

GEOMETRIC INSPECTION OF PRIMARY AIR FAN ROTOR BLADES USING A LASER SCANNER MEASURING INSTRUMENT

(Inspeksi Geometrik Sudu *Rotor Primary Air Fan* Dengan Alat Ukur Laser Scanner)

Brilliant Dwinata^{1*}

ABSTRACT

New technology related to geometry inspection instruments that have the characteristics of good accuracy, speed, and flexibility are done on Coordinate Measuring Machine. The use of a laser scanner as a measuring instrument has the advantage of the speed of acquisition so that it is suitable for inspecting components that have a complex surface. In this study, the profile measurement method in the Primary Air Fan rotor blade component which was classified as one of the turbo engines was examined. The focus of this research is the description of the tolerance inspection process line profile in general turbo engine blades, specifically the Primary Air Fan blade of the 660 MW Steam Power Plant with refer to the ISO TR 5460 using a 3D laser scanner measuring instrument. ISO TR 5460 is a technical report standard that contains guidelines for verifying geometry tolerance that are described at ISO 1101. The process of inspection of line profile geometry on turbo engine blades with 3D laser scanner measuring instruments generally works by comparing the reference data with measured data. Reference data is a CAD model while measured data is point clouds that have been carried out triangulation / meshing process obtained from the measurement results of measuring objects. The results of the inspection of the line profile tolerance on the Primary Air Fan blade indicate that in each section it was declared not passed the inspection.

Keywords: Geometrical inspection, line profile tolerance, laser scanner, turbo engine blade, Primary Air Fan.

PENDAHULUAN

Dalam era persaingan industri manufaktur yang ketat, tren pengembangan komponen bersifat *high variety*, *high complexity*, dan *low volume*. Salah satu contohnya adalah komponen sudu pada mesin turbo. Mesin turbo merupakan mesin yang mentransfer energi antara fluida kerja dan sudu. Fungsi dari mesin turbo adalah mesin yang berfungsi untuk memanipulasi energi dan kecepatan fluida kerja melalui sudu, sehingga pengendalian

¹ Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

*Corresponding author:
brilliant.dwinata@lecture.unjani.ac.id

geometri permukaan sudu yang tergolong kompleks ini perlu dilakukan dengan baik agar sudu dapat berfungsi sesuai dengan *design intent* (Vukašinovic, 2010). Begitu pula perkembangan teknologi instrumen pengukuran untuk proses inspeksi penyimpangan geometri perlu menyesuaikan untuk menjamin karakteristik geometri dari suatu komponen sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan (Cogorno, 2011). Hal ini menuntut proses inspeksi yang memiliki kecermatan, ketelitian, ketepatan, kecepatan, serta fleksibilitas yang lebih baik.

Penyimpangan geometri pada komponen sudu mesin turbo secara umum diklasifikasikan menjadi dua yakni penyimpangan ukuran (linier dan angular) dan penyimpangan karakteristik geometri (bentuk, orientasi, posisi, profil) (Setyawan, 2016). Instrumen pengukuran atau metoda pengukuran konvensional untuk proses inspeksi geometri umumnya bersifat spesifik, artinya hanya dapat mengukur salah satu penyimpangan geometri saja, contohnya: *Vernier caliper* hanya dapat mengukur penyimpangan dimensi linier, *bevel protactor* hanya dapat mengukur penyimpangan angular, kaliber *GO-NOT GO* hanya dapat menginspeksi ukuran pin dan lubang, *dial indicator* sebagai alat ukur pembanding yang digunakan untuk mengukur penyimpangan geometri tertentu, dan sebagainya (Kalpakjian, 2016).

Dalam kaitannya dengan proses inspeksi geometri pada komponen sudu mesin turbo, penggunaan instrumen pengukuran konvensional untuk proses inspeksi menyebabkan tingginya biaya inspeksi dan produktifitas yang rendah. Penggunaan instrumen pengukuran konvensional sulit untuk diaplikasikan untuk menginspeksi karakteristik geometri pada fitur permukaan sudu yang kompleks (Ding, 2016). Selain itu, terdapat beberapa karakteristik geometri yang terdapat pada komponen sudu mesin turbo, sehingga dibutuhkan banyak instrumen ukur dan memerlukan waktu inspeksi yang lama jika menggunakan instrumen pengukuran konvensional (Martínez, 2008). Teknologi baru terkait instrumen inspeksi geometri yang memiliki sifat kecermatan, ketelitian, ketepatan, kecepatan, serta memiliki fleksibilitas yang baik untuk mengukur berbagai karakteristik geometri pada suatu komponen dapat dilakukan pada Mesin Ukur Koordinat (*Coordinate Measuring Machine*). Terdapat dua sensor ukur pada mesin ukur koordinat, yakni: sensor kontak (*touch probe*) dan sensor non kontak (*laser probe*). Sensor kontak merupakan instrumen ukur yang paling umum digunakan di industri karena kecermatan, ketelitian, ketepatan, serta fleksibilitas pengukuran yang baik. Kelemahan utama dari sensor kontak adalah waktu operasi yang tinggi ketika jumlah akuisisi titik pengukuran yang dilakukan sangat banyak karena kompleksitas permukaan komponen

yang tinggi. Sensor non- kontak memiliki kelebihan kecepatan akuisisi titik pengukuran yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan sensor kontak sehingga lebih sesuai untuk menginspeksi komponen yang memiliki permukaan yang kompleks(Cogorno, 2011).

Dalam penelitian ini, dikaji metode pengukuran profil pada komponen sudu rotor *Primary Air Fan* yang tergolong sebagai salah satu mesin turbo. Proses inspeksi geometri sudu dilakukan pada *airfoil* yang merupakan penampang sudu. Jenis pengendalian geometri yang diterapkan untuk menjamin fungsi dari sudu adalah toleransi profil garis.

Penelitian ini berikut bertujuan dalam menjabarkan berkenaan proses inspeksi toleransi profil garis pada umumnya sudu mesin turbo, khususnya sudu *Primary Air Fan* PLTU 660 MW dengan mengacu pada ISO TR 5460 dengan alat ukur 3D *laser scanner*.

METODE

Secara umum metode penelitian yang dilakukan dalam penyusunan karya tulis ini menggunakan cara-cara sebagai berikut:

1. Studi pustaka

Mempelajari buku-buku mengenai pendimensian dan pentoleransian geometri, standard pengukuran toleransi profil garis, mekanika fluida dan perpindahan panas pada mesin turbo, serta mempelajari dokumen-dokumen teknis *Primary Air Fan* 660 MW.

2. Pengumpulan data

Data pengukuran diperoleh dari proses pengukuran menggunakan alat ukur laser scanner yang berupa point clouds.

3. Pengolahan data

Data-data tersebut dijadikan masukan untuk diolah dan dilakukan pemodelan dan simulasi inspeksi geometri profil garis

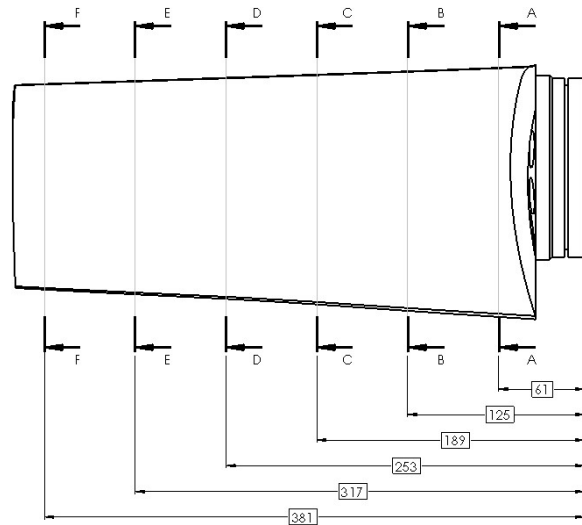
4. Analisis

Analisis mengenai hasil pengukuran dan pengkajian faktor-faktor yang mempengaruhi penyimpangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Inspeksi Toleransi Profil Garis

Hasil inspeksi toleransi profil garis dituangkan pada setiap *section* penampang sudu *airfoil*. Berikut adalah gambar yang berisikan keterangan mengenai penerapan toleransi profil garis pada sudu rotor *primary air fan*.

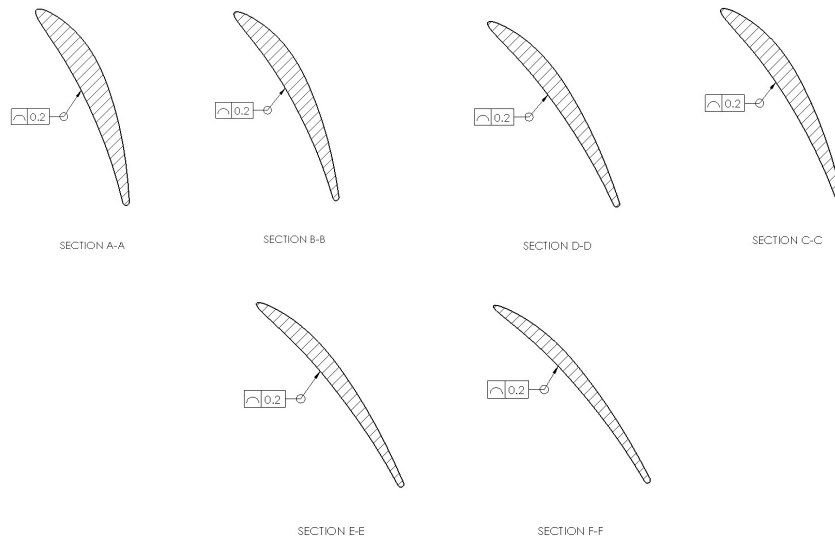


Gambar 1: Lokasi section penerapan toleransi profil garis

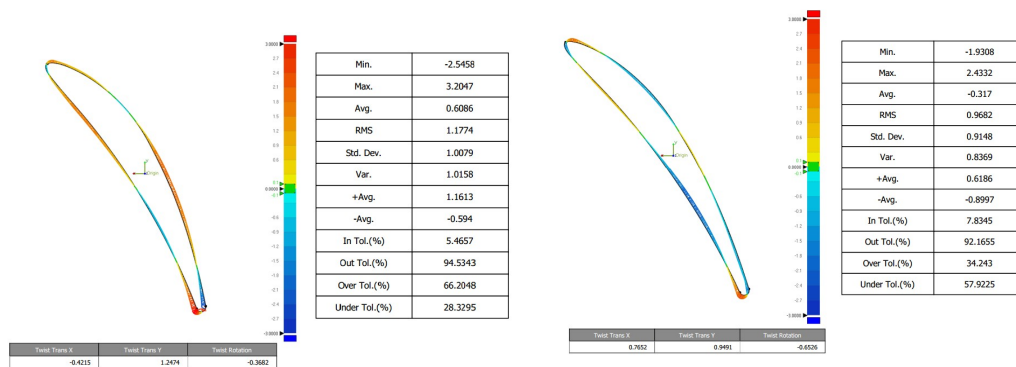
Berdasarkan pada gambar 1 menunjukkan bahwa posisi dari setiap section dengan view atas yang tiap-tiap *section* memiliki jarak tersendiri dari sudu rotor *primary* A:61, B:125, C:189, D:253, E:317, F:381. Berikutnya pada gambar 2 diilustrasikan posisi tiap section dengan persamaan yang sama yakni 0,2 yang memiliki posisi pada titik berbeda tiap *section*.

Inspeksi penyimpangan profil dari *section* dengan histogram, dalam contoh ialah Section A-A dengan nilai 5,751 mm merepresntasikan section yang lain memiliki hasil inspeksi yang sama.

Section A-A (D = 1330 mm)



Gambar 2: Penerapan toleransi profil garis setiap *section*



Gambar 3. Hasil inspeksi penyimpangan profil garis *section A-A* dan *B-B*

Dari informasi diatas dapat diketahui bahwa total penyimpangan adalah:

$$\delta_{tot} = |\delta_{max} - \delta_{min}| = \text{section A } |3.205 - (-2.546)| = 5.751 \text{ mm}$$

$$\text{Section B } |2.433 - (-1.931)| = 4.364 \text{ mm}$$

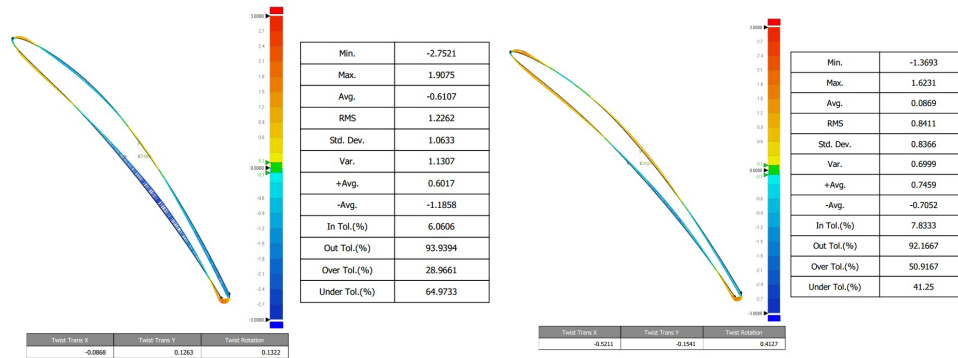
$$\text{Section C } |1.901 - (-2.752)| = 4.653 \text{ mm}$$

$$\text{Section D } |1.623 - (-1.369)| = 2.992 \text{ mm}$$

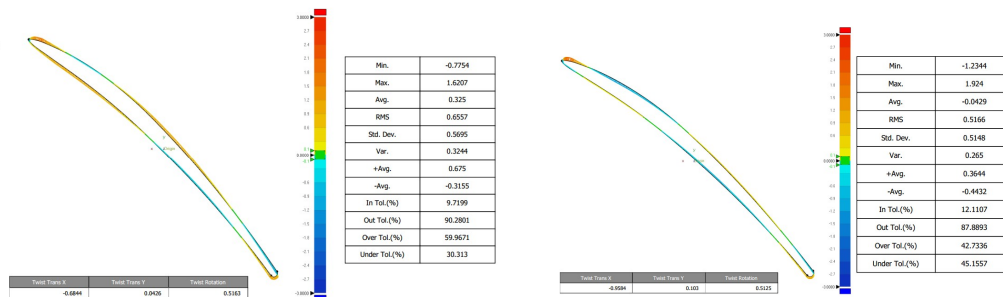
$$\text{Section E } |1.621 - (-0.775)| = 2.396 \text{ mm}$$

$$\text{Section F } |1.924 - (-1.234)| = 3.158 \text{ mm}$$

Dengan besar toleransi profil garis yang diizinkan sebesar $t = 0.2 \text{ mm}$ dan $\delta_{tot} > t$, maka *section A-A, B-B, C-C, D-D E-E, F-F tidak lolos inspeksi.*



Gambar 4. Hasil inspeksi penyimpangan profil garis *section C-C* dan *D-D*

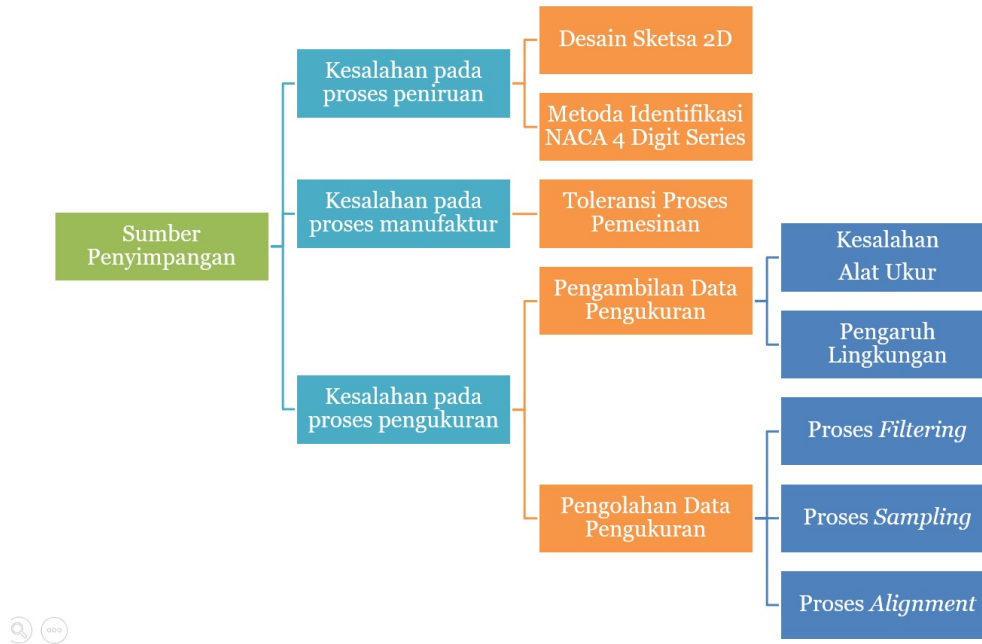


Gambar 5. Hasil inspeksi penyimpangan profil garis *section E-E* dan *F-F*

Berdasarkan data hasil inspeksi geometri profil garis pada sudu *Primary Air Fan* PLTU 660 MW seluruh *section* tidak lolos inspeksi atau memiliki penyimpangan total yang jauh melebihi batas toleransi yang diizinkan. Hal ini dipengaruhi berbagai macam hal, diantaranya seperti pada Gambar 6.

Dalam analisis pembahasan dari inspeksi toleransi profil garis hasil terbagi dalam tiga bagian besar yakni yang pertama Kesalahan dalam proses peniruan terdapat 2 point yakni Desain Sketsa 2D. dalam pendeketana titik-titik pengukuran dilakukan untuk membuat sketsa airfoil pada setiap *section* terbagi dalam 3 bagian Bagian pertama adalah *upper & lower airfoil* menggunakan metoda *spline*. Bagian kedua adalah *leading edge* dan bagian ketiga adalah *trailing edge* dimana keduanya dilkanukan pendekatan menggunakan metoda *3 point arc*. Pendekatan pada bagian kedua dan ketiga dilakukan secara manual dengan kendali visual dalam penyesuaian variasi radius pada *3 point arc*. Hal ini dapat menyebabkan ketidakpastian geometri pada *leading edge* dan *trailing edge* yang berdapak penurunan akurasi pada tahap identifikasi parameter *NACA 4 Digit Series*. Point berikutnya ialah metoda *NACA*

4 digit Series Peneliti melihat bahwa pada metoda identifikasi *NACA 4 Digit Series*, terdapat dua hal yang menyebabkan ketidaktepatan identifikasi *NACA 4 Digit Series*. Perbedaan ketebalan pada titik lokasi ketebalan maksimum sebesar ± 1.8 mm yang menyebabkan penyimpangan geometri *airfoil*.



Gambar 6. Sumber-sumber penyimpangan

Tabel 1. Tipikal toleransi dimensi pada proses pemesinan

General Characteristics of Machining Processes and Typical Dimensional Tolerances		
Process	Characteristics	Typical dimensional tolerances, \pm mm
Turning	Turning and facing operations on all types of materials, uses single-point or form tools; engine lathes require skilled labor; low production rate (but medium-to-high rate with turret lathes and automatic machines) requiring less skilled labor	Fine: 0.025–0.13 Rough: 0.13
Boring	Internal surfaces or profiles with characteristics similar to turning; stiffness of boring bar important to avoid chatter	0.025
Drilling	Round holes of various sizes and depths; high production rate; labor skill required depends on hole location and accuracy specified; requires boring and reaming for improved accuracy	0.075
Milling	Wide variety of shapes involving contours, flat surfaces, and slots; versatile; low-to-medium production rate; requires skilled labor	0.013–0.025
Planing	Large flat surfaces and straight contour profiles on long workpieces, low-quantity production, labor skill required depends on part shape	0.08–0.13
Shaping	Flat surfaces and straight contour profiles on relatively small workpieces; low-quantity production; labor skill required depends on part shape	0.05–0.08
Broaching	External and internal surfaces, slots, and contours; good surface finish; costly tooling; high production rate; labor skill required depends on part shape	0.025–0.15
Sawing	Straight and contour cuts on flat or structural shapes; not suitable for hard materials unless saw has carbide teeth or is coated with diamond; low production rate; generally low labor skill	0.8

Kedua kesalahan pada proses manufaktur (toleransi Proses Pemesinan), Sudu *Primary Air Fan* memiliki fitur permukaan yang kompleks. Fitur permukaan kompleks dapat dibuat

melalui proses *CNC Milling 5 axis* dimana pada proses tersebut umumnya memiliki toleransi geometri sebesar 0.013-0.025 mm. Proses manufaktur sudu *Primary Air Fan* merupakan salah satu sumber penyimpangan toleransi profil garis dengan penyimpangan sebesar 0.013-0.025 mm.

Terakhir, Kesalahan proses pengukuran (*measured data*)

- Kesalahan alat ukur

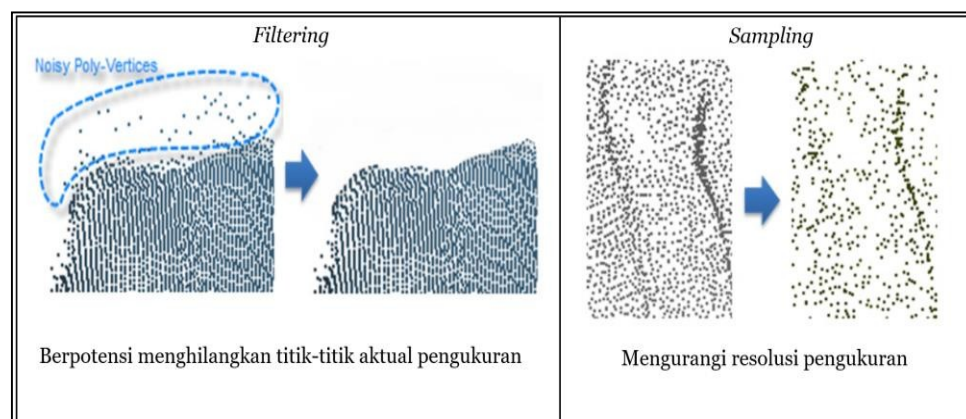
Berdasarkan penelitian ketidakpastian pengukuran *lasser scanner* (Vukašinovic,2011) diketahui bahwa ketidakpastian maksimum sekitar 0.02 mm.

- Pengaruh lingkungan

Debu dan serpihan logam halus pada permukaan benda ukur akan “dirasakan” oleh sensor alat ukur cermat. Debu halus di udara pun berpotensi menghasilkan banyaknya noise pada *point clouds*. Selain itu fluktuasi temperature juga menyebabkan ketidakpastian dalam proses pengukuran.

- Kesalahan proses pengolahan data pengukuran (*filerting* dan *sampling*)

Proses filtering pada pemindaian untuk mendapatkan *point clouds* bertujuan untuk mengeliminasi *noise* akibat gangguan yang disebabkan oleh pengaturan cahaya yang kurang baik pada saat pemindaian. Sedangkan proses *sampling* merupakan proses pengurangan jumlah *point clouds* berdasarkan kurvatur untuk mereduksi data yang berlebihan. Kedua proses tersebut dapat berpotensi menghilangkan titik-titik aktual pengukuran sehingga menurunkan akurasi pengukuran *point clouds* pada *measured data*.



Gambar 7. *Filtering* dan *sampling*

KESIMPULAN

Bersumberkan data proses inspeksi toleransi profil garis menggunakan mesin ukur koordinat berbasis sensor non kontak yang mengacu pada ISO TR 5460 (Verification Principles and Method) pada *primary air fan* PLTU 660 MW yang dijabarkan di atas menyatakan bahwasanya keseluruhan section dari A-A hingga F-F tidak memenuhi standar dari ISO TR 5460 yang bisa dinyatakan bahwa *primary air fan* PLTU 660 MW tidak ada satupun yang lolos inspeksi. Hal berikut dikarenakan sejumlah hal yakni Kesalahan dalam proses peniruan, Kesalahan dalam proses Manufaktur, serta kesalahan pada proses pengukuran. Maka daripada hal itu penelitian berikut memberi saran untuk melaksanakan penelitian sejenis perlu dilakukan perencanaan sudut dan jarak pemindaian yang seksama pada objek pemindaian untuk meminimalisasi ketidakpastian pemindaian. Ketidakpastian pemindaian sangat dipengaruhi oleh parameter jarak dan sudut pemindaian. Berikutnya perlu adanya perbaikan metode *rekayasa peniruan* pada sudu *primary air fan*.

DAFTAR PUSTAKA

- Cogorno, G. R. (2011). *Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design 2nd Ed.* New York: Mc Graw Hill.
- Ding, L.-j. (2016). *CAD-Based Path Planning for 3D Laser Scanning of Complex. 2nd International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence (ICCC-2016).* Odisha.
- Henzold, G. (2006). *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection 2nd Ed.* Amsterdam: Elsevier Ltd.
- ISO 1101: *Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical Tolerancing - Tolerances of Form, orientation, location, and run-out.* (2017). Switzerland: International Standard Organization.
- ISO/TR 5460: *Technical drawings - Geometrical tolerancing - Tolerancing of form, orientation, location and run-out - Verification principles and methods - Guidelines.* (1985).
- Kalpakjian, S. (2016). *Manufacturing Processes for Engineering Materials (6th Edition).* Pearson.
- Lewis, R. (1996). *Turbomachinery Performance Analysis.* Newcastle: Elsevier Science & Technology Books.

- Martínez, S. (2008). Comparison between non contact and contact scanning systems for dimensional control. *Second International Conference on Multidisciplinary Design Optimization and Applications*,. Gijon.
- Petitcuenot, M. (2015). ISO specifications of complex surfaces: Application on aerodynamic profiles. *13th CIRP conference on Computer Aided Tolerancing*. Elsevier.
- Setyawan, S. (2016). *Rekayasa Peniruan Geometrik Sudu Primary Air Fan PLTU 660 MW*. Bandung.
- Vukašinovic, N. (2010). *A new method for defining the measurement-uncertainty model of CNC laser-triangulation scanner*. *Int J Adv Manuf Technol (2012) 58:1097– 1104*
- Groh, B., Rylander, C. G., Cullinan, M., & Behera, D. (2023, June). Project-Focused Redesign of a First-Year Engineering Design Course for CAD and CAM in a Modern Era. In *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*.
- Leach, R. K., Bourell, D., Carmignato, S., Donmez, A., Senin, N., & Dewulf, W. (2019). Geometrical metrology for metal additive manufacturing. *CIRP annals*, 68(2), 677-700.
- Toteva, P., & Koleva, K. (2019). Application of new generation geometrical product specifications in the practice in small and medium sized enterprises. In *MATEC Web of Conferences (Vol. 299, p. 04006)*. EDP Sciences.
- Gust, P., & Serssch, A. (2020). Geometrical product specifications (gps): A review of teaching approaches. *Procedia CIRP*, 92, 123-128.
- Li, J., Zou, L., Luo, G., Wang, W., & Lv, C. (2023). Enhancement and evaluation in path accuracy of industrial robot for complex surface grinding. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 81, 102521.
- Eryantono, A. E., Virhdian, S., Cahyadi, D., & Oktavia, E. (2022). Pembuatan 3D Model Disc Refiner dengan Reverse Engineering untuk Mendukung Sstitusi Impor. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 17(1), 86-91.
- Lu, L., Jiang, C., Hu, G., Liu, J., & Yang, B. (2021). Flexible noncontact sensing for human-machine interaction. *Advanced Materials*, 33(16), 2100218.