Studi Numerik *Centrifugal Fan Tipe Impeller Backward* dengan Variasi Putaran Fan

Numerical Study of Impeller Backward Type Centrifugal Fan with Fan Rotation Variation

Lohdy Diana^{1)*}, Achmad Setiyawan²⁾, Achmad Bahrul Ulum³⁾, Arrad Ghani Safitra⁴⁾,
Muhammad Nabiel⁵⁾

^{1,2,3,4,5} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Diterima: 02-05-2021 ; Disetujui: 29-07-2021 ; Diterbitkan: 30-12-2021

*Corresponding author: E-mail: lohdydiana@pens.ac.id

Abstrak

Primary air fan berfungsi sebagai penghasil udara primer yang digunakan sebagai udara pengangkut serbuk batubara dari *pulverizer* menuju *burner* untuk dibakar pada ruang bakar boiler. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran *fan* terhadap karakteristik aliran fluida berupa distribusi tekanan total, tekanan dinamis, tekanan statis, distribusi kecepatan dan efisiensi optimal pada *centrifugal fan*. Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan mensimulasikan *centrifugal fan* tipe *impeller backward* dalam model dua dimensi menggunakan software komputasi fluida dengan metode *multiple reference frames* dengan variasi putaran. Berdasarkan visualisasi distribusi tekanan dan distribusi kecepatan dapat disimpulkan terjadi fenomena *volute* hal tersebut ditandai dengan semakin besar luasan di *volute* maka semakin besar nilai *pressure* total. Berdasarkan visualisasi distribusi kecepatan *outlet* posisi -0,8531m sampai -1,01301m hasil kecepatan bernilai mendekati nilai 0 m/s² hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan minimum di area tersebut akibat profil *volute* yaitu radius *volute tongue* terjadi tabrakan aliran dan mengakibatkan kecepatan di daerah tersebut mengalami penurunan kecepatan hingga $V = 0$. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan didapatkan bahwa semakin besar nilai putaran *fan* belum tentu nilai efisiensi juga akan semakin besar hal itu terverifikasi dengan data operasi aktual *centrifugal fan* dengan nilai *range* putaran minimum 1194 rpm sampai maksimum 1468 rpm.

Kata Kunci: *Centrifugal fan*; *Primary air fan*; *Efisiensi*; rpm.

Abstract

The primary air fan functions as a primary air producer which is used as air to transport coal powder from the pulverizer to the burner to be burned in the boiler furnace. This study aims to obtain the effect of the rotation variation of fan to fluid flow characteristics such as the distribution of total pressure, the dynamic pressure, the pressure static contours, velocity distribution, and the fan optimal efficiency. This study was numerical study with simulated a backward impeller type centrifugal fan in a two-dimension model using Fluid Computational software with the multiple reference frame method with the variation of fan rotation. Based on the visualization of the pressure contour and velocity distribution, it could be concluded that there was a volute phenomenon, this was indicated that the greater the volume area in the volute is the greater the total pressure value too. Based on the visualization of the outlet velocity distribution at the position of -0,8531m to -1,01301m, it was found that the velocity is close to the value of 0 m/s². It showed that the minimum velocity in the area due to the volute tongue radius occurs a flow collision and it impacted the velocity in the area decreased up to $V=0$. From the simulation results, it was found that the greater the fan rotation value was the greater the efficiency value too. It would be verified by the actual operating data of the centrifugal fan with a minimum rotation range value of 1194 rpm to a maximum of 1468 rpm.

Key words: *Centrifugal fan*; *Primary air fan*; *Efficiency*; rpm.

How to Cite: Diana, L. 2021, Studi Numerik *Centrifugal Fan Tipe Impeller Backward* dengan Variasi Putaran Fan, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), Vol 5 (2): 168-178.

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik berbahan bakar batubara membutuhkan udara untuk proses produksi listrik. Masukkan udara dapat dibagi menjadi dua, yaitu *primary air fan* untuk menghasilkan udara primer dan *secondary air fan* untuk menghasilkan udara sekunder. Kedua *fan* tersebut merupakan komponen penting pada pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ada beberapa *fan* yang digunakan, seperti *primary air fan*, *secondary air fan*, dan *induced draft fan*. Dalam penelitian ini akan membahas *primary air fan*. Udara primer yang dihasilkan oleh *Primary air fan* yang digunakan sebagai udara pengangkut serbuk batubara dari *pulverizer* menuju *burner* untuk dibakar di *furnace boiler* sekaligus sebagai pengering batubara.

Beberapa penelitian dilakukan untuk mengetahui performa *fan*, penelitian tersebut antara lain: *Primary air fan* menggunakan *fan* jenis *centrifugal* dengan tipe bentuk *blade backward-curved* [1]. Secara sederhana, *fan* atau kipas merupakan alat yang memiliki fungsi memindahkan sejumlah udara atau gas pada tekanan tertentu dan (ASME) mendefinisikan perbedaan *fan*, *blower*, dan kompresor menggunakan rasio spesifik atau rasio tekanan keluar (*discharge*) terhadap tekanan hisap (*suction*) [2]. Klasifikasi *Fan* memiliki rasio spesifik 1,11 dan *Blower* memiliki rasio spesifik lebih dari 1,11 dan kurang dari 1,20 sedangkan kompresor memiliki rasio spesifik lebih dari 1,20 [3]. Pada kasus konsumsi daya mesin, mesin *centrifugal* mendominasi di antara total *fan* dan *blower* dengan mengkonsumsi 90% energi sektor [4]. *Primary air fan* dioperasikan secara terus menerus, dalam pengoperasiannya tidak selamanya performa yang dihasilkan *fan* itu konstan, karena adanya beberapa faktor yang menyebabkan perubahan performa *fan* sehingga terjadi fluktuasi pada performa *fan* dan jauh dari performa desain awal [5]. Untuk meningkatkan kinerja *fan*, banyak penelitian telah dilakukan. Misalnya, *fan blade bending sweep technology* dan *blade twisting technology* adalah teknik yang paling umum digunakan [6]. N. Madhwesh pada penelitiannya mengatakan adaptasi geometris seperti pemangkasan *impeller*, *side clearance*, *splitters*, dan *blade cutback* telah dipelajari secara ekstensif oleh penulis dan itu diamati bahwa tindakan seperti itu umumnya mengarah pada perbaikan dalam kinerja *centrifugal fan* karena ditambah kenaikan tekanan statis pada *fan* [7]. S.Zhou pada penelitiannya dengan judul “*Research On Blade Design Method Of Multi-Blade Centrifugal Fan For Building Efficient Ventilation Based On Hicks-Henne Function*” bagian inti dari *multi-blade centrifugal fan*, *impeller* terutama terdiri dari *blades*, *shroud* dan *back plate* [8]. Fakta telah membuktikan bahwa optimalisasi struktur *blade* dapat sangat meningkatkan kinerja aerodinamis *fan*. Perubahan geometri *volute* parameter seperti jarak radial antara *impeller* dan *volute* memiliki pengaruh yang signifikan pada kinerja *blower centrifugal* [9]. Indra Djodikusumo pada penelitiannya dengan judul “*Desain dan Pemodelan Sudu Primary Air Fan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)*” dijelaskan bahwa aliran pada *PA fan* sangat rumit dan detail [10]. Tidak ada model matematika yang dapat diselesaikan secara analitis untuk menggambarkan kondisi aliran pada *PA Fan*. Salah satu solusinya adalah kajian eksperimen, namun ini membutuhkan usaha dan biaya yang sangat besar. Solusi lain yang lebih layak sebelum dilakukan kajian eksperimen adalah simulasi komputer menggunakan

software yang dikenal sebagai *computational fluid dynamics* (CFD) yang mengacu pada hasil kajian eksperimen. Pada pendekatan komputasi digunakan *software* komputasi fluida karena sudah teruji dalam skala industri dengan tingkat akurasi tinggi [11]. L. Umamaheswararao pada penelitiannya dengan judul “*Performance Optimization of Centrifugal Fan with Ducts through CFD Simulation of Impeller Design*” menggunakan CFD untuk meningkatkan hasil tekanan statik yang dihasilkan saat masuknya *impeller* dan efisiensi statis [12]. Optimasi CFD akan juga membantu meningkatkan pola aliran melalui sistem *centrifugal fan*. Pada tahap simulasi dilakukan analisis CFD dilakukan pada desain *impeller* yang berbeda di kecepatan yang berbeda dengan mengubah bentuk dan sebagai serta jumlah *blade*. Itu perbandingan semua parameter di *outlet fan* ditampilkan dalam bentuk grafik representasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi putaran fan terhadap karakteristik aliran fluida berupa distribusi tekanan total, tekanan dinamis, tekanan statis, distribusi kecepatan, dan efisiensi optimal pada *centrifugal fan* khususnya pada bagian *volute* [13]. *Volute* merupakan bagian sisi atas sebelum saluran luaran fluida pada *centrifugal fan*. Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan mensimulasikan *centrifugal fan* tipe *impeller backward* dalam model dua dimensi menggunakan *software* komputasi fluida dengan metode *multiple reference frames* dengan variasi putaran.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara simulasi, langkah awal yang dilakukan adalah menggambar model sesuai ukuran kemudian menentukan kondisi batas *centrifugal fan*. Ukuran dan kondisi batas ditunjukkan seperti pada Gambar 1. Spesifikasi *centrifugal fan* yang digunakan pada ditampilkan pada Tabel 1 [14]. Untuk input parameter simulasi diperlukan data operasi *centrifugal fan* dan data parameter simulasi ditampilkan pada Tabel 2 [15-18].

Gambar 1. *Centrifugal fan* (a) ukuran, (b) kondisi batas

Tabel 1. Spesifikasi *centrifugal fan*

No.	Name	Content	Unit
1	Type	Draft double- support centrifugal	
2	Flow rate	122.21	m ³ /s
3	PAF outlet pressure	16800	Pa
4	Voltage of motor	6	KV
5	Power	2000	KW
6	Speed of motor	1490	r/min

Tabel 2. Data Parameter *centrifugal fan*

Fan type	Centrifugal	Use	PA Fan	Medium air
Volume flow	m ³ /a	91.17 2	67.038	66.628
Atmosphere	Pa	10132 5		
Density in NTP	Kg/m ³	16800	Pa	
Temperature	C	30	30	30
Density	Kg/m ³	1.162 6	1.1726	1.1726
Inlet static head	Pa			
Inlet total pressure	Pa	-625	-324	-318

Bentuk *mesh* yang dihasilkan pada model 2D *centrifugal fan* dibuat menggunakan software *Mesh*. Bentuk *mesh* dibuat rapat dan kecil-kecil pada wilayah sudu *impeller*. Berikut hasil *mesh* pada proyek akhir ini dengan 100087 *nodes* dan 97358 *elements* dengan hasil *skewness* yaitu 0,424 dan *orthogonal quality* yaitu 0,29. Menurut *ansys guide* hasil *mesh quality* dapat digolongkan baik sesuai Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. *Skewness mesh metrics*

Excellent	Very Good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Tabel 4. *Orthogonal Quality mesh metrics*

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Metode *grid independency* diperlukan untuk menghasilkan data yang lebih akurat dengan bentuk *mesh* yang optimal. Dengan menggunakan data tekanan total untuk melakukan iterasi jumlah *grid*. Bentuk *mesh* ditunjukkan pada Gambar 2b. *Solver* yang digunakan adalah *pressure based* untuk asumsi aliran *incompressible* dan pengoperasian simulasi konvergen pada keadaan aliran *steady*. Menggunakan material udara dengan viskositas 1,225. Simulasi dijalankan menggunakan *coupled solver* untuk *pressure-velocity*

coupling dengan *second order upwind scheme* dipilih untuk menyelesaikan persamaan umum yang dipakai. Inisialisasi dilakukan dengan metode *hybrid initialization* lalu iterasi dilakukan kurang lebih 10000 iterasi. Hasil *grid independence* ditunjukkan pada Tabel 5.

Gambar 2. Hasil *meshing* geometri 2D (a) tampak keseluruhan (b) tampak detail

Tabel 5. *Grid independence*

Mesh		Statistics				Total	Tekanan total Outlet (Pa)
A	Nodes	64418	29624	6045	100087		17564,9
	Elements	63544	27964	5850	97358		
B	Nodes	78466	37725	7665	123856		18241,8
	Elements	77497	35879	7446	120822		

Tabel 6. Validasi

RPM	Tekanan total Outlet(Aktual)Pa	Tekanan total Outlet (Simulasi)Pa	Error %
1468	16800	17564,9	4,5529

Validasi merupakan terminologi untuk menunjukkan tingkat kebenaran dari simulasi yang dilakukan. Untuk menentukan tingkat kevalidan, dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu kasus yang ditinjau serta dengan cara membandingkan dengan sebuah standard yang telah ada dengan referensi yang jelas. Hasil validasi ditunjukkan pada Tabel 6. Analisa hasil simulasi dilakukan setelah melakukan tahap processing. Data yang diambil dari hasil simulasi berupa data kualitatif visualisasi distribusi tekanan dan distribusi kecepatan sedangkan data kuantitatif berupa kecepatan aliran dalam bentuk grafik *outlet*. Sebelum memasuki tahap analisa, dilakukan *validasi* perbandingan tekanan total pada sisi *outlet centrifugal fan* dengan tekanan total yang terukur di *centrifugal fan* aktual sesuai tabel.

Berdasarkan Tabel 4 diketahui error yang dihasilkan tidak mencapai 10% sehingga simulasi *centrifugal fan* dapat dikatakan mendekati *centrifugal fan* aktual.

Data yang disajikan yaitu kontur distribusi tekanan total, kontur distribusi kecepatan, grafik kecepatan fluida pada *outlet*, grafik efisiensi terhadap putaran *centrifugal fan*, dan grafik tekanan. Tekanan disini dibagi menjadi 3 yaitu tekanan total, tekanan dinamis dan tekanan statis sesuai persamaan bernoulli yaitu

$$P_o = P + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi berupa distribusi tekanan dan distribusi kecepatan terhadap variasi putaran.

Gambar 3. Distribusi tekanan total pada putaran: (a) 1194 rpm, (b) 1223 rpm, dan (c) 1468 rpm

Gambar 4. Distribusi kecepatan pada putaran: (a) 1194 rpm, (b) 1223 rpm, dan (c) 1468 rpm

Berdasarkan distribusi tekanan dan distribusi kecepatan seperti pada Gambar 4 dan terjadi fenomena *volute* yaitu mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan. Ketika *fluida* yang masuk suction atau inlet diputar oleh *impeller* maka kecepatan bertambah sehingga sisi suction atau inlet terjadi kevakuman dan *impeller* yang berputar akan

meneruskan dan memberikan gaya putar *centrifugal* kepada *fluida* sehingga *fluida* bergerak keluar dengan tekanan tinggi sesuai dengan luas penampang *volute* yang semakin lama semakin membesar. Sesuai hukum *kontinuitas*, jika semakin besar luas penampang suatu ruang maka kecepatan akan berkurang sedangkan tekanannya bertambah, begitu juga sebaliknya dapat dilihat sisi terluar *volute* terlihat semakin besar tekanan semakin kecil kecepatan.

Dilihat di bagian inlet atau suction semakin besar putaran impeller semakin kecil nilai tekanannya atau dalam kondisi vakum yang meningkat sedangkan di bagian *volute* tepatnya di *outlet* atau discharge semakin besar putaran impeller semakin besar tekanan. Untuk mengamati pengaruh putaran *centrifugal fan* terhadap tekanan dalam simulasi ini di plot dimana sumbu X adalah sepanjang *outlet* atau discharge dalam satuan meter dan Y adalah besar tekanan dalam satuan pascal, tekanan disini dibagi menjadi 3 yaitu tekanan total, tekanan dinamis dan tekanan statis sesuai persamaan bernoulli (1).

Gambar 5 menunjukkan grafik tekanan total pada *outlet* dan gambar 6 menunjukkan grafik tekanan dinamis pada *outlet*. Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat nilai tekanan terhadap sisi *outlet* atau discharger yang cenderung sama, disimulasi ini putaran antara rpm 1194 dan rpm 1223 terjadi selisih yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan rpm 1468 sehingga dapat dibuat kesimpulan besar tekanan total dan dinamis mengalami kenaikan seiring bertambahnya putaran *fan*.

Gambar 5. Grafik tekanan total pada *outlet*

Gambar 6. Grafik tekanan dinamis pada *outlet* Gambar 7. Grafik tekanan statis pada *outlet*

Berdasarkan Gambar 8 yang merupakan grafik distribusi kecepatan pada *outlet* dapat dilihat mempunyai karakteristik besar nilai kecepatan terhadap sisi *outlet* atau discharger yang cenderung sama, disimulasi ini putaran antara rpm 1194 dan rpm 1223 terjadi selisih yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan rpm 1468 sehingga dapat dibuat

kesimpulan kecepatan mengalami kenaikan seiring bertambahnya putaran *fan*. Dilihat di *outlet* posisi -0,8531m sampai -1,01301 hasil kecepatan bernilai mendekati nilai 0 m/s² hal itu menunjukkan bahwa kecepatan minimum terjadi di area tersebut hal itu terjadi karena ketika *impeller* mengeluarkan gaya *centrifugal* untuk meneruskan aliran fluida, aliran mengalir ke daerah radius *volute tongue* terjadi tabrakan dan itu mengakibatkan kecepatan di daerah tersebut mengalami penurunan kecepatan hingga $V = 0$, yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Fan efficiency merupakan rasio *fan output power* terhadap *fan input power*. Ini juga dapat disebut efisiensi *total*. Berdasarkan hasil simulasi *centrifugal fan* di variasi putaran *centrifugal fan* pada penelitian ini menggunakan sebanyak 5 variasi rpm yang berbeda dan dilakukan perhitungan didapatkan nilai efisiensi seperti pada Gambar 9 yang merupakan grafik efisiensi terhadap putaran *centrifugal fan* pada putaran 1194 rpm memiliki nilai efisiensi 61,73% dan putaran 1223 rpm memiliki efisiensi terbesar dengan nilai 61,74%, dan putaran 1468 rpm memiliki efisiensi terkecil dengan nilai 61,58%. Dari hasil tersebut grafik efisiensi terhadap rpm membentuk garis parabola dimana semakin besar nilai putaran fan belum tentu nilai efisiensi juga akan semakin besar itu terverifikasi dengan data spesifikasi aktual lapangan dengan nilai range putaran minimum 1194 rpm sampai maksimum 1468 rpm.

Gambar 8. Grafik *kecepatan fluida* pada *outlet*

Gambar 9. Efisiensi terhadap putaran *centrifugal fan*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis mengenai pengaruh variasi putaran *centrifugal fan* terhadap karakteristik aliran fluida menggunakan metode komputasi *dinamika fluida* dapat disimpulkan bahwa distribusi tekanan dan distribusi kecepatan semakin besar luasan di *volute*, semakin besar nilai *pressure* total. Pada distribusi kecepatan *outlet* posisi -0,8531m sampai -1,01301 hasil kecepatan fluida bernilai mendekati nilai 0 m/s² hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan minimum di area tersebut akibat profil *volute* yaitu radius *volute tongue* terjadi tabrakan aliran dan itu mengakibatkan kecepatan di daerah tersebut mengalami penurunan kecepatan hingga $V = 0$. Pada variasi putaran *centrifugal fan* membentuk garis parabola dimana semakin besar nilai putaran *fan* belum tentu nilai efisiensi juga akan semakin besar itu terverifikasi dengan data spesifikasi aktual lapangan dengan nilai *range* putaran minimum 1194 rpm sampai maksimum 1468 rpm.

REFERENSI

- [1] S. R. Patil, S. T. Chavan, N. S. Jadhav, and S. S. Vadgeri, "Effect of Volute Tongue Clearance Variation on Performance of Centrifugal Blower by Numerical and Experimental Analysis," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 3883–3894, 2018.
- [2] C. Stadium, P. M. Palem, and A. Vinutha, "The Effect of Impeller Blade Design on Centrifugal Blower – CFD Approach," *Int. J. Innov. Technol. Res.*, vol. 5, no. 5, pp. 6915–6918, 2017.
- [3] ASME (American Society of Mechanical Engineer) PTC 11, vol. 2008.
- [4] B. D. Baloni, S. A. Channiwala, and S. N. R. Harsha, "Design, Development and Analysis of Centrifugal Blower," *J. Inst. Eng. Ser. C*, vol. 99, no. 3, pp. 277–284, 2018.
- [5] G. Chen, W. Xu, J. Zhao, and H. Zhang, "Energy-Saving Performance Of Flap-Adjustment-Based Centrifugal Fan," *J. Energies MDPI*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2018.
- [6] X. Zhang, Y. Zhang, and C. Lu, "Flow And Noise Characteristics Of Centrifugal Fan In Low Pressure Environment," *J. Process. MDPI*, vol. 8, no. 8, 2020.

- [7] N. Madhwesh, K. Vasudeva Karanth, and N. Yagnesh Sharma, "Effect Of Innovative Circular Shroud Fences On A Centrifugal Fan For Augmented Performance - A Numerical Analysis," J. Mech. Sci. Technol., vol. 32, no. 1, pp. 185–197, 2018.
- [8] S. Zhou, H. Zhou, K. Yang, H. Dong, and Z. Gao, "Research On Blade Design Method Of Multi-Blade Centrifugal Fan For Building Efficient Ventilation Based On Hicks-Henne Function," Sustain. Energy Technol. Assessments, vol. 43, no. December 2020.
- [9] V. Chaudhari, V. Parmar, and M. J. Zinzuvadia, "Parametric Study and Geometrical Optimization of Centrifugal Blower," Kalpa Publ. Eng., vol. 1, pp. 96–88, 2018.
- [10] I. Djodikusumo, I. N. Diasta, I. S. Awaludin, and A. Iriawan, "Desain dan Pemodelan Sudu Primary Air Fan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)," Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XV, no. Snttm Xv, pp. 5–6, 2016.
- [11] K. C. More, S. Dongre, and G. P. Deshmukh, "Experimental And Numerical Analysis Of Vibrations In Impeller Of Centrifugal Blower," SN Appl. Sci., vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [12] L. Umamaheswararao, M. Tech, V. Chandrasimha, and K. S. A. Al-Khobar, "Performance Optimization of Centrifugal Fan with Ducts through CFD Simulation of Impeller Design," Int. J. Mech. Eng., vol. 5, pp. 1–7, 2020.
- [13] Y. Lun, L. Lin, H. He, X. Ye, Z. Zhu, and Y. Wei, "Effects Of Vortex Structure On Performance Characteristics Of A Multiblade Fan With Inclined Tongue," Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy, vol. 233, no. 8, pp. 1007–1021, 2019.
- [14] C. N. E. Engineering, Boiler Operation Manual Indonesia PT PJB UBJ O&M PT PJB UBJ O&M PLTU Tanjung Awar-Awar 2 x 350 MW. .
- [15] ANSYS, ANSYS, Inc, Ansys Fluent User's Guide 14.5. 2012.
- [16] A. J. Zulfikar, A. Sofyan and M. Y. Siahaan, "Numerical Simulation on The Onion Dryer Frame Capacity of 5 kg/hour," JMEMME (Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy), vol. 2, no. 2, p. 86–92, 2018.
- [17] A. Sofyan, J. Glusevic, A.J. Zulfikar, B. Umroh, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Mesin Pengering Bawang Menggunakan Perangkat Lunak Ansys Apdl 15.0", JMEMME (Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy), vol. 3, no. 1, p. 20–28, 2019.
- [18] A. J. Zulfikar and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova," Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2021.