

REKAYASA BALIK SUDU TURBIN DENGAN PERANGKAT LUNAK CATIA MENGGUNAKAN KURVA BEZIER

TURBINE BLADE REVERSE WITH CATIA SOFTWARE USING BEZIER CURVE

Dyah Kusuma Dewi , Harry Purnama

Laboratorium Design Institute-Pusat Teknologi Industri Permesinan,
Deputi Bidang TIRBR, BPPT

e-mail : dyah.kusuma@bppt.go.id, harry.purnama@bppt.go.id

Abstrak

Metode rekayasa balik merupakan metode yang digunakan untuk menduplikasi komponen-komponen yang akan dikembangkan dan diproduksi di dalam negeri, sehingga dapat mengurangi nilai impor dan mengurangi waktu tunggu pemesanan komponen. Salah satu komponen yang sering mengalami kerusakan adalah sudu turbin, baik pada turbin uap maupun turbin gas. Proses rekayasa balik dilakukan dengan mengambil foto dari komponen tersebut menggunakan peralatan pemindai gambar. Hasil dari proses pemindaian gambar tersebut berupa *file* dengan ekstensi *.stl* yang merupakan kumpulan *point cloud*. Selama ini banyak kesulitan yang ditemui dalam pemrosesan dari *point cloud* menjadi *file* CAD, terutama pada komponen yang memerlukan ketepatan tinggi. CATIA merupakan perangkat lunak CAD yang digunakan untuk mengolah *file* *.stl* ini menjadi *file* CAD. Dalam penelitian ini metode pendekatan kurva Bezier dipilih untuk teknik pemodelan dari *point cloud*. Dari pendekatan tersebut deviasi yang ditimbulkan dari hasil pemodelan CAD dan komponen aktual menjadi lebih kecil serta dapat ditingkatkan toleransinya sesuai yang diinginkan oleh perekayasa sudu turbin.

Kata kunci : Rekayasa Balik, Sudu Turbin, CATIA, CAD, Kurva Bezier.

Abstract

Reverse engineering method is a method that used to duplicate some developed and produced domestically components, thereby reducing value of imports and waiting time of components ordering. One of the most frequently damaged components is turbine blades, both in steam turbines and gas turbines. Reverse engineering process is done by taking photos of the component using the image scanner equipment. The result of the image scanning process is file with a .stl extension which is a collection of point cloud. During this time many difficulties encountered in processing from point cloud into CAD files, especially on components that require high accuracy. CATIA is a CAD software used to process this .stl file into CAD files. In this research, method approach with Bezier curve is chosen for modeling technique from point cloud. From that approachment the deviation result of CAD model and actual component becomes smaller and can be increased the tolerance as desired by the turbine blade engineer.

Key Words : Reverse Engineering, Turbine Blade, CATIA, CAD, Bezier Curve

Diterima (received) : 06 Februari 2018, Direvisi (revised) : 27 Februari 2018,
Disetujui (accepted): 02 April 2018

PENDAHULUAN

Di pasar global yang sangat kompetitif saat ini, banyak perusahaan terus-menerus mencari cara baru untuk mempersingkat waktu pengembangan produk yang dapat memenuhi semua harapan pelanggan. Metode rekayasa balik kini dianggap salah satu teknologi yang memberikan manfaat memperpendek siklus pengembangan produk⁶⁾.

Rekayasa balik mempunyai arti proses penggalan pengetahuan atau desain cetak biru dari apapun buatan manusia. Rekayasa balik biasanya dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan yang hilang, ide, dan filosofi desain ketika informasi tersebut tidak tersedia⁵⁾.

Rekayasa balik harus diikuti dengan teknik-teknik turunannya untuk memastikan hasil tidak menyimpang jauh dari produk yang ditiru. Beberapa teknik turunannya antara lain teknik pengambilan data pemindaian gambar, teknik rekonstruksi hasil data dari pemindaian gambar ke model CAD, teknik validasi hasil pengolahan CAD, hingga teknik manufaktur dari komponen¹³⁾. Apabila masing-masing tahapan menghasilkan kesalahan data dan kemudian dijumlahkan, maka kesalahan data ini akan berkumpul di hasil akhir produk yang dihasilkan.

Beberapa penelitian dilakukan untuk mengurangi kesalahan data tersebut, salah satunya pada tahapan rekonstruksi hasil pemindaian gambar sudu turbin yang berupa *point cloud* menjadi hasil akhir CAD. Oleh karena itu merekonstruksi sebuah kurva dari sebuah data point adalah salah satu masalah terpenting dalam metode rekayasa balik dari sebuah model geometri. Di beberapa kasus rekonstruksi kurva memerankan peran penting dalam masalah rekonstruksi permukaan¹¹⁾.

Semua sistem CAD/CAM yang ada saat ini menyediakan pengguna dengan entitas kurva, yang dapat diklasifikasikan ke dalam entitas analitik dan sintesis. Entitas analitik adalah titik, garis, busur, lingkaran, dsb. Sedangkan entitas sintesis termasuk kurva Cubic Spline, B-Spline dan Bezier, dsb. Secara matematis, kurva sintesis adalah kurva halus yang melewati titik-titik data yang diberikan, dibentuk dari persamaan polinomial. Di mana kurva Bezier dan B-Spline dapat mendekati atau interpolasi titik-titik data tersebut⁴⁾. Kurva Bezier dan B-Spline adalah dua jenis kurva yang sering digunakan *fitting* data.^{1) 2)}

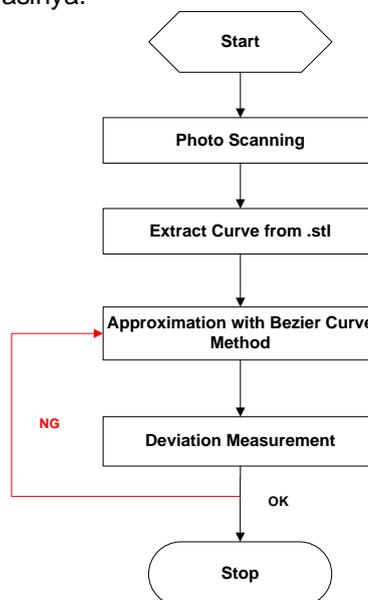
Metode pendekatan banyak digunakan untuk *fitting* data berdasarkan kurva baik kurva Bezier ataupun B-Spline adalah *least-square*^{2) 8)}. Metode selain turunan lain dari *least-square* adalah *square-distance-method* (SDM)¹⁴⁾. Metode *moving-least-square* (MLS) mempunyai kemampuan yang bagus untuk mereduksi *point cloud* sehingga terbentuk semacam kurva tipis, di mana teknik ini disokong dengan metode *euclidean minimum spanning tree*⁷⁾.

Pada penelitian ini terfokus pada metode pendekatan kurva Bezier dengan perangkat lunak CATIA. Diharapkan dengan metode ini keakuratan *fitting* hasil konversi dari *point cloud* ke CAD. Sehingga memudahkan dalam proses analisa dan manufaktur.

BAHAN DAN METODE

Metode rekayasa balik yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

Pemindaian gambar dilakukan pada komponen rotor turbin 20 MW milik PLN Amurang. Dari proses pemindaian gambar ini didapat gambar dalam bentuk *file .stl* yang berupa *point cloud*. *Point cloud* ini tidak serta merta dapat dikonversi menjadi *file* CAD. Salah satu pendekatan pemodelan yang dilakukan untuk menggambar ulang komponen sudu turbin adalah dengan metode kurva Bezier. Dari hasil pendekatan ini kemudian dilakukan pengukuran deviasinya.



Gambar 1.
Metode Rekayasa Balik yang Digunakan

DASAR TEORI

• **Point Cloud**

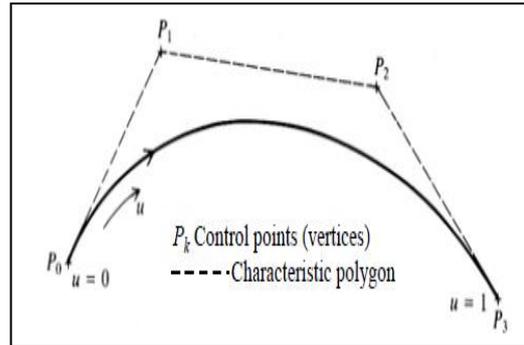
Point cloud adalah sekumpulan titik ($P_i, i = 1; \dots; n$) dalam koordinat 3 dimensi yang dihasilkan dari pemindaian obyek, mewakili permukaan obyek^{12) 15)}. Dari sekumpulan titik tersebut akan dihubungkan dengan kurva-kurva sehingga terlihat sebuah permukaan. Namun dalam proses pemindaian dengan *3D scanner*, hasil yang diperoleh kadang kurang mewakili permukaan obyek dikarenakan adanya deviasi kerapatan dan kesejajaran antar titik, sehingga permukaan yang dihasilkan dari korelasi kurva antar titik tersebut tidak sejajar dan bersentuhan dengan permukaan obyek.

• **Kurva Bezier**

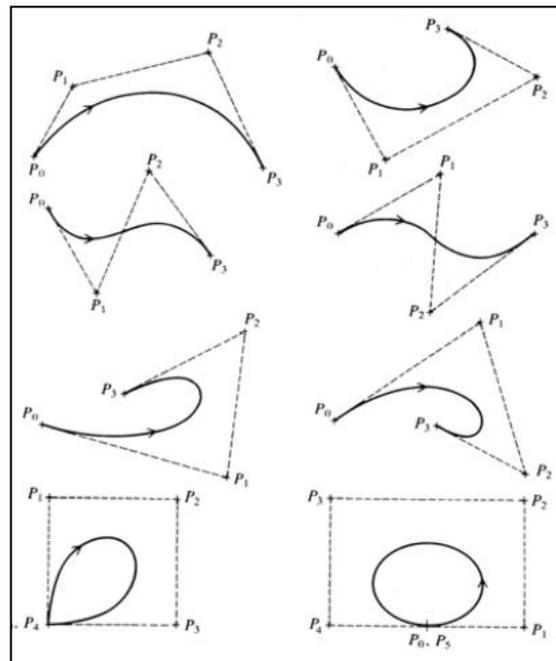
Kurva Bezier termasuk ke dalam jenis kurva yang dibangun menggunakan teknik pendekatan¹²⁾. Disamping kurva Bezier ada juga kurva yang menggunakan teknik yang sama yaitu B-Spline. Kurva lain ada yang menggunakan teknik interpolasi yaitu kurva *cubic spline*. Kurva yang dibangun menggunakan teknik pendekatan lebih fleksibel dan intuitif dalam penggunaannya, dimana kurva yang dibangun tidak melalui titik-titik yang ditentukan. Kelebihan kurva Bezier dibandingkan kurva *cubical* adalah orde tinggi dalam persamaan yang digunakan, sedangkan *cubical* hanya terbatas pada orde empat. Karena orde tinggi inilah kurva yang dihasilkan lebih halus.

Karakteristik utama dari kurva Bezier adalah:

1. Hanya titik kontrol pertama dan terakhir yang berada pada kurva.
2. Titik kontrol yang lain mendefinisikan tingkat orde, turunan dan bentuk kurva.
3. Kurva Bezier selalu tangensial terhadap poligon pertama dan terakhir seperti terlihat pada gambar 2.
4. Bentuk kurva mengikuti bentuk poligon yang terbentuk antar titik kontrol seperti terlihat pada **Gambar 3** gambar 3¹²⁾.



Gambar 2.
Bentuk poligon yang selalu tangensial



Gambar 3.
Kurva Bezier dari bermacam-macam letak titik kontrol

Secara teori kurva Bezier dibangun dengan persamaan sebagai berikut: untuk $(n+1)$ titik kontrol.

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \dots(1)$$

dengan $0 \leq u \leq 1$

dimana :

- $P(u)$ = Titik di dalam kurva
- P_i = Titik kontrol
- $B_{i,n}$ = Polinomial Bernstien

Polinomial Bernstein mempunyai bentuk persamaan yang dibangun sebagai berikut:

$$B_{i,n}(u) = C(n,i)u^i(1-u)^{n-i} \quad \dots\dots(2)$$

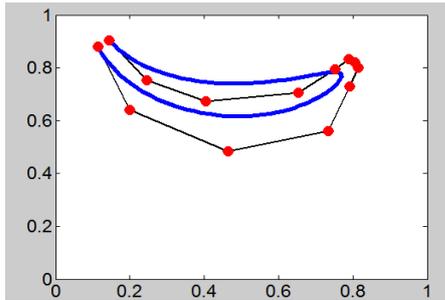
dimana C adalah koefisien binomial:

$$C(n,i) = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad \dots\dots(3)$$

Secara umum persamaan kurva Bezier dapat ditulis sebagai berikut:

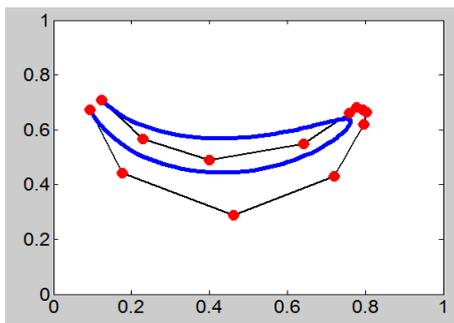
$$P(u) = P_0(1-u)^n + P_1C(n,1)u(1-u)^{n-1} + P_2C(n,2)u^2(1-u)^{n-2} + \dots + P_{n-1}C(n,n-1)u^{n-1}(1-u) + P_nC^n$$

Dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB pendekatan sebagai berikut :



Gambar 4.

Bentuk kurva Bezier yang digunakan untuk mendekati bentuk sudu



Gambar 5.

Bentuk kurva Bezier yang digunakan untuk mendekati bentuk sudu

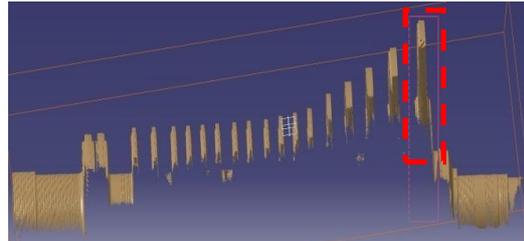
• **Pemindaian Gambar**

Pemindaian gambar dilakukan dengan beberapa teknik pencahayaan dan pengambilan obyek dari beberapa tempat yang sekiranya mampu mendapatkan geometri selengkap mungkin, namun karena keterbatasan ruang dan geometri komponen maka ada beberapa bagian yang tidak dapat teridentifikasi oleh foto. Hal ini merupakan permasalahan tersendiri yang tidak dibahas dalam penelitian ini. Gambar 6 – 8 berikut merupakan hasil pemindaian gambar dari turbin Amurang.



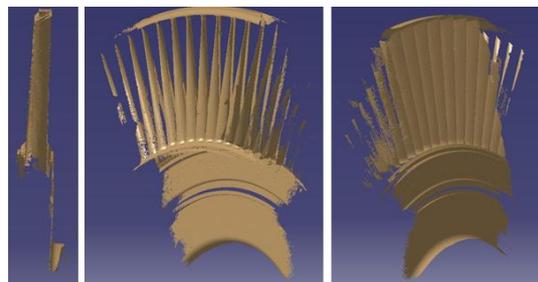
Gambar 6.

Proses pemindaian rotor dan sudu turbin 20MW



Gambar 7.

Hasil pemindaian gambar sudu turbin 20MW



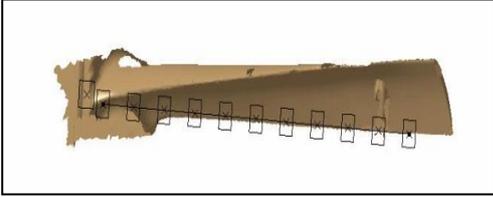
Gambar 8.

Hasil pemindaian gambar sudu turbin pada tingkat 17

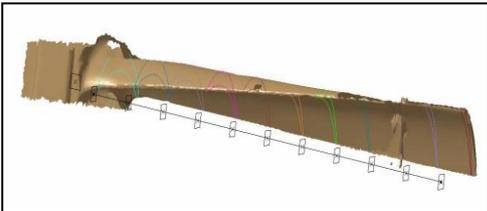
HASIL DAN PEMBAHASAN

• Pemodelan

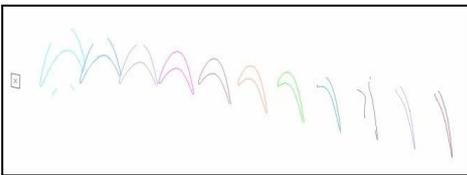
Pemodelan dilakukan dengan mengekstraksi kurva dari *point cloud* dengan bantuan perangkat lunak CATIA seperti terlihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12.



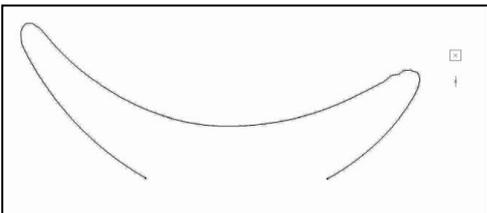
Gambar 9.
Menentukan titik dan bidang yang akan diekstraksi



Gambar 10.
Ekstraksi kurva dari *point cloud*



Gambar 11.
Kurva hasil ekstraksi dari *point cloud*

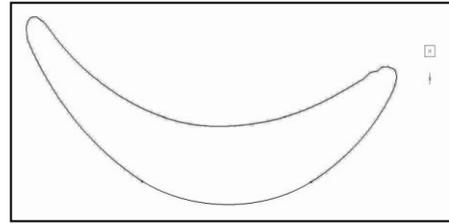


Gambar 12.
Kurva posisi paling bawah dari sudu (kurang sempurna saat *pemindaian gambar*)

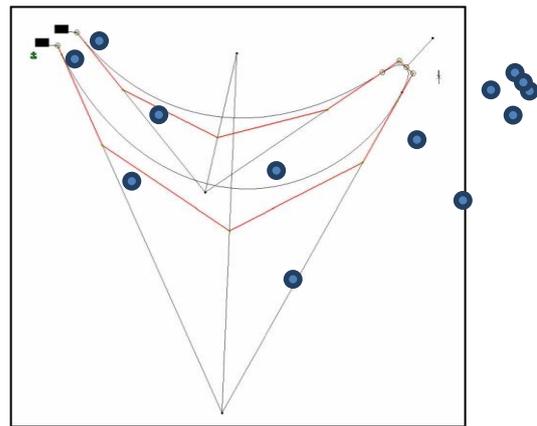
Pada Gambar 11. dan Gambar 12. terlihat bagian ujung kurva terdapat cacat dari sudu. Hal ini dikarenakan sudu tersebut telah digunakan beberapa waktu sehingga mengalami aus atau dikarenakan keterbatasan alat pemindai gambar dalam menangkap bagian kurva tersebut.

Hal tersebut di atas menjadi salah satu alasan dilakukannya penyelesaian menggunakan pendekatan metode kurva Bezier yang tujuannya menyempurnakan hasil pemindaian gambar. Prediksi

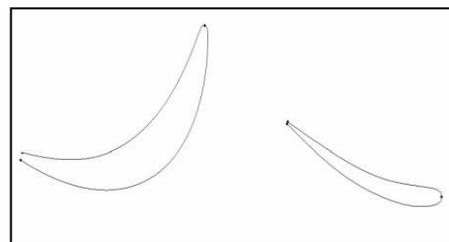
pendekatan dengan perangkat lunak Matlab pada Gambar 5 dapat digunakan untuk memprediksi letak-letak titik kurva Bezier seperti pada Gambar 14.



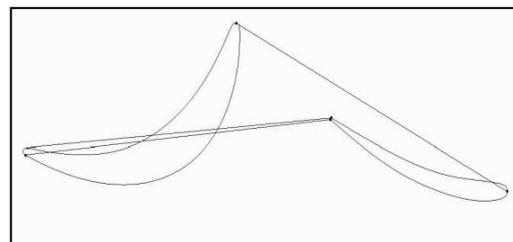
Gambar 13.
Kurva pada Gambar 12. yang telah disempurnakan dengan bantuan perangkat lunak CATIA



Gambar 14.
Kurva Bezier untuk mendekati kurva hasil ekstraksi dari pemindaian gambar dengan referensi Gambar 5.



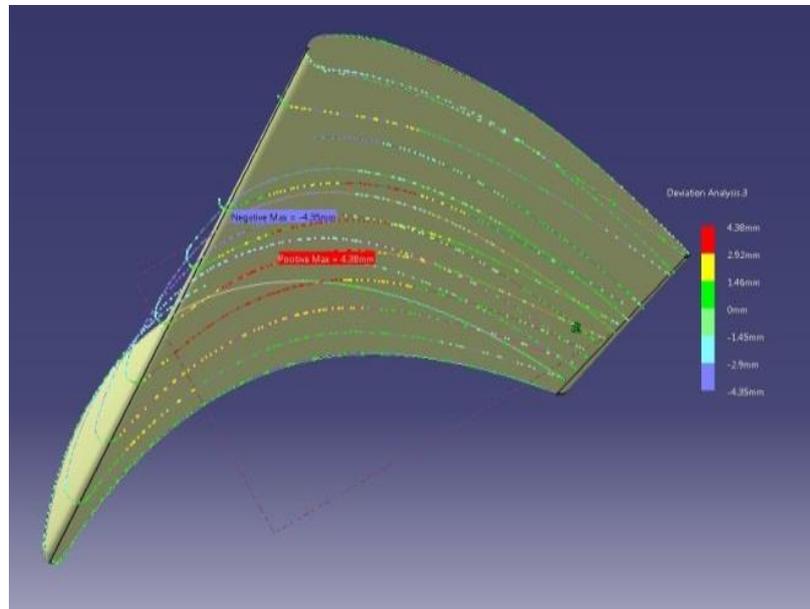
Gambar 15.
Kurva hasil pendekatan dengan kurva Bezier (pada dua bidang yaitu bidang terendah dan tertinggi dari sudu)



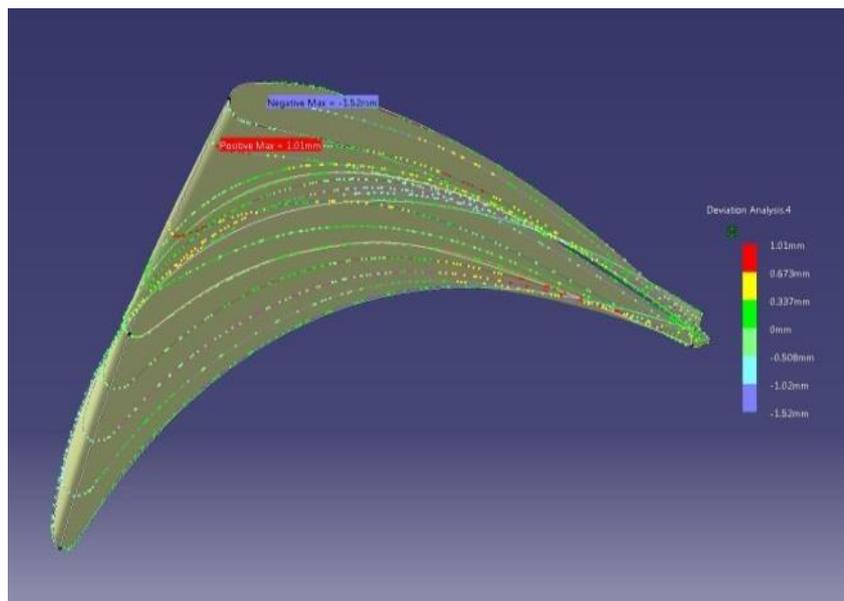
Gambar 16.
Permukaan hasil *swept* dari kurva pada Gambar 13.

Permukaan hasil *swept* seperti pada Gambar 16. kemudian dibandingkan dengan kurva hasil ekstraksi dari *point cloud* (Gambar 11). Hasil perbandingan ini diperlihatkan sebagai nilai deviasi seperti terlihat pada Gambar 17. Iterasi pertama ini menghasilkan deviasi sebesar 4.38 mm

pada tengah-tengah sudu. Hal ini dikarenakan bentuk permukaan komponen berupa *twist surface*, sehingga perlu ditambahkan lagi kurva dengan metode kurva Bezier di tengah-tengah sudu seperti pada Gambar 19.

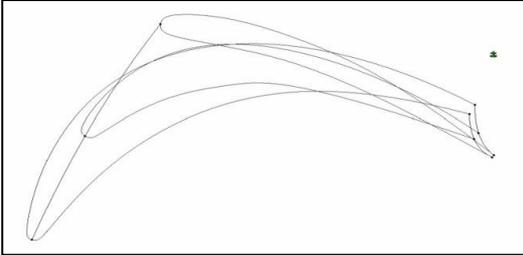


Gambar 17.
Hasil deviasi permukaan hasil *swept* dari dua kurva pendekatan Bezier dengan kurva hasil ekstraksi dari *point cloud*



Gambar 18.
Hasil deviasi permukaan hasil *swept* dari tiga kurva pendekatan Bezier dengan kurva hasil ekstraksi dari *point cloud*

Dari hasil *swept* tiga kurva pada Gambar 16. didapat deviasi dari permukaan sebagaimana terlihat pada Gambar 17. yaitu sebesar 1 mm pada daerah sebelah atas sudu.

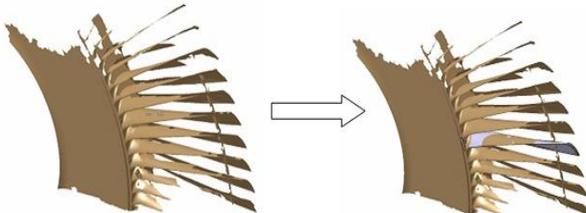


Gambar 19.
Kurva Bezier diletakkan ditambahkan lagi di tengah sudu

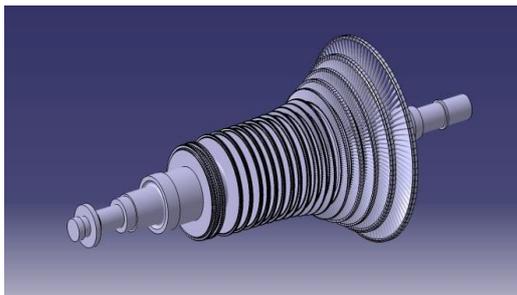
Metode ini dapat dilakukan untuk sudu turbin *stage* yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 19.

Setelah adanya penambahan kurva Bezier pada tengah sudu maka didapat geometri seperti pada Gambar 19. Dari hasil tersebut deviasi sebesar 0.03 mm pada tengah sudu, dengan demikian hasil iterasi desain geometri sudah mendekati sempurna.

Dengan analogi satu sudu pada tiap *stage* mempunyai geometri yang sama, maka penggambaran CAD-nya lebih mudah dilakukan, seperti yang terlihat pada gambar 20.



Gambar 20.
Hasil konversi dari *point cloud* ke CAD



Gambar 21.
Hasil Konversi *file photostanning* ke *file CAD*

Langkah terakhir dalam penggambaran rotor setelah sudu turbin terbentuk adalah melakukan *assembly* pada poros seperti yang terlihat pada gambar 21.

SIMPULAN DAN SARAN

Pendekatan dengan kurva Bezier untuk kasus sudu turbin menghasilkan kurva yang lebih halus (*smooth*) sehingga menghilangkan cacat akibat aus pada benda hasil pemindaian gambar. Pendekatan dengan kurva Bezier pada sudu yang berbentuk *twist* dengan tiga kurva menghasilkan deviasi 1 mm. Pendekatan dengan kurva Bezier akan mengurangi waktu yang diperlukan dalam mengkonversi *file* dalam bentuk *.stl* ke dalam bentuk CAD.

Pada penentuan titik-titik parameter pada kurva Bezier metode yang dilakukan masih menggunakan uji coba (*trial and error*) meskipun demikian metode ini lebih mudah dalam pelaksanaannya. Metode ini dapat dilanjutkan ke metode desain sudu dengan memanfaatkan pendekatan kurva Bezier dimana kurva yang dihasilkan lebih mudah diterjemahkan oleh perangkat lunak CFD dibandingkan dengan kurva *spline* sederhana. Semakin banyak kurva yang digunakan untuk kurva bantu *swept*, dimungkinkan akan mengurangi deviasi.

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mencari metode untuk mendapatkan titik-titik parameter dari kurva yang sudah ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi serta unit Pusat Teknologi Industri Permesinan – TIRBR – BPPT yang telah menyediakan fasilitas dan kesempatan bagi kami untuk melakukan penelitian ini. Demikian juga kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Wismono sebagai ahli gambar yang mempunyai jiwa seorang peneliti sehingga kami sangat terbantu dalam mengimplementasikan metode ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agfa, Intellifont Sub-System Version 2.2, AGFA, 1989.
2. Galvez, A., Iglesias, A., Cobo, A., Puig-Pey, J., and Espinola, J. *Bézier Curve and Surface Fitting of 3D Point Clouds Through Genetic Algorithms, Functional Networks and Least-Squares Approximation*. Proceedings Part II in International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA, Malaysia, 2007.
3. Barkanov, E. Introduction to Finite Element Method. Riga, 2001.
4. Chougule, V.N., Nirgude, R.N., Ghag, K.D., Madane, I.R., and Deshpande, A.S. *Fitting Spline Curves through Set of Unorganized Point Cloud Data*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, ISSN (e): 2278-1684, ISSN (p): 2320–334X, PP: 51-55, 2013.
5. Eilam, E. Reversing: Secrets of Reverse Engineering. Wiley Publishing Inc: ISBN-10:0-7645-7481-7, 2005.
6. Zeid, I. CAD/CAM: Theory and Practice. McGraw-Hill, Int Edition. USA, 1991.
7. Ma, W., and Kruth, J.P. *Parameterization of randomly measured points for least squares fitting of B-spline curves and surfaces*. Computer Aided Design, 27(9), PP 663-675, 1995.
8. Lee, I. K. *Curve Reconstruction from Unorganized points*. Original Research Article Computer Aided Geometric Design, Volume 17, Issue 2, Pages 161-177. 2000.
9. Logan, D.L. A First Course in the Finite Element Method. PWS-KENT Publishers, Boston, 1992.
10. Singh, N. *Reverse Engineering – A General Review*. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies (IJAERS), Vol II, Issue I, PP 24-29, 2012.
11. Suweca, I. W. Finite Element Method. Buku Ajar Mata Kuliah Metode Element Hingga.
12. Raja, V., and Fernandes, K.J. Reverse Engineering: An Industrial Perspective. Springer Series in Advanced Manufacturing.
13. Wang, W., Pottmann, H., and Liu, Y. Fitting B-Spline Curves to Point Clouds by Squared Distance Minimization. HKU CS Tech Report TR-2004-11.
14. Wikipedia. Point Cloud. http://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud, diakses 31 Mei, 2015.