

REKONSTRUKSI SUDU *PRIMARY AIR FAN* PLTU MENGUNAKAN STANDAR NACA

Brilliant Dwinata

Universitas Jendral Achmad Yani, Indonesia

e-mail: briliant.dwinata@lecture.unjani.ac.id

Abstract: This PA Fan is one of the vital components in the generating system that functions to drain air and carry fuel (coal) from the pulverizer to the boiler burner. The research has a focus on designing methods to reconstruct the blades in order to increase independence to maintain the reliability of turbo engine equipment. Damage to axial turbo engine equipment generally occurs as a defect in the blades. The method of self-constructing blades needs to be carried out to increase the speed of the repair process. The limitation in this study is that the blade airfoil profile is adjusted to the standards of the National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). The benefit of the PA Fan blade reconstruction process is to find the technology of the PA Fan blade product and the basic concepts of the product design process as desired by the initial maker (design intent). The research methods used include: Measurement and geometric modeling of the PA Fan blade using the Mitutoyo Cyrsta-Apex S9106 Coordinate Measuring Machine which is connected to a non-contact laser scanner Mitutoyo Surface Measure 606 to obtain a collection of many coordinates of the measurement results (point clouds), then process point clouds processing to obtain a 3D model of the measurement results, after that identify the airfoil with the NACA standard, and the final stage is to process machine drawings of complete components with geometry specifications.

Keywords: *Primary Air Fan, airfoil profile, 3D modeling, blade geometry specifications.*

Abstrak: PA Fan ini merupakan salah satu komponen vital di dalam sistem pembangkit yang berfungsi mengalirkan fluida udara dan membawa bahan bakar (batubara) dari pulverizer ke burner boiler. Penelitian memiliki fokus untuk merancang metode untuk merekonstruksi sudu guna meningkatkan kemandirian untuk merawat kehandalan peralatan mesin turbo. Kerusakan peralatan mesin turbo aksial umumnya terjadi cacat pada sudu. Metoda rekonstruksi sudu secara mandiri perlu dilakukan untuk meningkatkan kecepatan proses perbaikan. Batasan pada penelitian ini adalah profil airfoil sudu disesuaikan dengan standard National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Manfaat dari proses rekonstruksi sudu PA Fan ialah menemukan teknologi dari produk sudu PA Fan dan konsep dasar proses perancangan produk sesuai yang diinginkan oleh pembuat awal (design intent). Metoda penelitian yang digunakan meliputi: Pengukuran dan pemodelan geometrik sudu PA Fan dengan menggunakan Mesin Ukur Koordinat Mitutoyo Cyrsta-Apex S9106 yang terhubung dengan laser scanner non kontak Mitutoyo Surface Measure 606 untuk mendapatkan kumpulan dari banyak titik koordinat hasil pengukuran (point clouds), kemudian proses pemrosesan point clouds guna mendapatkan 3D model hasil pengukuran, setelah itu mengidentifikasi airfoil dengan standard NACA, serta tahap akhir adalah memproses gambar mesin dari komponen lengkap dengan spesifikasi geometri.

Kata Kunci: *Primary Air Fan, airfoil profile, 3D modelling, spesifikasi geometri sudu.*

PENDAHULUAN

Listrik merupakan hal penting bagi manusia dalam melaksanakan aktivitas sehari-hari. Dengan adanya listrik, kehidupan manusia menjadi lebih mudah dan nyaman (ESDM, 2017). Jenis pembangkit yang terbanyak dipakai di Indonesia adalah pembangkit listrik berbahan bakar batubara, dengan total 20 gigawatt (GW) atau 44% dari total produksi listrik Indonesia. Desain PLTU yang efisien menjadi penting karena besarnya daya listrik yang dihasilkan (S & Ghofur, 2019). Dalam hal ini penulis meninjau sudu Propeller primary air fan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Arianto, 2019).

Keandalan pembangkit listrik berbahan bakar batubara sangat diperlukan karena merupakan penopang terbesar jaringan listrik di Indonesia, sehingga diperlukan komponen-komponen pembangkit dengan keandalan tinggi, salah satunya adalah *Primary Air Fan (PA Fan)* (Li & Yuan, 2021). *Primary air fan* adalah salah satu jenis penggerak udara berfungsi menggerakkan udara yang akan mendorong serbuk batubara masuk ke dalam boiler. Pada PLTU primary air fan yang sudah ada (*existing*) berjenis *adjusted rotor-vane axial-flow fan*. *PA Fan* sangat penting untuk menjaga pasokan udara dan bahan bakar (serbuk batubara dari pulverizer) dalam proses pembakaran di ruang bakar (*furnace*) boiler (Reddeppa et al., 2021). Operasi *PA Fan* sangat mempengaruhi performa boiler (Xiao & Yan, 2020). Bila komponen ini tidak beroperasi dengan baik maka akan mengakibatkan performa boiler terganggu akibat kurangnya pasokan bahan bakar batubara dan udara (Li & Yuan, 2021; Reddeppa et al., 2021).

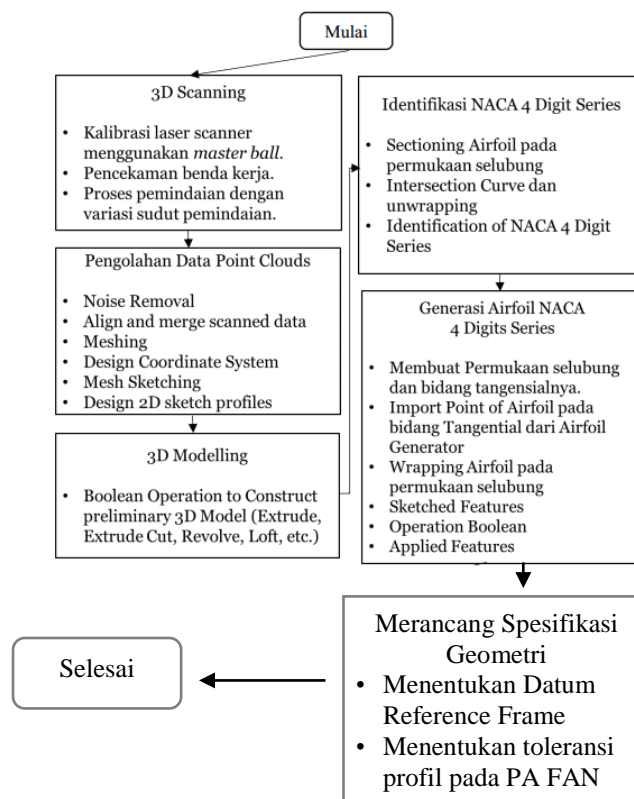
Penelitian ini memiliki fokus untuk merancang metode untuk merekonstruksi sudu guna meningkatkan kemandirian untuk merawat kehandalan peralatan mesin turbo (Aribowo & Zaymapa, 2019; Prastyo & Ma'arif, 2020). Kerusakan peralatan mesin turbo aksial umumnya terjadi cacat pada sudu. Metoda rekonstruksi sudu secara mandiri perlu dilakukan untuk meningkatkan kecepatan proses perbaikan (ISO, 2017). Umumnya di Indonesia belum memiliki kompetensi untuk merekonstruksi sudu yang mengalami kerusakan. Hal biasa dilakukan ketika terjadi kerusakan adalah menghubungi pabrikan untuk memperbaiki, dimana proses ini membutuhkan waktu yang relatif lama. Manfaat dari proses rekonstruksi sudu *PA Fan* ialah menemukan teknologi dari produk sudu *PA Fan* dan konsep dasar proses perancangan produk

sesuai yang diinginkan oleh pembuat awal (*design intent*) (S & Ghofur, 2019). Selain itu, komponen pembangkit selama ini masih didominasi produksi luar negeri dan Pemerintah Republik Indonesia mendorong industri dalam negeri untuk membuat komponen pembangkit dalam rangka meningkatkan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) (Lyu et al., 2020).

Terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan *PA Fan*, salah satunya yaitu tentang perawatan yang baik pada *PA Fan* dapat terjadi eskalasi yang berbeda setelah dilakukan perbaikan (S & Ghofur, 2019). Adapun perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yaitu pada penelitian ini yaitu merancang metode untuk merekonstruksi sudu guna meningkatkan kemandirian untuk merawat kehandalan peralatan mesin turbo.

METODE

Metode penelitian ini yaitu penelitian pengembangan dengan merekonstruksi sudu guna merawat peralatan mesin turbo. Secara umum tahapan kerja penelitian ini meliputi lima tahapan utama, diantaranya: proses pengukuran sudu *3D scanning*, Pengolahan data *Point Cloud*, 3D Modelling, Identifikasi *NACA 4 Digit Series*, Generasi Airfoil *NACA 4 Digit Series*, lalu merancang spesifikasi geometri dengan mengaplikasikan toleransi profil pada sudu. Berikut adalah rincian diagram alir dari proses penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

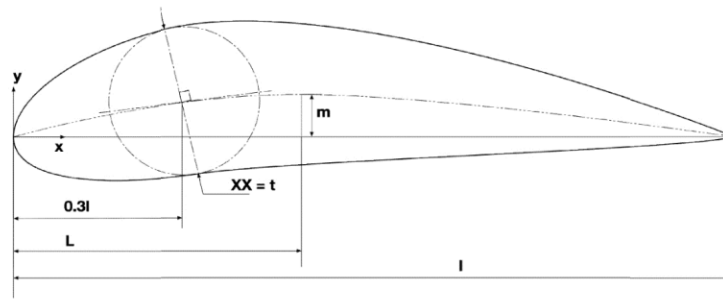
PA Fan dimana sudunya menjadi objek penelitian ini memiliki dua tingkat rotor. Masing-masing rotor terdiri atas 24 sudu yang dapat diputar (*adjustable blade*) dengan derajat tertentu. Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Spesifikasi *Primary Air Fan*

No	Item	Satuan	Nilai
1	Model <i>fan</i>	-	PAF20-12.5-2
2	Diameter <i>rotor</i>	mm	1996
3	Kecepatan putar	rpm	1470
4	Jumlah <i>stage</i>	buah	2
5	Jumlah sudu per <i>stage</i>	Buah	24
6	Rentang pengaturan sudu	degree	-25 ~ +20
7	Berat <i>rotor</i>	kg	4500
8	Arah rotasi <i>fan</i> (dilihat dari sisi motor)	-	anticlockwise
9	Berat total <i>fan</i>	kg	18000
10	Jarak <i>clearance</i> antara <i>casing fan</i> bagian dalam dengan diameter luar <i>rotor</i>	mm	2,0

Airfoil adalah penampang *cross-sectional* sudu. Pada dasarnya, fluida udara mengalir pada sudu sepanjang lingkaran tiap *section*. Oleh karena itu untuk dapat memenuhi kriteria tersebut, maka sketsa dari *airfoil* tidak dapat digambar pada bidang tangensial melainkan pada bidang permukaan silinder. Profil *airfoil* yang biasanya digunakan adalah Goettingen dan NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) (Rogowski et al., 2020).

Kelebihan NACA yaitu memiliki standarisasi penomoran setiap profil (4 digit, 5 digit dsb) dan pada penelitian ini digunakan *NACA 4 Digit Series* (NACA mLXX) menurut Awaluddin (2015) dengan penjelasan m adalah tinggi camber maksimum dalam persentase terhadap Panjang *chord* (l), L adalah lokasi *camber* maksimum pada sumbu *chord* dalam persentase terhadap panjang *chord* (l), XX, adalah ketebalan maksimum dalam persentase terhadap panjang *chord* (l). Profil NACA 2412 (asumsi panjang *chord* adalah 100 mm) memiliki tinggi *camber* maksimum (m) yaitu 2% berlokasi pada 40% (0,4 *chord*) dari *leading edge* dengan ketebalan maksimum 12% terhadap *chord* (Cantwell, 2015).

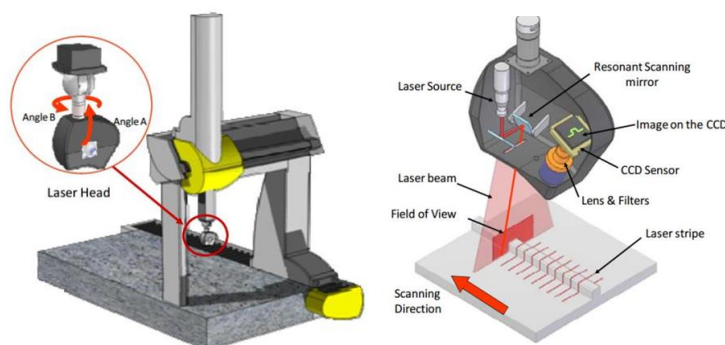


Gambar 2. Airfoil NACA 4 Digit

Pembahasan

3D Scanning

Proses scanning 3D sudu PA Fan dilakukan dengan menggunakan metode non kontak yaitu menggunakan alat pemindai laser yang terintegrasi pada Mesin CMM (Coordinate Measuring Machine) (Helle & Lemu, 2021; Seo et al., 2021). Secara umum, prosedur persiapan untuk proses pemindaian laser 3D dari PA Fan adalah menyalakan mesin CMM, kompresor, dan komputer yang terintegrasi dengan mesin CMM, memasang laser probe pada mesin CMM, kalibrasi laser probe menggunakan masterball pada perangkat lunak MCOSMOS, mencekam benda kerja. Pengukuran menggunakan alat pemindai laser digunakan untuk mengukur profil pada permukaan fitur kompleks (Seo et al., 2021). Perlu dilakukan beberapa kali proses pemindaian pada posisi pengukuran dan sudut orientasi probe yang berbeda-beda (Angle A dan Angle B) sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil point clouds yang melingkupi keseluruhan permukaan objek pemindaian (Ding et al., 2016). Hasil 3D scanning ini merupakan lokasi titik-titik pengukuran yang disebut dengan point cloud (Ding et al., 2016).



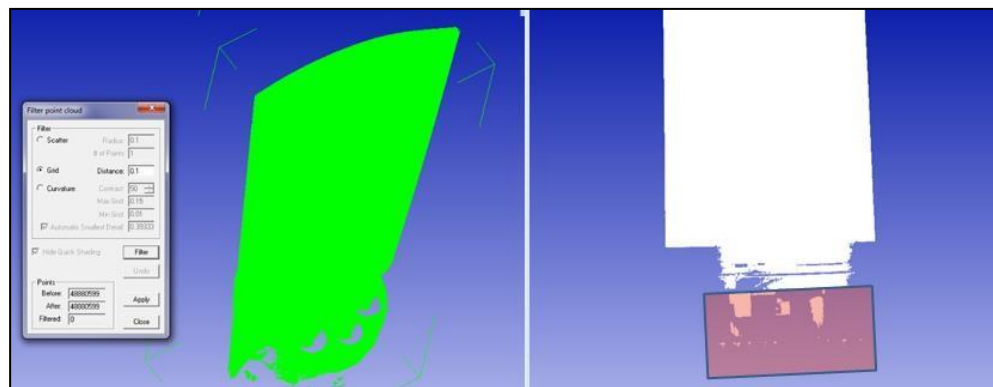
Gambar 3. Laser Scanning System

Pengolahan Data Point Cloud

Pemrosesan points clouds untuk penelitian ini menggunakan 2 perangkat lunak yakni *MSURF v.4* dan *Geomagic Design X*. Pemrosesan points clouds dilakukan untuk mendapatkan sket permukaan obyek hasil pemindaian (Ren et al., 2021; Wang & Kim,

2019), dengan melalui proses sebagai berikut:

- a. *Merge data point cloud*, *Merge* atau menggabungkan hasil *point clouds* dari seluruh hasil pemindaian menjadi 1 *file point cloud*.
- b. *Filter data point cloud*, *Filter data point clouds* dilakukan agar densitas *point clouds* pada permukaan tertentu yang tertumpang-tindih akibat penggabungan data dapat dijadikan homogen.
- c. *Delete Noise*, Data *point clouds* hasil pemindaian tidak hanya *point clouds* permukaan obyek saja, tetapi seringkali disertai *point clouds* yang bukan merupakan bagian dari permukaan obyek (disebut *noise*) yang berada di sekitar obyek. *Noise* ini harus dihilangkan agar *point clouds* merepresentasikan objek pemindaian saja.
- d. *Import as Mesh (.stl)*, Pada tahap ini bertujuan untuk membuat meshing (segitiga yang saling bertautan yang menghubungkan antar titik-titik pemindaian) sehingga diperoleh obyek yang permukaannya berbentuk mesh.



Gambar 4. *Filter dan Delete Noise Point Cloud*

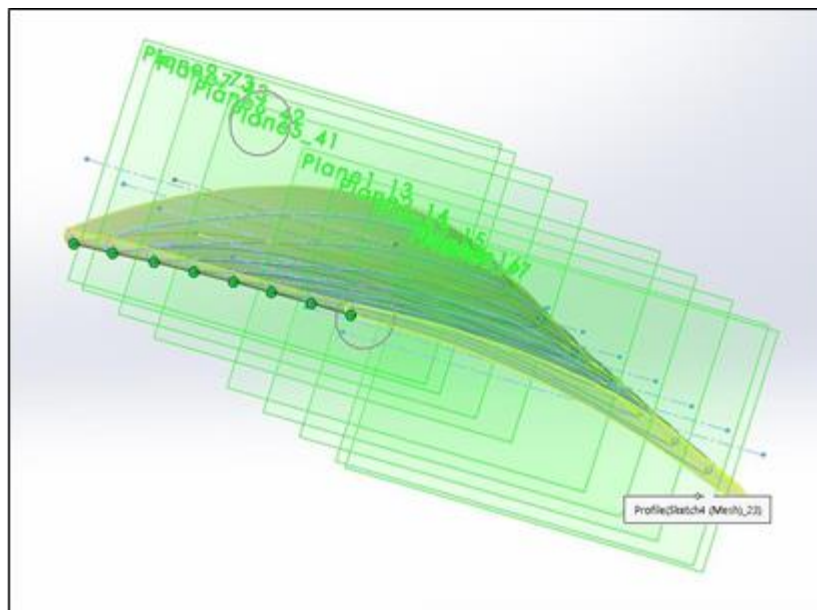


Gambar 5. Hasil *meshing points cloud*

3D Modelling

Berikut adalah tahapan *3D Modelling* sudu *Primary Air Fan* yang kemudian akan diidentifikasi NACA Airfoil 4 Digit Series (Wang et al., 2020; Wang & Kim, 2019) pada *section* terpilih:

- a. Memindahkan scan data ke *design coordinate system*. Lalu membuat 2D *sketch plane* pada setiap *section*.
- b. Pendekatan profil airfoil pada titik-titik pengukuran setiap *section*.
Pendekatan titik-titik pengukuran dilakukan untuk membuat sketsa airfoil pada setiap *section*. Pendekatan titik-titik pengukuran secara umum dibagi menjadi tiga bagian:
 - *Upper & lower airfoil*: pendekatan dilakukan dengan metoda spline.
 - *Leading Edge*: pendekatan dilakukan dengan cara penyesuaian bagian lingkaran dengan *variasi radius*.
 - *Trailing Edge*: pendekatan dilakukan dengan cara penyesuaian bagian lingkaran dengan variasi radius.
- c. Pembuatan bidang acuan, Bidang ini nantinya akan digunakan sebagai acuan penentuan bidang referensi sebagai selubung irisan airfoil.
- d. Operasi Boolean Loft pada setiap Sketsa 2D untuk konstruksi model 3D pada sudu.



Gambar 6. Operasi *Boolean Loft* pada setiap Sketsa 2D

Identifikasi NACA 4 Digit Series

Tahap identifikasi *NACA 4 Digit Series* (NACA mLXX) dilakukan pengukuran parameter-parameter pada setiap *section*. Berikut adalah parameter pada *NACA 4 Digit Series*:

- m adalah tinggi camber maksimum dalam persentase terhadap panjang *chord* (l). Semakin besar nilai m , maka airfoil akan cenderung lebih melengkung.
- L adalah lokasi camber maksimum pada sumbu *chord* dalam persentasi terhadap panjang *chord* (l). Semakin besar nilai L , maka bagian paling tebal airfoil akan cenderung bergeser menjauh dari leading edge.
- XX , adalah ketebalan maksimum dalam persentase terhadap panjang *chord* (l). Semakin besar nilai XX , maka airfoil akan cenderung lebih tebal.

Berikut adalah parameter-parameter airfoil yang diukur pada setiap *section*:

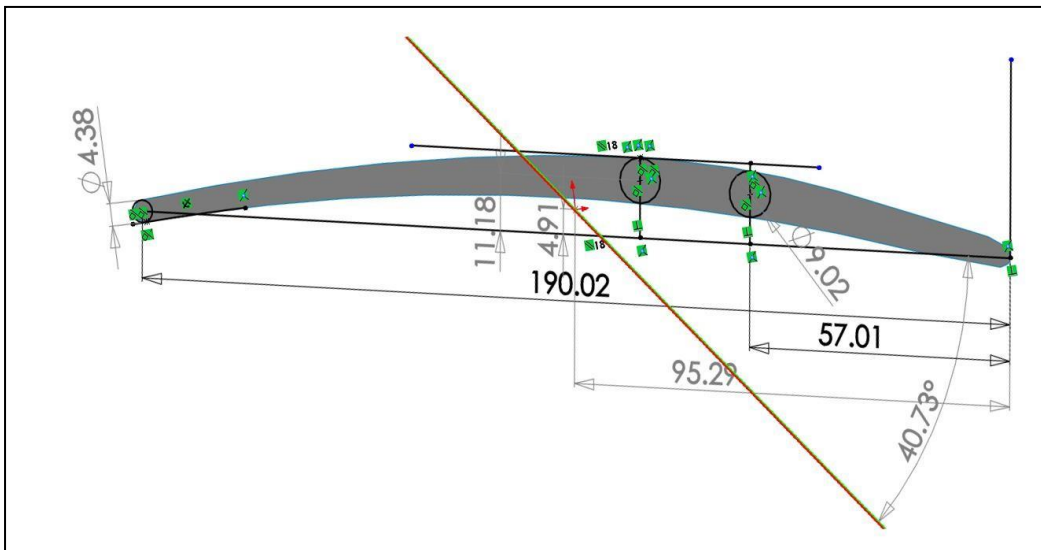
- l , panjang *chord*, dimensi yang diukur dari ujung *leading edge* hingga titik pusat lingkaran *trailing edge*.
- m , the jarak antara titik puncak camber dengan garis *chord*.
- L , lokasi camber maksimum terhadap sumbu *chord*.
- XX , ketebalan maksimum airfoil pada lokasi L .
- β , sudut antara garis *chord* dengan bidang kerja.
- X_p , lokasi titik origin terhadap sumbu *chord* (sumbu X)
- Y_p , lokasi titik origin terhadap sumbu *chord* (sumbu Y)
- DT , diameter *trailing edge*.

Setelah dilakukan pengukuran-pengukuran airfoil, data disajikan ke dalam tabel dan didapatkan spesifikasi *NACA 4 Digit Series*.

Pada tahap identifikasi *NACA 4 Digit Series*, dibagi 8 *section* dengan penentuan diameter sebagai berikut:

No	Diameter	
1	1996	Batas Atas Sudu Aktual
2	1970	Batas Atas Sudu untuk Pengukuran NACA 4 Digit
3	1842	6 Section Penampang Dengan selisih Diameter 128 mm
4	1714	
5	1586	
6	1458	
7	1330	Batas Bawah Sudu untuk Pengukuran NACA 4 Digit
8	1277	Batas Bawah Sudu Aktual

Identifikasi *NACA 4 Digit Series* secara fisik dilakukan dari *section 2* hingga *7* karena keterbatasan bagian fisik sudu yang dapat terukur. *Section 1* dan *8* dilakukan ekstrapolasi parameter-parameter *NACA 4 Digit Series* untuk keperluan estimasi.



Gambar 7. Pengukuran parameter-parameter airfoil

Setelah dilakukan pengukuran-pengukuran airfoil, data disajikan ke dalam tabel dan didapatkan spesifikasi *NACA 4 Digit Series* pada *section 2* hingga *7*. *Section 1* dan *8* dilakukan ekstrapolasi pada parameter-parameter pengukuran airfoil. Berikut adalah grafik-grafik pendekatan ekstrapolasi pada setiap parameter pengukuran:

Tabel 2. Hasil identifikasi *NACA 4 Digit Series*

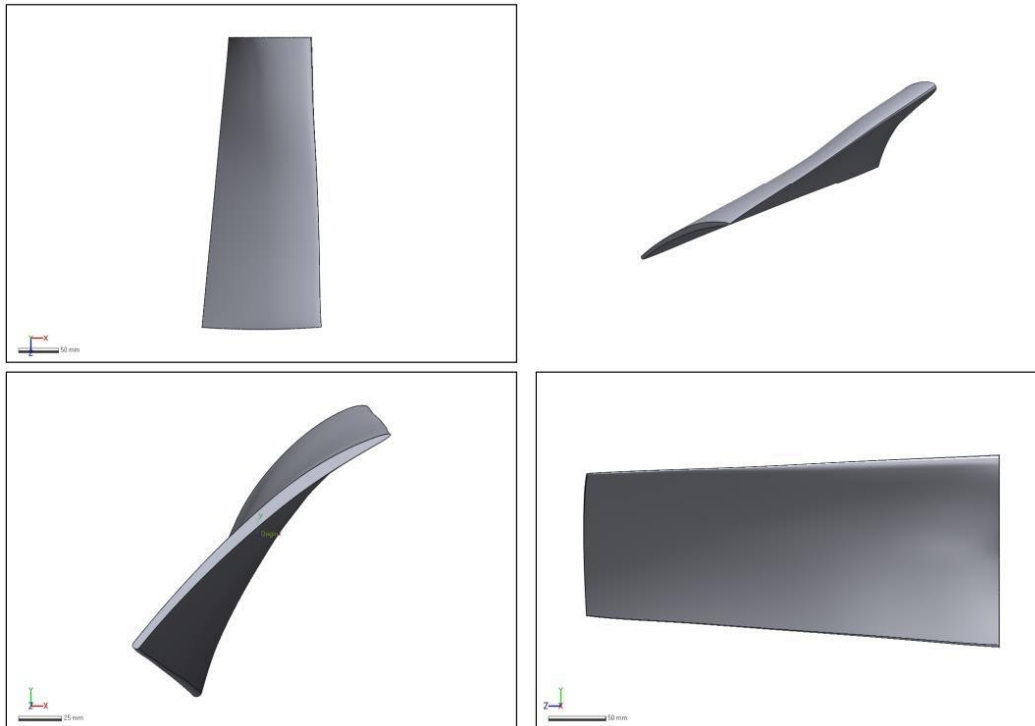
No	d (mm)	l (mm)	m (mm)	L (mm)	XX (mm)	β (°)	DT (mm)	Xp (mm)	Yp (mm)	m/l	L/l	XX/l	NACA
1	1996	190.08	11.15	81.13	8.51	39.75	4.49	95.56	4.48	5.87	4.27	4.48	6404
2	1970	190.02	11.18	81.08	9.02	40.73	4.38	95.29	4.91	5.88	4.27	4.75	6405
3	1842	189.33	11.71	80.85	10.52	43.75	4.05	95.76	7.10	6.18	4.27	5.56	6405
4	1714	188.68	12.07	80.63	12.23	46.90	4.27	95.75	9.61	6.40	4.27	6.48	6406
5	1586	188.52	11.99	81.87	14.20	50.49	5.07	95.73	11.43	6.36	4.34	7.53	6408
6	1458	188.81	14.30	84.60	20.19	54.34	6.09	95.22	13.22	7.57	4.48	10.69	8411
7	1330	191.09	17.55	85.81	25.66	57.79	6.28	95.58	15.89	9.18	4.49	13.43	9413
8	1277	192.05	18.57	86.86	28.08	59.09	6.34	95.54	16.51	9.67	4.52	14.62	10514

Generasi Airfoil *NACA 4 Digit Series*

Setelah mendapatkan parameter *NACA 4 Digit Series* pada setiap *section*, selanjutnya dibangun solid model baru dengan data parameter yang tersedia (Cantwell, 2015; Rogowski et al., 2020). Membangun kembali model dari data parameter *NACA 4 Digit Series* dilakukan dengan tahapan langkah yang terbalik dibandingkan pada saat identifikasi parameter *NACA 4 Digit Series*, yaitu membuat airfoil pada bidang tangensial menggunakan airfoil generator kemudian dipindahkan (wrapping) ke surface

silinder (Parashar, 2015; Rogowski et al., 2020).

Berikut adalah *reference* data hasil metoda rekayasa peniruan dari sudu PA Fan:



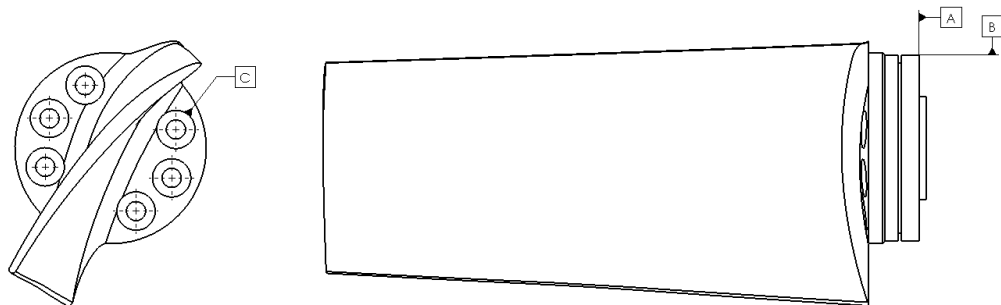
Gambar 8. Generasi airfoil pada PA Fan Blade

Merancang Spesifikasi Geometri pada Sudu PA FAN

Pendimensian dan pentoleransian geometri pada sudu *Primary Air Fan* mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh Mathiew Petitcuenot (Petitcuenot et al., 2015) yang berjudul “ISO *Specifications of Complex Surfaces: Application on Aerodynamic Profiles*”. Pertama adalah penentuan Datum Reference Frame (DRF) pada sudu *Primary Air Fan*. Datum Reference Frame merupakan perpaduan antara datum yang membentuk 3 bidang yang satu sama lain saling tegak lurus. Penentuan DRF berfungsi sebagai penentuan titik referensi pengukuran dan penghilang 6 derajat kebebasan, yakni: translasi pada sumbu X, Y, dan Z juga rotasi pada sumbu X, Y, dan Z. Penentuan DRF umumnya dipilih 3 datum fitur dengan kriteria pemilihan datum sebagai berikut:

- Fitur permukaan yang berpasangan atau kontak dengan permukaan lain
- Fitur yang memiliki fungsi paling kritis
- Fitur yang memiliki luas yang besar untuk mendukung kesetabilan
- Fitur yang mudah untuk diakses

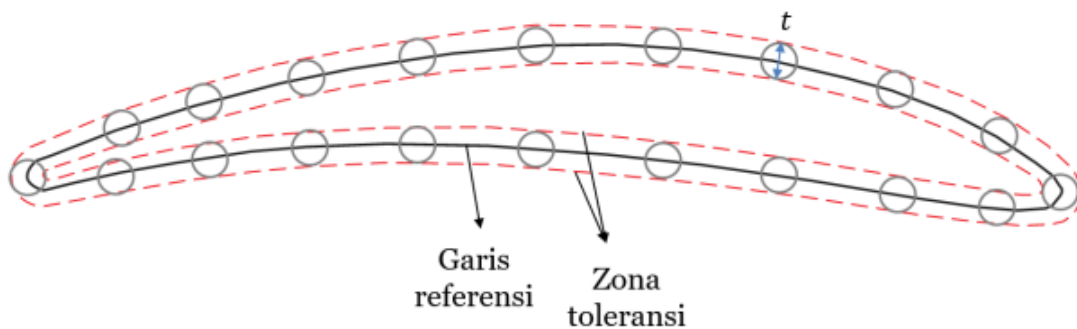
Berikut adalah penerapan DRF pada sudu *Primary Air Fan*:



Gambar 9. Datum Reference Frame

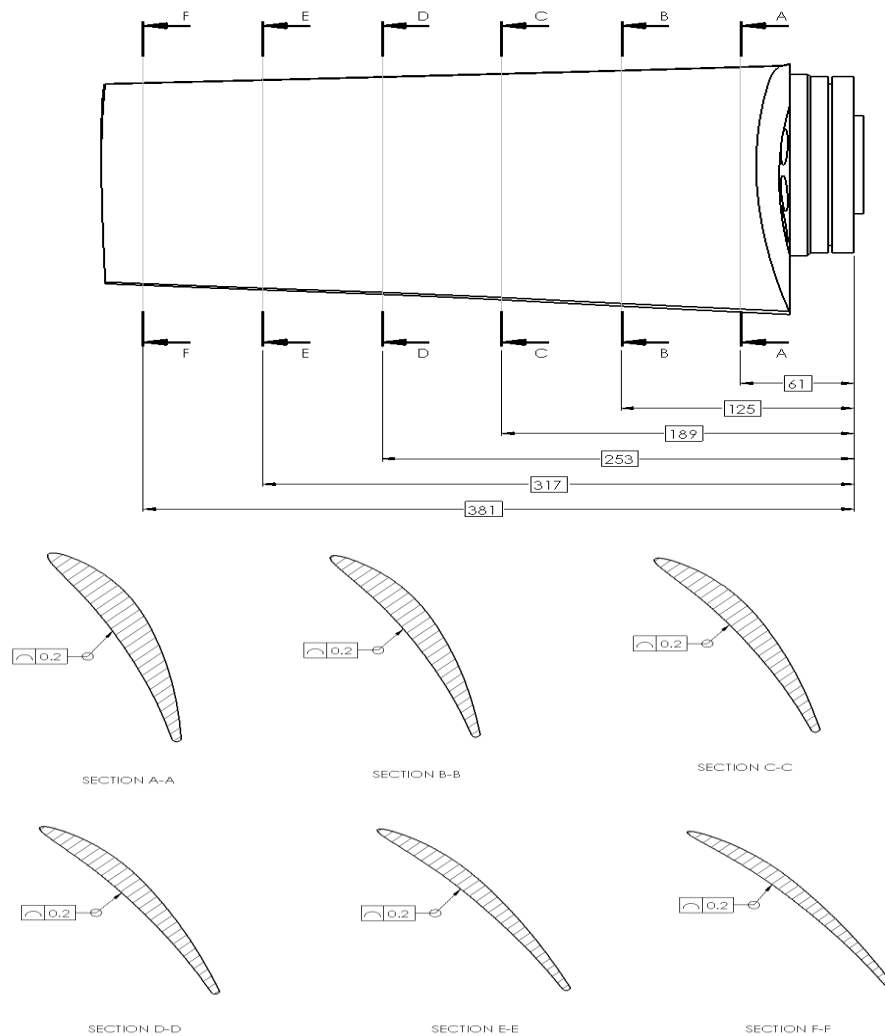
Penerapan toleransi profil garis pada setiap *section* dilakukan pembagian toleransi pada airfoil dimana toleransi pada trailing edge dan leading edge lebih ketat dibandingkan dengan bagian lainnya pada airfoil. Lokasi penetapan toleransi profil garis sesuai dengan lokasi *section* pada tahap identifikasi profil *NACA 4 Digit Series* (Thakur & Choudhary, 2020; Thejaraju et al., 2019).

Zona toleransi profil garis pada airfoil didapatkan dari jarak pada arah normal dari profil nominal, dimana jarak tersebut adalah besar toleransi yang diberikan (t). Berikut adalah ilustrasi zona toleransi profil garis pada airfoil:



Gambar 10. Zona Toleransi profil garis pada airfoil

Berikut adalah hasil proses rekonstruksi *PA Fan* secara sistematis dan metodik sesuai dengan standard *airfoil* internasional disertai dengan penerapan spesifikasi geometri :



Gambar 11. Penerapan toleransi profil pada *Primary Air Fan*

SIMPULAN

Proses rekonstruksi *PA Fan* secara sistematis dan metodik sesuai dengan standard *airfoil* internasional disertai dengan penerapan spesifikasi geometri yang optimal telah dilakukan. Peneliti berharap bahwa studi mengenai rekonstruksi *PA Fan* dapat dikembangkan kepada tahapan pengujian baik secara numerik maupun eksperimen untuk menjamin performa sudu *PA Fan*.

DAFTAR RUJUKAN

- Arianto, D. (2019). Pembangkit Listrik Tenaga Uap. In *Alpha Pay*.
- Aribowo, W., & Zaymapa, I. N. D. (2019). Sistem Proteksi Motor Berbasis Motor Manajemen Relay GE Multilin SR469 pada Motor Primary Air Fan di PLTU PAITON Unit 7. *INAJEEE Indonesian Journal of Electrical and Eletronics Engineering*, 2(2).

<https://doi.org/10.26740/inajeee.v2n2.p1-8>

- Awaluddin, I. S. (2015). *Pemodelan Simulasi Runner Turbin Propeller Menggunakan ANSYS BladeGen dan ANSYS Fluent*. Institut Teknologi Bandung.
- Cantwell, B. (2015). The NACA airfoil series. In *Department of Aeronautics and Astronautics AA 200A Applied Aerodynamics*.
- Ding, L., Dai, S., & Mu, P. (2016). CAD-based Path Planning for 3D Laser Scanning of Complex Surface. *Procedia Computer Science*, 92, 526–535.
- ESDM. (2017). *Statistika Ketenagalistikan 2016*. In *Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan*.
- Helle, R. H., & Lemu, H. G. (2021). A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. *Materials Today: Proceedings*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.828>
- ISO. (2017). *ISO 1101: Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical Tolerancing - Tolerances of Form, orientation, location, and run-out*. International Standard Organization (ISO).
- Li, J., & Yuan, Z. (2021). Primary Air Fan fault warning based on universal gravitation neural network and deviation degree. *Chinese Control Conference, CCC, 2021-July*. <https://doi.org/10.23919/CCC52363.2021.9549667>
- Lyu, D., Bin, Y., Li, W., Jiang, S., Zeng, J., Liu, S., Chen, W., & Xie, G. (2020). The Parallel and Process Control Technology of Axial Flow Fans in a 600MW Supercritical Boiler. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, 40(17). <https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.200301>
- Parashar, H. (2015). Calculation of Aerodynamic Characteristics of NACA 2415, 23012, 23015 Airfoils Using Computational Fluid Dynamics (CFD). *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 4(3).
- Petitcuenot, M., Pierre, L., & Anselmetti, B. (2015). ISO Specifications of Complex Surfaces: Application on Aerodynamic Profiles. *Procedia CIRP*, 27, 16–22.
- Prastyo, E., & Ma'arif, S. (2020). WATER LEAKED ANALYSIS IN THE GAS AIR HEATER IN PT CIREBON POWER SERVICE. *Journal of Green Science and Technology*, 4(3). <https://doi.org/10.33603/jgst.v4i3.3997>
- Reddeppa, N., Jayarami Reddy, B., & Sudarsana Rao, H. (2021). FOUNDATION FOR PRIMARY AIR FAN OF SPEED 1490 RPM - STUDY OF DYNAMIC BEHAVIOR. *SCIREA Journal of Civil Engineering and Building Construction*. <https://doi.org/10.54647/cebc56061>
- Ren, Y., Li, T., Xu, J., Hong, W., Zheng, Y., & Fu, B. (2021). Overall Filtering Algorithm for

- Multiscale Noise Removal from Point Cloud Data. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3097185>
- Rogowski, K., Hansen, M. O. L., & Bangsa, G. (2020). Performance analysis of a h-darrieuswind turbine for a series of 4-digit NACA airfoils. *Energies*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/en13123196>
- S, R. M., & Ghofur, A. (2019). ANALISIS PERFORMA PRIMARY AIR HEATER (PAH) PLTU ASAM ASAM UNIT I – KALIMANTAN SELATAN. *JTAM ROTARY*, 1(2). https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v1i2.1747
- Seo, J. H., Lee, I. D., & Yoo, B. (2021). Effectiveness of rough initial scan for high-precision automatic 3D scanning. *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(5). <https://doi.org/10.1093/jcde/qwab049>
- Thakur, G., & Choudhary, N. (2020). Comparative study of symmetrical Vs asymmetrical Vs semi-symmetrical airfoils. *WEENTECH Proceedings in Energy*. <https://doi.org/10.32438/wpe.0602164>
- Thejaraju, R., Jose, D., Niveditha, V. R., Suresh, V., & Sumanthran, A. (2019). A study of airfoil flap deflection angle using cfd simulation techniques. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(Special Issue). <https://doi.org/10.24247/ijmperdjun201913>
- Wang, Q., & Kim, M. K. (2019). Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018. In *Advanced Engineering Informatics* (Vol. 39). <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.02.007>
- Wang, Q., Tan, Y., & Mei, Z. (2020). Computational Methods of Acquisition and Processing of 3D Point Cloud Data for Construction Applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(2). <https://doi.org/10.1007/s11831-019-09320-4>
- Xiao, G., & Yan, X. (2020). Analysis on “against the wind” of primary air fan in 300MW CFB boiler. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 467(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/467/1/012027>