

Jurnal Artikel

Inspeksi dan Perbaikan Blade Turbin Pada *Engine Centaur – 40* Menggunakan Metode *Grinding* Dengan Pengukuran *CMM Gauge*

Fikri Muzhaffar

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

fikrimuzhaffar040@gmail.com

*Corresponding author – Email : 1ikrimuzhaffar040@gmail.com,

Abstrak

Penelitian ini membahas metode inspeksi dan perbaikan pada bilah turbin. Untuk memperbaiki bilah turbin ini, dilakukan proses gerinda yang kemudian diukur dengan metode pengukuran Coordinate Measuring Machine (CMM) untuk melakukan pengukuran secara akurat dimensi dan sudut deviasi bilah turbin. Setelah dilakukannya proses perbaikan dan pengukuran dilakukan proses balancing untuk memastikan bahwa turbin dalam keadaan stabil untuk operasional. Hasil penelitian ini menunjukkan keefektifan proses gerinda bilah turbin yang kemudian diukur dengan metode CMM dalam proses perbaikan bilah turbin.

Kata kunci: grinding, pengukuran cmm, balancing, turbin

Abstract

This study discusses inspection and repair methods for turbine blades. To repair the turbine blades, a grinding process is carried out and then measured using the Coordinate Measuring Machine (CMM) method to accurately measure the dimensions and deviation angles of the turbine blades. After the repair and measurement process, a balancing process was carried out to ensure that the turbine was in a stable operational state. The results of this study show the effectiveness of the turbine blade grinding process which is then measured by the CMM method in the turbine blade repair process.

Keywords: grinding, cmm gauge, balancing, turbine

1. PENDAHULUAN

Bilah (*blade*) merupakan komponen penting dalam turbin gas, yang dimana komponen ini bertanggung jawab untuk mengkonversi energi termal gas bersuhu dan bertekanan tinggi menjadi energi mekanik. Namun, komponen ini sering mengalami kerusakan, salah satunya adalah *rubbing* pada ujung bilah (*blade tips*), yang diakibatkan oleh gesekan dengan *tipsoe*

ataupun komponen lainnya. Kerusakan tersebut tidak hanya berpotensi menghambat kinerja keseluruhan mesin, melainkan secara signifikan dapat mengurangi daya yang dihasilkan oleh mesin *Centaur – 40*.

Dalam perbaikan ini, metode *reblading* yang diikuti dengan teknik penggerindaan (*grinding*) dipilih secara spesifik, dikarenakan bilah turbin merupakan komponen berputar yang sangat vital terhadap kinerja dan keandalan mesin. Oleh

sebab itu, *reblading* menjadi proses penting untuk menggantikan bilah yang rusak atau aus. Selanjutnya, *grinding* diperlukan sebagai tahap penyempurnaan untuk memastikan dimensi bilah turbin yang telah dilakukan *reblading* agar mencapai toleransi yang ketat. Kombinasi *reblading* dan *grinding* ini memungkinkan kontrol presisi terhadap dimensi akhir bilah turbin, memastikan kesesuaian dengan spesifikasi yang tercantum dalam *manual book* mesin *Centaur - 40*.

Setelah proses penggerindaan, bilah turbin akan menjalani verifikasi dimensi dan kemiringan ujung bilah (*blade tips*) menggunakan metode pengukuran *Coordinate Measuring Machine (CMM) Gauge*. Pengukuran ini penting untuk memastikan bahwa semua parameter geometris telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan pada buku manual. Selain fungsi verifikasi, metode pengukuran ini juga memfasilitasi identifikasi area spesifik yang masih berada di luar batas toleransi dimensi, sehingga memungkinkan dilakukannya proses penggerindaan ulang yang terfokus dan efisien.

Setelah proses perbaikan selesai, selanjutnya dilakukan inspeksi secara visual yang menyeluruh. Tujuannya adalah untuk memastikan tidak adanya retakan residual atau cacat permukaan lain yang berpotensi membahayakan integritas dan keamanan operasional turbin.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk menguji keandalan dan efektivitas metode pengukuran *CMM*. Pemilihan metode *CMM* didasarkan pada kemampuannya untuk secara akurat menentukan dimensi diameter bilah turbin. Akurasi pengukuran ini sangat penting untuk memastikan bahwa bilah turbin beroperasi pada spesifikasi optimal, sehingga daya yang dihasilkan oleh mesin dapat tercapai secara maksimal.

Hasil dari riset ini diharapkan dapat berkontribusi sebagai referensi bagi pengembangan metode perbaikan bilah turbin di sektor industri mesin turbin gas. Referensi ini akan sangat relevan, terutama dalam mempertimbangkan aspek keamanan

operasional serta optimalisasi fungsi komponen, guna meningkatkan efisiensi dan keandalan keseluruhan sistem turbin.

2. METODE

Dalam penelitian ini bilah turbin yang dijadikan sebagai obyek penelitian adalah bilah turbin pada mesin *Centaur - 40* dengan spesifikasi seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2. 1 berikut.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Bilah Turbin Mesin *Centaur - 40*

Spesifikasi Bilah Turbin Mesin <i>Centaur - 40</i>	
Jenis Turbin	<i>Axial Turbine</i>
Jumlah Daun	61
Berat	42,12 kg
Material	<i>Inconel 718</i>

2.1 Penggerindaan

Teknik penggerindaan banyak digunakan dalam permesinan presisi untuk material yang sulit dipotong seperti inconel, titanium, baja tahan karat, dan baja perkakas karena konduktivitas termalnya yang rendah (Awale et al., 2020). *Grinding* berbeda dari operasi pemesinan konvensional lainnya dalam banyak aspek, seperti geometri pahat, area kontak yang luas dan gesekan yang tinggi antara pahat dan benda kerja, serta kebutuhan energi spesifik yang tinggi. Energi spesifik dalam penggilingan satu orde lebih tinggi daripada proses pemesinan konvensional lainnya seperti pembubutan dan penggilingan (*grinding*) (Paul & Chattopadhyay, 1995). Pada suatu peralatan atau mesin dapat dipastikan bahwa terdapat banyak komponen yang bergerak baik dalam bentuk gerakan angular maupun gerakan linear. Seperti halnya pada *moving blade* turbin uap terdapat shaft yang berputar secara cepat. Bantalan luncur (*bearing*) menjadi komponen paling tepat untuk mengurangi koefisien gesek. Terdapat beberapa material yang digunakan untuk pembuatan *bearing*. *Grinding* menjadi solusi untuk dapat mengurangi koefisien gesek pada poros yang berputar dengan putaran tinggi (Reza Hermawan et al.,

2018). Proses ini sangat relevan dan sesuai untuk mengkoreksi kelebihan dimensi yang berpotensi menurunkan efisiensi aerodinamis serta kinerja keseluruhan dari bilah.

Tabel 2. 2 Parameter Penggerindaan
Parameter Penggerindaan

Parameter Penggerindaan	
Jenis Batu Gerinda	Tyrolit ZT 054 Type No: 71900 <i>General Purpose Flexible Wheels</i> (27).
Grit Batu Gerinda	24 – 60 (<i>Roughness</i>)
Diameter Batu Gerinda	150 x 25 x 22 mm

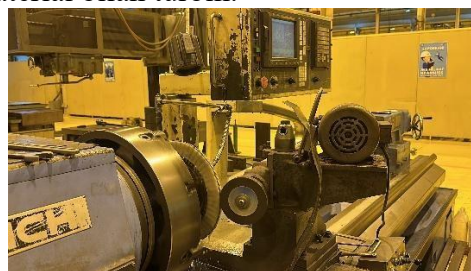
Prosedur penggerindaan dimulai dengan *Rigidex*, yakni pengaplikasian lilin pada bilah turbin, dimana ini bertujuan agar bilah turbin tidak goyang ketika proses penggerindaan, sehingga mencegah adanya pergerakan yang tidak diinginkan selama proses. Setelah itu, turbin dipasang pada mesin gerinda, dimana didahului dengan proses penyesuaian (*run out*) antara turbin dan alat penggerinda untuk memastikan keselarasan pada porosnya. Operator kemudian akan secara presisi menentukan kecepatan putaran dan laju pemakanan material (*depth of cut*) yang optimal pada bilah turbin. Keputusan ini akan secara langsung memengaruhi kualitas hasil akhir penggerindaan.

Sepanjang proses penggerindaan, cairan *coolant* akan terus – menerus dialirkan untuk mengendalikan suhu selama proses, hal ini bertujuan untuk mencegah panas berlebih yang dapat mengubah atau bahkan merusak karakteristik metalurgi material bilah.

Setelah tahap persiapan selesai, operator memulai pelaksanaan proses penggerindaan. Proses ini dilakukan dengan teknik aplikasi yang presisi, dimana mesin akan bergerak secara otomatis mengikuti koordinat yang telah ditentukan sebelumnya oleh operator. Dalam konteks ini, keahlian operator menjadi sangat penting, terutama dalam menentukan koordinat pemakanan gerinda secara akurat agar tidak melampaui batas toleransi minimum. Selain itu, pengendalian kecepatan dan sudut aplikasi yang tepat

juga merupakan faktor penentu keberhasilan untuk mencapai hasil akhir yang diinginkan.

Proses penggerindaan harus dilakukan secara bertahap dan terukur. Pendekatan ini penting untuk mencegah adanya panas berlebih, yang dapat mengakibatkan deformasi material dan merusak struktur material bilah turbin.



Gambar 2. 1 Proses Pgerindaan

2.2 Pengukuran CMM

Mesin pengukur koordinat (CMM) adalah sistem mekanis yang menggerakkan probe pengukur untuk menentukan koordinat titik-titik pada permukaan benda kerja. CMM terdiri dari: mesin itu sendiri; probe pengukur; sistem kontrol, dan perangkat lunak pengukuran. CMM merupakan kontrol kualitas yang berharga untuk manufaktur, presisi dan pengulangannya harus lebih baik daripada toleransi komponen yang diperiksa (Alagu Sundara Pandian et al., 2016).

Pengukuran CMM dimulai dengan proses pengambilan titik (*sampling*), dimana CMM secara akurat menyentuh atau memindai permukaan bilah turbin pada banyak titik. Hasil dari tahap ini adaah sekumpulan data koordinat tiga dimensi (*clous of points*) yang merepresentasikan bentuk aktual komponen. Selanjutnya, berdasarkan data titik tersebut, perangkat lunak CMM akan melakukan pembentukan permukaan teoritis dengan membuat model matematis (seperti bidang, silinder, atau bentuk ideal lainnya) yang akan berfungsi sebagai referensi untuk mendeteksi deviasi.

Tahap berikutnya adalah definisi virtual *gauge*, dimana CMM menciptakan pengukuran virtual berupa permukaan teoritis (*elementary gauge*). *Gauge* ini dapat beroperasi sebagai *fitter gauge* yang menyesuaikan diri dengan permukaan

aktual, atau sebagai *limiter gauge* yang berfungsi sebagai batas tetap untuk memeriksa kesesuaian toleransi. Kemudian, dilakukan pemasangan *gauge* bertingkat (Prioritas *Fitting*) secara bertahap.

Setelah *gauge* dipasang, perangkat lunak akan melakukan perhitungan deviasi dengan menghitung delisih antara titik aktual dan permukaan *gauge*. Untuk *fitter gauge*, mengukur seberapa besar penyesuaian yang diperlukan, sedangkan untuk *limiter gauge*, untuk memverifikasi apakah dimensi aktual masih dalam batas toleransi. Proses dilanjutkan dengan verifikasi toleransi geometri, dimana sistem mengevaluasi apakah bentuk, ukuran, dan posisi fitur bilah turbin memenuhi standar desain. Jika *gauge* tidak dapat dipasang sesuai aturan standar toleransi, maka komponen dianggap tidak memenuhi syarat. Terakhir, sistem akan menghasilkan *output* hasil inspeksi berupa laporan yang mencakup nilai dimensi aktual, besarnya deviasi bentuk, dan status kelulusan/kegagalan terhadap toleransi geometrik yang telah ditentukan (De & Savoie, n.d.).



Gambar 2. 2 Proses Pengukuran CMM

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Koreksi Dimensi Linear Bilah Turbin

Berdasarkan spesifikasi yang termuat dalam buku manual, dimensi linear ideal untuk bilah turbin telah ditetapkan dalam rentang toleransi 19,693 – 19,699 inci. Pada kondisi awal inspeksi, bilah turbin yang diuji tercatat memiliki dimensi 19,7206 inci.

Gambar 3. 1 Kondisi Awal Inspeksi Turbin Berdasarkan laporan inspeksi diatas, didapatkan dimensi awal turbin melebihi batas toleransi maksimum yang diizinkan. Untuk mengoreksi adanya kekeliruan ini, proses penggerindaan diaplikasikan dengan tujuan mengurangi dimensi bilah hingga masuk ke dalam rentang spesifikasi buku manual.

Hasil proses penggerindaan ini dirangkum dalam Tabel 3. 1, yang menunjukkan perbandingan dimensi sebelum dan sesudah perlakuan.

Tabel 3. 1 Dimensi Turbin

Dimensi Sebelum di Gerinda	Referensi Manual	Dimensi Setelah di Gerinda
19,7206 in	19,693 – 19,699 in	19,699 in

Setelah dilakukan penggerindaan, dimensi bilah turbin berhasil menyentuh angka 19,699 inci. Nilai ini secara tepat berada pada batas atas rentang toleransi yang diizinkan, mengindikasikan bahwa proses koreksi dimensi telah berhasil dilaksanakan. Pencapaian dimensi yang sesuai ini merupakan syarat penting sebelum melanjutkan ke tahapan verifikasi geometris yang lebih lanjut.

3.2 Verifikasi Sudut Kemiringan Ujung Bilah dengan CMM

Setelah dimensi linear bilah turbin berhasil dikoreksi, proses selanjutnya adalah verifikasi parameter geometris yang lebih kompleks, yaitu sudut kemiringan ujung bilah (*blade tips*), menggunakan CMM. Berdasarkan referensi buku manual, menetapkan batas toleransi untuk sudut

kemiringan ujung bilah diantara 12” 07” 52” dan 13” 07” 52”.

Pengukuran *CMM* yang dilaksanakan setelah proses penggerindaan menghasilkan data yang dapat diketahui yaitu 13 07” 52”. Hasil ini secara presisi berada pada batas toleransi yang diizinkan, menegaskan bahwa sudut kemiringan bilah telah berhasil disesuaikan dan memenuhi syarat dimensi yang ada pada buku manual. Pencapaian akurasi sudut ini merupakan efek langsung dari proses pengerindaan sebelumnya, yang tidak hanya mengoreksi dimensi linear tetapi juga memengaruhi geometri keseluruhan bilah.

3.3 Balancing Turbin

Proses *balancing* turbin diawali dengan proses perakitan turbin ke turbin shaft. Kemudian dilanjutkan dengan proses *run out* (bagian *journal*, *blade*, hingga *labirin seal*), dimana ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian bentuk pada bagian tersebut berada pada konsentrisitas atau berada pada pusat rotasi yang ideal. Selain itu, proses ini memastikan bahwa semua bagian pada komponen berputar berada di sumbu rotasi yang sama atau berpusat pada sumbu yang benar.

Setelah proses *run out* selesai dan dinyatakan turbin dalam konsentrisitas yang baik, turbin di tempatkan pada alat balancing turbin. Dimana dilakukan dengan menmpatkan turbin shaft pada penyangga yang memiliki koefisien gesek rendah, yang kemudian diberikan pelumas pada setiap sisi penyangga untuk memastikan kelancaran dan kehalusan rotasi.

Setelah proses persiapan, mesin *balancing* mulai beroperasi, diputar dengan kecepatan sesuai dengan ketentuan. Proses ini dilakukan berulang untuk mengamati pola putaran dan getaran pada turbin.

Tabel 3. 2 Tabel Balancing Pertama

Measuring Results, Run: 1			
Rotor ID			
Measuring Speed	1201 rpm		
Unbalance			
Correction Plane 1	3598,62 g·mm	139°	62,5°Tol
Correction Plane 2	1208,02 g·mm	314°	21,0°Tol
Correction			
CP 1 – Mass (Remove)	18,0 g	139°	62,5°Tol
CP 2 – Mass (Remove)	6,04 g	314°	21,0°Tol
<u>Rotor out of tolerance</u>			

Tabel 3. 3 Tabel *Balancing* akhir

Measuring Results, Run: 23			
Rotor ID			
Measuring Speed	1200 rpm		
Unbalance			
Correction Plane 1	19,44 g·mm	246°	in Tol
Correction Plane 2	5,64 g·mm	185°	in Tol
Correction			
CP 1 – Mass (Remove)	97,2 mg	246°	in Tol
CP 1 – Mass (Remove)	28,2 mg	185°	in Tol
<u>Rotor in tolerance</u>			

Berdasarkan tabel hasil *balancing* diatas, didapatkan turbin pada disk 1 dan disk 3 dikurangi bebannya dengan cara penggerindaan manual, sehingga ketidakseimbangan bobot menjadi 97,2 mg pada disk 1 dan 28, 2 mg pada disk 3. Dari pengurangan beban tersebut didapatkan hasil yang berada pada toleransi hasil *balancing* yaitu 19,44 g·mm dan 5,64 g·mm dengan toleransi maksimum sebesar 57,60 g·mm.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas antara proses penggerindaan dan pengukuran *CMM* dalam proses perbaikan bilah turbin jenis *Axial Turbine*. Proses ini

meungkinkan untuk mengukur dimensi dan sudut deviasi bilah turbin secara sangat akurat dan efisien. Proses balancing juga memastikan bahwa turbin dalam keadaan stabil untuk operasional setelah dilakukan perbaikan dan koreksin terhadap beban turbin.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alagu Sundara Pandian, A., Irudhayaraj, R., Suresh, K., Johnstephen, R., & Palani, S. (2016). Design and development of industrial receiver gauge in coordinate measuring machine for reducing inspection time. *International Journal of Control Theory and Applications*, 9(9), 3783–3796. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84991711583&partnerID=40&md5=2237ef39920909de29acb237b9028380>
- Awale, A. S., Vashista, M., & Khan Yusufzai, M. Z. (2020). Multi-objective optimization of MQL mist parameters for eco-friendly grinding. *Journal of Manufacturing Processes*, 56(April), 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.069>
- De, L., & Savoie, U. De. (n.d.). *THE « GAUGE MODEL »: A NEW APPROACH FOR COORDINATE MEASUREMENT* Eric Pairel.
- Paul, S., & Chattopadhyay, A. B. (1995). A study of effects of cryo-cooling in grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35(1), 109–117. [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(95\)80010-7](https://doi.org/10.1016/0890-6955(95)80010-7)
- Reza Hermawan, M., Tatigan, B., & Dedi Lazuardi, dan. (2018). *Characterization of Babbitt in Steam Turbine Sliding Bearings*. 11–017.