sehingga harus diadakan dari luar negeri, khususnya pada saat ini di mana Republik Indonesia harus menghemat devisa dan membuka lapangan kerja baru. Permasalahannya, setiap upaya untuk pembuatan suku cadang tersebut di dalam negeri selalu terbentur pada ketidaktersediaan gambar mesin yang diperlukan, untuk memantau proses dan menguji suku cadang yang dihasilkan. Hal ini sebenarnya dapat diatasi dengan teknik "reverse engineering". "Reverse engineering" bukan saja mencakup geometrik dan material suku cadang saja, namun juga fungsi suku cadang. Namun demikian, sayang sekali masih banyak pihak yang dalam prakteknya tidak menghiraukan bahwa karakteristik fungsional setiap komponen mesin sangat ditentukan oleh karakteristik geometriknya. Berikut ini akan dipaparkan suatu tahapan kegiatan "reverse engineering" secara lengkap, di mana analisis geometrik dan toleransi merupakan salah satu tahap penting yang tidak bisa diabaikan begitu saja, bila diinginkan keberhasilan dalam melaksanakan kegiatan "reverse engineering" tersebut.

*Kata kunci: „reverse engineering“, karakteristik fungsional
dan karakteristik geometrik*

Pendahuluan

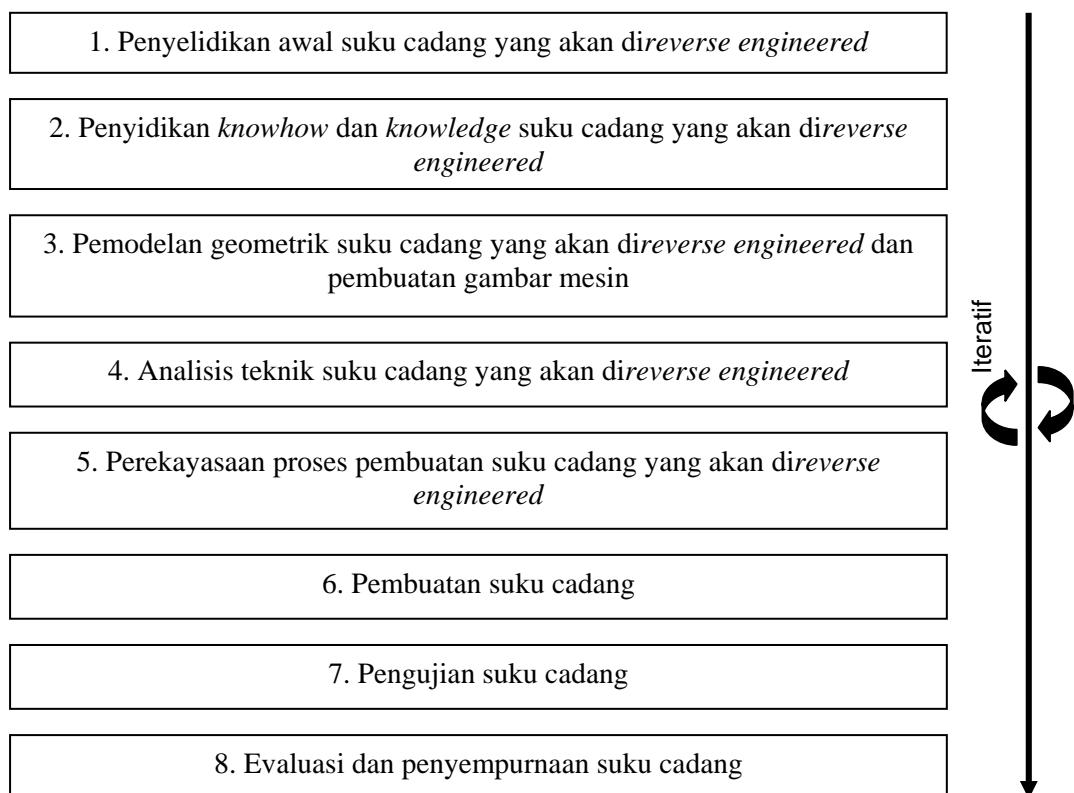
Belakangan ini *reverse engineering* banyak dibicarakan orang pada berbagai kesempatan di Indonesia. Berbeda dengan *forward engineering*, di mana orang berangkat dari gagasan dan konsep mengenai produk yang akan dibuat, yang kemudian diperinci tahap demi tahap sampai menjadi gambar mesin yang kemudian dibuat dan diuji, *reverse engineering* dimulai dengan contoh produk yang akan dibuat, tanpa disertai dengan dokumentasi teknik produk tersebut, khususnya gambar mesinya. Biasanya orang melakukan *reverse engineering* pada berbagai kasus sebagai berikut ini:

- Pabrik pembuat suku cadang asli tidak lagi membuat suku cadang yang diperlukan
- Tidak lengkapnya dokumen dari suatu pengembangan produk, walaupun produknya jadi
- Pabrik pembuat suku cadang asli tidak lagi eksis, namun pelanggan masih memerlukan suku cadang tersebut
- Hilangnya dokumen pengembangan produk
- Terdapatnya kekurangan pada produk hasil suatu pengembangan yang perlu diperbaiki, misalnya terjadinya keausan yang berlebihan pada suatu bagian komponen produk

- Meningkatkan umur pakai produk
- Menganalisis kelebihan dan kekurangan produk buatan pesaing
- Mencari celah untuk meningkatkan kinerja dan keistimewaan produk
- Melakukan studi banding terhadap produk buatan pesaing agar dapat memahami karakteristik produk pesaing, dengan tujuan bisa mengembangkan produk yang lebih baik dari pada produk pesaing tersebut
- Model CAD yang ada tidak lagi memadai untuk penggunaan metode manufaktur yang baru
- Pemasok suku cadang asli tidak mau memasok suku cadang yang diperlukan
- Penggantian material dan proses pembuatan suku cadang dengan teknologi lebih baru yang lebih murah ongkosnya

Metodologi

Berdasarkan pengalaman lalu yang telah kami peroleh dalam melakukan kegiatan *reverse engineering*, sekarang ini telah disusun dan ditetapkan suatu metodologi yang harus selalu diikuti untuk setiap kegiatan *reverse engineering* yang kami lakukan, yang meliputi beberapa tahapan sebagai berikut (**Gambar-1**). Tahapan tersebut yang ditunjukkan dalam **Gambar-1** pada kenyatannya dapat berlangsung secara iteratif. Kegiatan pada setiap tahap akan diuraikan sebagai berikut ini.



Gambar-1: Metodologi *reverse engineering*

1. Penyelidikan awal suku cadang yang akan direverse engineered

Penyelidikan (investigasi) awal terhadap suku cadang yang akan direverse engineered perlu dilakukan untuk memperoleh informasi awal yang bersifat umum mengenai suku cadang tersebut. Informasi awal yang bersifat umum terebut dapat mencakup misalnya

material suku cadang, cara kerja suku cadang, cara pembuatan dan cara pengujian suku cadang dan pabrik-pabrik yang membuat suku cadang tersebut serta standar-standar terkait dengan suku cadang tersebut. Informasi yang bersifat umum tersebut dapat diperoleh dengan cara:

- mempelajari buku-buku standar yang diterbitkan oleh berbagai organisasi yang bekerja dalam kegiatan standardisasi (ISO, IEC, AWS, ASTM, DIN, JIS, SII, SPLN dan sebagainya), khususnya yang berhubungan dengan suku cadang yang akan direverse engineered,
- mempelajari buku-buku di perpustakaan umum (misalnya perpustakaan di universitas) atau perpustakaan bukan umum (misalnya perpustakaan yang tersedia di pembangkit tenaga listrik) yang berhubungan dengan suku cadang yang akan direverse engineered,
- mempelajari informasi yang berhubungan dengan suku cadang yang akan direverse engineered dengan cara *browsing* di internet,
- mempelajari berbagai macam dokumentasi yang berhubungan dengan suku cadang yang akan direverse engineered (dokumen tender, manual penginstalasian, manual pengoperasian dan manual pemeliharaan) yang umumnya tersedia di pembangkit tenaga listrik yang bersangkutan dan
- *interview* (wawancara) dengan para ahli mengenai suku cadang tersebut, misalnya akademisi, peneliti, pengoperasi dan pemelihara.

2. Penyidikan *knowhow* dan *knowledge* suku cadang yang akan direverse engineered

Suku cadang yang akan direverse engineered adalah suku cadang yang pernah dikembangkan oleh orang lain (dirancang, dibuat dan diuji serta disempurnakan dari waktu ke waktu), oleh sebab itu suku cadang tersebut sebenarnya memiliki segudang informasi yang sayangnya tidak kita miliki. Oleh sebab itu suku cadang tersebut perlu disidik, khususnya dari sisi:

▪ **Fungsionalitas**

Dalam menyidik fungsi suku cadang yang akan direverse engineered kita perlu mencirikan bagian mesin atau peralatan satu hirarki di atas suku cadang yang akan direverse engineered. Sebagai contoh, kalau kita akan melakukan *reverse engineering* terhadap *runner* suatu turbin air, maka sistem yang perlu disidik bukanlah *runner*nya saja, namun juga poros, bantalan, *spiral casing* dan *draft tube* nya. Langkah berikutnya adalah pelajari *input-output* terhadap sistem tersebut dan akhirnya apakah peran (fungsi) *runner* dalam sistem yang disidik tersebut.

▪ **Geometrik**

Yang dimaksud dengan penyidikan geometrik adalah pengukuran geometrik suku cadang yang akan direverse engineered dengan menggunakan alat ukur yang sesuai. Alat ukur tersebut dapat berupa alat ukur sederhana seperti mistar sampai dengan mistar ingsut dan mikrometer ataupun alat ukur canggih seperti mesin ukur koordinat 3 dimensi (MUK 3-D) yang tetap maupun *portable* yang dilengkapi dengan *scanner*, yang tentunya dipilih sesuai dengan kebutuhannya. Hasil pengukuran biasanya merupakan sketsa yang lengkap dengan ukurannya atau *point cloud* bilamana diukur dengan menggunakan MUK 3-D yang dilengkapi dengan *scanner*. MUK 3-D biasanya digunakan apabila suku cadang memiliki bentuk geometrik kontur (*free form*).

▪ **Material**

Penyidikan material suku cadang dilakukan dengan menggunakan teknik merusak maupun tidak merusak, yang ditentukan sesuai dengan kebutuhannya. Yang

umumnya perlu kita ketahui adalah sifat-sifat material seperti sifat fisik, sifat kimia dan sifat mekanik nya.

3. Pemodelan geometrik suku cadang yang akan direverse engineered dan pembuatan gambar mesin

Berdasarkan penyidikan geometrik yang telah dilakukan pada tahap 2 yang sudah dipaparkan sebelum ini, maka dapat mulai dilakukan pemodelan 3 dimensi dengan menggunakan perangkat lunak CAD yang umumnya tersedia, misalnya Pro/Engineer, Catia, Unigrafix dan sebagainya. Berdasarkan model 3 dimensi tersebut dapat dibuatkan gambar mesin 2 dimensi sesuai dengan keperluan.

4. Analisis teknik suku cadang yang akan direverse engineered

Berbagai jenis analisis teknik perlu dilakukan terhadap model 3 dimensi suku cadang yang diperoleh sebagai hasil tahap 3. Analisis teknik tersebut dapat mencakup misalnya:

- Analisis material dan kekuatan
- Analisis mekanika fluida
- Analisis termodynamika
- Analisis perpindahan panas
- Analisis getaran mekanik
- **Analisis geometrik dan toleransi**
- Analisis sistem kontrol
- Analisis proses pembuatan
- Analisis proses pengujian

Bersamaan dengan analisis tersebut seringkali juga dilakukan simulasi dan optimalisasi. Semakin rumit suku cadang yang akan direverse engineered akan memerlukan semakin banyaknya analisis teknik yang harus dilakukan. Dengan banyaknya perangkat lunak yang tersedia guna melakukan analisis teknik, misalnya Nastran, Fluent, dan sebagainya, maka model 3 dimensi yang diperoleh dari tahap ke 3 tersebut di atas dapat digunakan sebagai salah satu masukan untuk melakukan analisis teknik dengan menggunakan perangkat-perangkat lunak tersebut. **Analisis geometrik dan toleransi** biasanya dilupakan orang, padahal analisis tersebut sangat diperlukan khususnya untuk suku cadang yang berputar dengan kecepatan tinggi (*high speed rotating part*), misalnya suku-suku cadang turbin uap atau gas. Beberapa contoh akan dipaparkan dalam presentasi. Orang juga biasanya lupa bahwa toleransi yang dimaksud adalah toleransi pada kondisi operasinya (dengan beban dan temperatur pada saat suku cadang beroperasi). Kelupaan dalam melakukan analisis geometrik dan toleransi seringkali mengakibatkan kegagalan. Saat ini di berbagai belahan dunia khususnya negara-negara yang sudah maju sedang dikembangkan fungsi-fungsi khusus pada sistem-sistem CAD untuk dapat digunakan dalam melakukan analisis geometrik dan toleransi.

5. Perekayasaan proses pembuatan suku cadang yang akan direverse engineered

Perekayasaan proses pembuatan suku cadang perlu dilakukan agar dihasilkan dokumentasi penunjang untuk proses pembuatannya, misalnya gambar kerja dan *process sheet* termasuk *inspection sheet*, yang akan digunakan sebagai acuan untuk pengendalian kualitas. Pada tahap ini juga diperlukan perancangan serta pembuatan alat bantu yang mungkin diperlukan dalam pembuatan suku cadang tersebut.

6. Pembuatan suku cadang

Pembuatan suku cadang dilakukan dengan mengacu pada gambar kerja dan *process sheet* termasuk *inspection sheet* yang sudah disiapkan. Setiap perubahan yang dilakukan dalam pelaksanaan pembuatan suku cadang harus didokumentasikan sehingga gambar kerja, *process sheet* dan *inspection sheet* selalu *up to date*. Administrasi perevisian dokumen merupakan hal yang sangat penting.

7. Pengujian suku cadang

Pengujian suku cadang dilakukan dengan mengacu pada prosedur/standar pengujian suku cadang, yang telah diciritemukan pada tahap 1 di bagian depan. Hasil pengujian perlu didokumentasikan dengan baik. Setelah dilakukan pengujian maka suku cadang siap untuk digunakan.

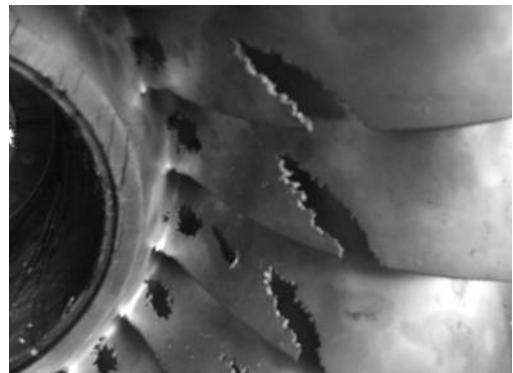
8. Evaluasi dan penyempurnaan suku cadang

Kegiatan *reverse engineering* suku cadang mesin dan peralatan pembangkitan tenaga listrik tidak selesai begitu saja setelah suku cadang dikirim dan dioperasikan. Kita masih perlu memantau bagaimana kinerja suku cadang yang diperoleh sebagai hasil *reverse engineering*. Pemantauan ini perlu didokumentasikan dan kemudian dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan suku cadang yang akan dibuat berikutnya.

Contoh Kasus, Hasil dan Pembahasan

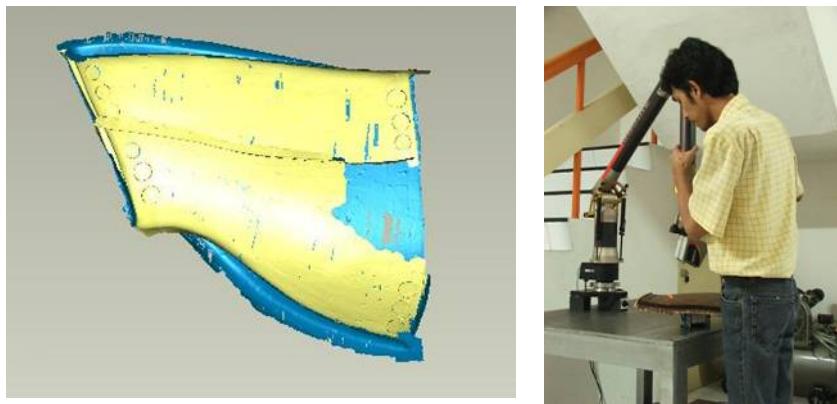
Berikut ini akan dipaparkan hal-hal pokok dari pengalaman yang kami peroleh dalam melakukan *reverse engineering* terhadap *runner* turbin air jenis Francis yang dioperasikan di Sulawesi Utara, Tengah dan Gorontalo (Suluttenggo). Turbin tersebut adalah buatan Sulzer (Swiss) dengan kapasitas 800 Kilo Watt.

Runner turbin Francis yang sudah dioperasikan semenjak tahun 1996 ini rusak. Hasil penyelidikan (investigasi) awal menyatakan bahwa kerusakan disebabkan oleh pengikisan (abrasi) karena pasir ikut mengalir bersama air melalui sudu turbin (**Gambar-2**), di samping memang terjadi juga kavitas.



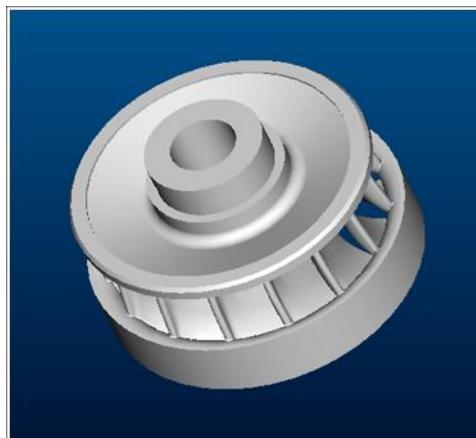
Gambar-2: Kerusakan sudu *runner* karena abrasi dan kavitas

Penyidikan geometrik dilakukan dengan 2 jenis cara pengukuran. Diameter *ring* bagian luar dan dalam diukur dengan menggunakan jangka sorong, demikian pula halnya dengan diameter bagian luar dan dalam *cone* yang juga diukur dengan menggunakan jangka sorong, sementara profil sudu dan sebagian fitur *cone* dan *ring* dengan menggunakan MUK 3-D. Untuk itu profil sudu diukur dengan pertama-tama membuat kopinya dari bahan resin (**Gambar-3**).



Gambar-3: Kopi profil sudu (kiri) dan pengukuran dengan menggunakan MUK 3-D yang dilengkapi dengan *laser scanner* (kanan)

Hasil penyidikan material menyatakan bahwa material *runner* turbin Francis tersebut menurut standar ASTM adalah CA6NM, yaitu baja karbon rendah tahan karat dan tahan abrasi. Hasil pemodelan geometrik dengan menggunakan Pro/Engineer adalah sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar-4**.



Gambar-4: Model 3-D Runner Turbin Francis

Model yang diperoleh tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan Pro/Mekanika dan Fluent, untuk mengetahui kekuatan dan kinerjanya. *Runner* dibuat dalam 3 bagian (*ring*, *cone* dan *blade*) yang kemudian dirakit dengan menggunakan proses pengelasan. *Ring* dan *cone* dibuat dengan teknik pengecoran *sand casting* biasa, yang kemudian dibubut. Beberapa ukuran telah mencapai ukuran akhir dan beberapa masih memiliki kelonggaran untuk pemesinan akhir. *Blade* dibuat dengan teknik *investment casting* (**Gambar-5**). Untuk itu diperlukan cetakan lilin. Cetakan lilin dibuat dengan menggunakan model *Rapid Prototype* sudu yang telah disiapkan terlebih dahulu.



Gambar-5: *Investment casting* (kiri) dan sudu yang dihasilkan (kanan)

Cone, ring dan *blade* yang diperoleh dari hasil pengecoran diuji dengan menggunakan *radiography* untuk memastikan tidak ada keropos di bagian dalam. Proses perakitan dilakukan di atas meja rata dengan menggunakan pemosisi dan pencekam yang dibuat khusus untuk itu (**Gambar-6**).



Gambar-6: Pemosision dan pencekaman *cone, ring* dan *runner* sebelum mereka disambung dengan menggunakan proses pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan mengacu pada *Welding Procedure Standard* dan *Procedure Qualification Record* yang umumnya disingkat dengan WPS/PQR, agar diperoleh hasil pengelasan yang sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan (**Gambar-7**).



Gambar-7: Hasil pengelasan dan *runner* yang diperoleh setelah dilakukan penggerindaan hasil pengelasan dengan menggunakan gerinda tangan.

Setelah penggerindaan tangan dilakukan tahapan berikutnya adalah pemesinan akhir dan penyeimbangan atau balancing (**Gambar-8**).



Gambar-8: Pemesinan akhir (kiri) dan penyeimbangan (kanan).

Terakhir adalah pengepakan dan pengiriman *runner* ke Toli-Toli di Sulawesi Utara, Tengah dan Gorontalo (Suluttenggo) untuk dipasang dan dioperasikan. Saat ini kami berada dalam tahap pemantauan untuk mengetahui kinerja aktual *runner* yang kami buat, agar dapat dilakukan penyempurnaan di masa mendatang untuk pekerjaan lain yang serupa.

Kesimpulan

- Kegiatan *reverse engineering* merupakan suatu contoh kegiatan yang multi disiplin. Semakin rumit suatu suku cadang yang akan direverse engineered, akan memerlukan semakin banyak analisis teknik atau tenaga spesialis.
- Kebanyakan orang melakukan kegiatan *reverse engineering* hanya terhadap material dan geometrik yang itupun terbatas hanya pada ukuran dan kehalusan permukaan saja, serta melupakan fungsionalitas dan karakteristik geometrik lainnya yang juga sangat penting yaitu bentuk dan posisi.
- Sebagaimana kegiatan yang lain, kegiatan *reverse engineering* perlu disempurnakan dari waktu ke waktu agar dapat mencapai hasil yang baik, dan sulit bagi kita untuk dapat menyelesaikan kegiatan *reverse engineering* dengan sempurna hanya dengan sekali saja melakukan kegiatan tersebut.

Daftar Pustaka

- William Duncan, Jr., Turbine Repair, United States Department of The Interior Bureau of Reclamation, Internet Version created September 2000
- Steel Founders Society of America 2004, Steel Castings Handbook, Suplement 8, High Alloy Data Sheet, Corrosion Serie
- F.O. Ruud, Stress Analysis of Hydraulic Turbine Parts, US Department of The Interior Bureau of Reclamation, July 1962
- Halvard Bjørndal Norconsult, Flow Induced Stresses in a Medium Head Francis Runner, 10th International Meeting of the Work Group on The Behaviour of Hydraulic Machinery Under Steady Oscillatory Conditions, 2001
- Arne Kjølle, The Development of Hydro Power in Norway, Trondheim, December 2001
- Directorate General for Energy, European Small Hydro Power Association, Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site, 1998