

Pemrograman CNC 5-Axis untuk Pembuatan *Runner* Turbin Propeler berbasis *Feature*

Indra Djodikusumo^{1,a}, Ruswandi^{2,b} dan Duddy Arisandi^{3,c}

¹ Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia

² Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan No. 21, Bandung 40135, Jawa Barat, Indonesia

³ Akademi Teknik Soroako
Jl. Soemantri Brodjonegoro No. 1 Soroako 92984, Sulawesi Selatan, Indonesia

^adjodikusumo.indra@gmail.com, ^bruswandi@gmail.com dan ^cduddy_arisandi@yahoo.com

Abstrak

Runner turbin air berjenis propeler merupakan komponen utama yang berfungsi mengubah energi hidrolik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Profil sudu pada *runner* turbin propeler cenderung rumit (kompleks). Proses pembuatan *runner* dilakukan dengan menggunakan mesin *CNC Milling* 5 aksis. Mesin *CNC Milling* 5 aksis yang digunakan memiliki sumbu X, Y, Z, B dan C. Program CNC untuk mesin *CNC Milling* 5 aksis tersebut dibuat dengan menggunakan CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*). Pemrograman mesin *CNC Milling* 5 Aksis pada dasarnya adalah pendefinisian lintasan pahat (*toolpath*) berdasarkan tuntutan geometri dari model yang akan dibuat. Untuk itu diperlukan pendefinisian benda kerja terlebih dahulu. Di sini benda kerja merupakan hasil pengecoran (*one piece casting*) yang bentuknya mendekati *runner*, yang masih memerlukan proses pemesinan untuk mencapai geometri akhir. Perlu diyakini bahwa benda kerja masih memiliki ketebalan yang lebih besar dibandingkan dengan geometri akhir *runner*. Pada tahap berikutnya dilakukan perencanaan proses pengecekaman benda kerja. Setelah itu perencanaan urutan proses. Pahat untuk setiap proses harus dipilih sesuai (yang cocok) dengan proses yang akan dilakukan. Tahap berikutnya adalah *setting* mesin di perangkat CAM sehingga simulasi bisa dilakukan. Pola lintasan yang dihasilkan oleh CAD/CAM harus diujiperiksa dengan perangkat lunak simulasi yang merupakan modul dari sistem CAD/CAM yang digunakan.

Kata kunci: *runner*, sudu *runner*, *airfoil*, garis arus (*stream line*), *3D feature*, model CAD, CAD/CAM, pemrograman CNC 5-axis

Pendahuluan

Perancangan dan pemodelan *runner* turbin propeler telah selesai dilakukan dan hasilnya sedang diusulkan pada 2 makalah di *Regional Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering* yang akan diselenggarakan di Yogyakarta pada bulan November tahun 2015, di mana abstrak sudah diterima dan sedang dievaluasi *full paper*-nya [1, 2]. Pada saat yang hampir bersamaan 1 makalah lainnya sedang diusulkan ke *Journal of Engineering and Technological Sciences* di

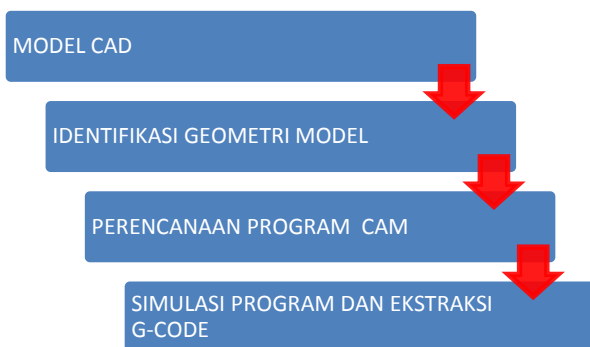
ITB [3]. Pembuatan *runner* turbin air berjenis propeler [4] yang pada saat ini sedang dilakukan adalah menggunakan mesin *milling* CNC 5-axis dengan dua sumbu tambahan yaitu sumbu B dan C. Profil dengan fitur *air foil* harus bisa dibuat dengan benar, sehingga efisiensi *runner* hasil perancangan dapat tercapai [1, 2, 3]. Pemrograman CNC dengan strategi lintasan 5-axis menjamin fitur *air foil* dapat dibuat dengan benar, dengan mengendalikan pahat berdasarkan lintasan pahat dengan kemiringan (*tilt*) sesuai dengan profil fitur yang akan dibuat [5]. Pada saat

makalah ini sedang dibuat, pemrograman CNC 5-Aksis sedang berada dalam tahap perencanaan proses pembuatan *runner*.

Metodologi

Tahapan atau proses yang dilakukan dalam perencanaan program CNC untuk pembuatan *runner* turbin propeler dilakukan berdasarkan data awal berupa model data CAD yang merupakan sumber informasi awal sebelum perencanaan proses berikutnya dilakukan, yang meliputi:

- 1) Identifikasi data geometri model yang berisikan tuntutan terhadap geometri produk yang akan dibuat.
- 2) Perencanaan program CAM yang berisikan rencana proses pemesinan yaitu:
 - a) Pahat yang digunakan (dimensi pahat yang dipakai, perhitungan parameter untuk menentukan besarnya kecepatan pemotongan, besarnya putaran pahat dan kedalaman pemotongan),
 - b) Lintasan pahat yang akan dikendalikan.
 - c) *Feature* yang dipilih sebagai data batasan geometri (*boundary*) dalam membuat lintasan program pahat (**Gambar 1**) [6].



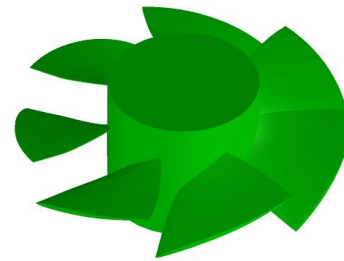
Gambar 1: Aliran proses pembuatan program CNC *runner* turbin propeler

Model CAD *Runner* Turbin Propeler

Model CAD *runner* turbin *propeler* tidak dibuat di sistem pemrograman CNC-5axis (Sistem CAM) yang digunakan di sini, namun di sistem terpisah (Sistem CAD). Untuk memudahkan komunikasi antara perangkat lunak CAD dan perangkat lunak CAM model data disimpan dalam bentuk netral, yaitu file berformat *.igs dan *.stp. Selanjutnya data

netral ini dibuka di perangkat lunak CAM (**Gambar 2**).

Model data CAD yang dibuka di perangkat lunak CAM merupakan data awal, yang menjadi acuan atau referensi data geometri yang harus dicapai pada saat pembuatan sehingga geometri produk bisa diperoleh sesuai dengan keinginan.

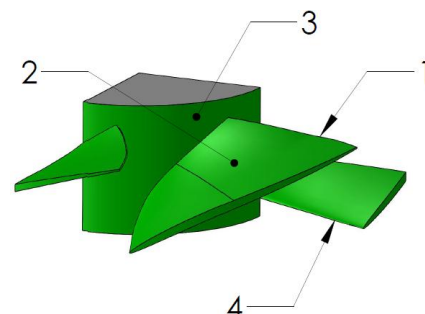


Gambar 2: Model CAD *runner* turbin propeler

Langkah awal yang dilakukan setelah mendapatkan data CAD yaitu identifikasi *feature* geometri dari *runner* turbin propeler.

Bentuk geometri sebuah *runner turbin propeler* terdiri atas:

- a) *Blade surfaces* (2) yang merupakan permukaan dengan bentuk profil *air foil*.
- b) *Hub* (3) yang merupakan diameter silinder tempat dudukan dari sebuah *blade*.
- c) *Leading edge* (1) yang merupakan sisi pengisap (*suction*) fluida air yang kemudian dialirkan pada permukaan *blade*, biasanya berbentuk radius.
- d) *Trailing edge* (4) yang merupakan sisi luar geometri *runner* (**Gambar 3**).

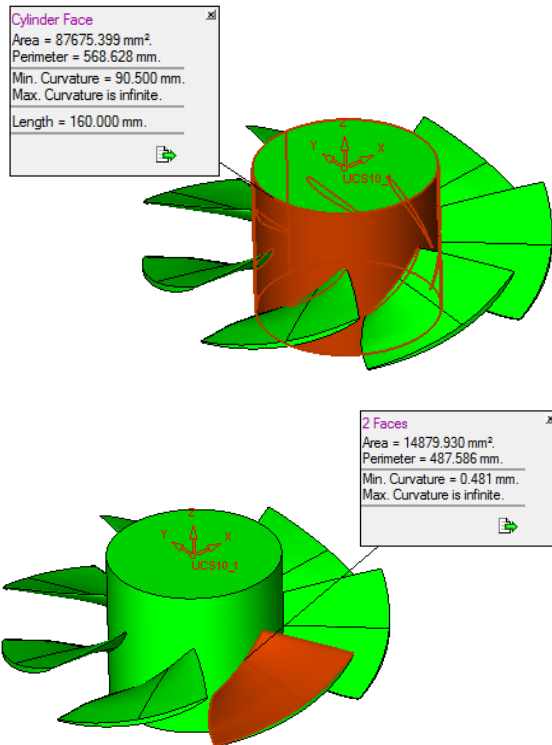


Gambar 3: Geometri model *runner*

Perencanaan proses pemesinan

Tahap yang dilakukan setelah identifikasi model geometri *runner* yaitu analisa dimensi geometri *runner* turbin propeler. Dimensi

yang harus diketahui dari model *runner* diantaranya diameter dan tinggi dari *hub* dan profil dari permukaan *blade*. Tujuan dari identifikasi dimensi geometri yaitu untuk memastikan besarnya dimensi pahat yang dipakai, yaitu panjang dan diameter serta jenis atau tipe pahat yang dipakai. Tipe pahat secara umum yang terdaftar pada program CAM yaitu pahat dengan tipe model *flat*, *ball* dan *bull nose* (**Gambar 4**).



Gambar 4: Analisis dimensi geometri model *runner* turbin propeler

Pahat yang direncanakan untuk digunakan pada percobaan adalah berjenis *carbide*, sesuai dengan material benda kerja yaitu FCD 50. Pada *runner* sebenarnya biasanya digunakan ASTM CA6NM (*Martensitic Stainless Steel*).

Tabel 1: Pahat yang dipilih [7]

No	Nama	Tipe	Diameter	length
1	Ball20-H	ball	20	120
2	Ball12-H	ball	12	120

Pahat dipilih sesuai dengan yang ditunjukkan pada **Tabel 1** karena celah (*clerance*) bebas yang masih bisa dijangkau oleh pahat dan

tidak mengganggu (merusak) sisi permukaan *blade* di dua buah sisi yang berbeda.

Berdasar **Tabel 2** proses direncanakan agar dapat menghasilkan permukaan *blade* sesuai dengan geometri model CAD yang diberikan. Untuk mendapatkan permukaan *blade* sesuai dengan model data CAD, dilakukan pemilihan karakteristik lintasan atau pergerakan pahat. Lintasan pahat yang dipilih yaitu 5 axis, dengan pertimbangan permukaan profil berbentuk *air foil*.

Karakteristik dalam pembuatan lintasan 5 axis adalah arah lintasan yang dikendalikan dan dibatasi oleh *feature* dan kondisi parameter tertentu yang diperlukan oleh kurva pengendali lintasan yang akan di buat. Karakteristik lintasan pahat 5 axis hampir mirip dengan karakteristik lintasan pahat 2.5 axis. Yang membedakan adalah pada profil permukaan model CAD yang didefinisikan.

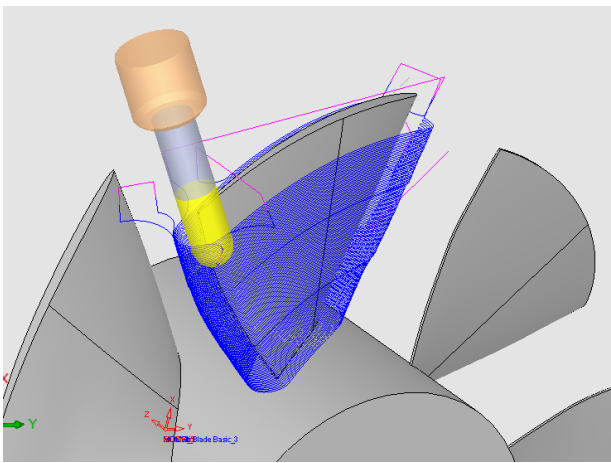
Tabel 2: Parameter pemesinan pada pahat

Parameter	Ball20-H	Ball12-H
Feed (mm/min)	350	350
Spin (Rpm)	637	1061
Vc (m/min)	40	40
Fz (mm)	0.3	0.2
Down step (mm)	0.5	0.3
Side step (mm)	5	4

Pada saat membuat lintasan pahat dengan strategi lintasan 5 axis, kunci pokok yang harus diperhatikan dari awal yaitu identifikasi geometri model yang akan dibuat program lintasannya, kemudian dilanjutkan dengan batasan geometri yang harus dipertahankan pada saat pahat bergerak (G00 ataupun G01). Pembuatan program untuk *runner* turbin propeler pada prakteknya membutuhkan waktu lama yaitu untuk pemilihan menu yang tersedia di perangkat lunak CAM yang disediakan, hal ini karena lintasan yang diinginkan tidak sesuai dengan lintasan yang didapatkan, sehingga diperlukan pemilihan perintah program untuk mendapatkan hasil sesuai dengan arah lintasan yang diinginkan. Kemudian diperlukan waktu yang cukup juga untuk menghitung (*calculate*) program

lintasan yang dibuat, untuk kasus ini diperlukan processor dari komputer yang handal atau cukup secara spesifikasi berdasar tuntutan perangkat lunak CAM yang digunakan.

Strategi pembuatan program CNC pada *runner* turbin propeler dengan jumlah *blade* yaitu tujuh buah adalah dengan membuat satu lintasan program pada satu *blade* yang mewakili geometri lainnya. Langkah ini sangat efektif karena alasan pemilihan geometri yang lebih sedikit dan juga pada saat proses menghitung (*processing and calculating*) data menjadi lebih ringan kerjanya dikomputer. Langkah ini untuk selanjutnya dibuat program duplikasi (*array program*) di mesin CNC (**Gambar 5**).



Gambar 5: lintasan pahat pada salah satu profil *air foil runner* turbin propeler

Lintasan pahat untuk pergerakan pahat *Ball12-H* dan *Ball20-H*, dapat dikeluarkan dalam bentuk waktu proses pemesinan.

Tabel 3: Data waktu proses pemesinan

	Statistik	
	<i>Ball 12-H</i>	<i>Ball 20-H</i>
<i>No. of operations</i>	1	1
<i>No. of tools</i>	1	1
<i>Total air time</i>	0:00:13	0:00:13
<i>Total feed time</i>	1:30:59	1:36:42
<i>Total time</i>	1:31:11	1:36:55

Berdasar pada **Tabel 3** total waktu proses pemesinan untuk untuk pahat ball diameter 12 dan diameter 20 memiliki selisih waktu enam menit, dimana perbedaan waktu yang ada tidak begitu signifikan.

Simulasi lintasan pahat dan ekstraksi G-Code

Setelah lintasan pahat dibuat (**Gambar 5**), pada tahap selanjutnya dilakukan simulasi pergerakan pahat. Simulasi lintasan pahat dilakukan untuk memastikan gerakan pahat sesuai dengan keinginan, sehingga kemungkinan terjadinya pahat menabrak dinding (pergerakan cepat G00) atau salah arah pada saat gerakan pemakan (G01) dapat di ketahui (diprediksi) dari awal untuk kemudian dikoreksi. Simulasi lintasan pahat untuk Mesin CNC 5-axis dilakukan dengan teknik *navigate*. Teknik *navigate* yaitu kondisi simulasi dimana pahat secara visual bergerak disepanjang lintasan pahat yang dibuat sehingga dapat dilihat kondisi pahat *lead in* dan *lead out*, pergerakan cepat untuk ganti posisi, pergerakan pemakanan, dan batasan geometri dalam rangka *material removal processing*. Ketika lintasan pahat sudah didefinisikan dan dan simulasi lintasan pahat sudah dianalisa, berikutnya sudah dapat dikeluarkan data program berupa G-Code. Pada saat ini *post processor* untuk mengekstrak G-Code untuk mesin CNC 5 axis DMU 50 DECKEL MAHO dengan control *Heidenhan iTNC530* masih dalam tahap pembuatan dan belum selesai dibuat.

Kesimpulan

Pemrograman CNC untuk pembuatan profil *air foil* pada *runner* turbin propeler dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CAM. Pemrograman 5-axis yang dilakukan berbasis fitur geometri dengan mengendalikan lintasan pahat pada permukaan yang akan dibuat sehingga pola lintasan yang dihasilkan sesuai dengan geometri *runner* yang diinginkan, dan dapat menghindari kemungkinan cacat material akibat pergerakan yang tidak diinginkan pada pahat bergerak.

Saran

Pada pembuatan program CNC 5-axis, diperlukan pemahaman terhadap program CAM untuk 2.5 axis dan 3 axis. Hal ini dapat dipahami mengingat pada pembuatan program CNC 5-axis diperlukan trik-trik yang sulit agar dapat menghasilkan lintasan pahat sesuai dengan profil fitur yang diinginkan.

Diperlukan penunjang atau *tool* untuk dapat mengekstrak G-Code yang cocok (*support*) terhadap mesin CNC 5-axis yang digunakan.

Sampai saat ini harga *post processor* masih sangat mahal sehingga menjadi tantangan untuk bisa membuat sendiri *post processor*.

Pada pembuatan program lintasan pahat untuk pembuatan *runner* turbin propeler diperlukan verifikasi data, sehingga diperlukan tahap realisasi produk yang untuk selanjutnya dapat dilakukan pengukuran terhadap produk dengan membandingkan terhadap hasil pengukuran model.

Referensi

- [1] Indra Djodikusumo, I Nengah Diasta dan Fachri Koeshardono, *The Modeling of a Propeller Turbine Runner in 3D Solid using 3D Equation Curve in Autodesk Inventor 2015*, sedang diajukan ke RCMME Yogyakarta, November 2015 (status abstrak diterima, sedang dievaluasi *full paper*-nya).
- [2] Indra Djodikusumo, I Nengah Diasta dan Iwan Sanjaya Awaludin, *Geometric Modeling of a Propeller Turbine Runner using ANSYS BladeGen, Meshing using ANSYS TurboGrid and Fluid Dynamic Simulation using ANSYS Fluent*, sedang diajukan ke RCMME Yogyakarta, November 2015 (status abstrak diterima, sedang dievaluasi *full paper*-nya).
- [3] Indra Djodikusumo, I Nengah Diasta, Iwan Sanjaya Awaludin dan Fachri Koeshardono, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, September 2015, status sedang diajukan dan menunggu hasil evaluasi.
- [4] IEC 60041, *Field Acceptance Tests to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Third Edition 1991*
- [5] Apro, Karlo, “*Secrets of 5-Axis Machining*”, *Industrial Press*, 2008.
- [6] Manual Instruction : 5X Production, Machining Technology, Cimatron E11.0
- [7] General Milling, *How to Choose Your Milling Tool*, SANDVIK Coromant.