

RANCANG ULANG DESAIN *IMPELLER* KIPAS SENTRIFUGAL SISTEM PENDINGIN MESIN SEPEDA MOTOR SKUTIK DENGAN METODE *REVERSE ENGINEERING*

Muhamad Dewangga¹, Mohamad Yamin²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma,
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, 16424, Indonesia

² Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma,
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, 16424, Indonesia

*Email: mohay@staff.gunadarma.ac.id

Diterima: 21 Februari 2020

Direvisi: 12 Maret 2020

Disetujui: 4 Juli 2020

ABSTRAK

Kipas jenis sentrifugal telah banyak digunakan sebagai sistem pendinginan mesin pada sepeda motor jenis skutik. Salah satu parameter yang menunjukkan kinerja dari kipas sentrifugal dalam mengatasi panas kerja mesin adalah besar volumetrik udara yang dihasilkan. Volumetrik udara yang dihasilkan oleh kipas sentrifugal yang telah digunakan pada sepeda motor jenis skutik masih dapat ditingkatkan dengan cara merancang ulang dengan mengubah desain sudu, jumlah keseluruhan sudu dan sudut *inlet impeller*. Metode *reverse engineering* diterapkan untuk mendapatkan desain referensi berupa data geometri serta dimensi dari *part impeller* melalui teknik *non-contact laser scanning*. Metode simulasi analisis *computational fluid dynamics* (CFD) juga diterapkan untuk mempelajari kinerja dari masing-masing desain *impeller*. Hasil simulasi analisis CFD menunjukkan bahwa keseluruhan desain hasil rancang ulang jenis sudu *forward curved* menghasilkan volumetrik udara yang lebih besar, khususnya dengan sudut sudu *inlet* 50° dan jumlah sudu 20 18,85% lebih besar dari desain *impeller* referensi dengan jenis *backward curved*.

Kata kunci: Impeller, Kipas Sentrifugal, Reverse Engineering, Computational Fluid Dynamics

ABSTRACT

Centrifugal fans have been widely used as engine cooling systems on scooter type motorcycles. Air flow rate is one of the parameters which shows the performance of the centrifugal fans in overcoming the engine's working heat. The flow rate of the current centrifugal fans that have been used by many scooter type motorcycles can still be improved by redesigning the blade design, the total number of blades and impeller inlet angles. The reverse engineering method is applied to obtain a reference impeller design in the form of geometry data and dimensions of the impeller part through a non-contact laser scanning method. Computational fluid dynamics (CFD) methods are also applied to study the performance of each impeller design. The CFD analysis simulation results shows that the overall design of the forward curved blades results in greater air flow rate than the backward curved reference design. The forward curved design with 50° of inlet blade angle and 20 blade number improved the air flow rate by 18.85%

Keywords: Impeller, Centrifugal Fan, Reverse Engineering, Computational Fluid Dynamics

PENDAHULUAN

Mesin sepeda motor melepaskan panas ke atmosfer dengan cara konveksi. Dinding bagian luar blok mesin dibuat dengan berbentuk sirip yang bertujuan agar blok mesin lebih mudah melepaskan panas dan memperbesar area penyerapan udara. Permukaan mesin yang panas harus mendapatkan aliran udara dengan jumlah yang memadai, dengan demikian optimasi terhadap sistem pendinginan penting untuk dilakukan (Kumar, V., *et al.*, 2008). Selain konveksi alami dengan memanfaatkan udara bebas yang didapat saat sepeda motor melaju, kipas jenis sentrifugal juga diterapkan sebagai sistem pendinginan tambahan pada mesin sepeda motor dengan prinsip konveksi paksa. Kipas jenis sentrifugal ini hanya dipasang pada bagian belakang poros *alternator*, sehingga memiliki desain yang relatif ringkas serta biaya yang rendah namun tetap efisien dalam hal sistem pendinginan mesin. Sistem pendinginan ini umumnya diterapkan pada kondisi di mana konveksi alami tidak cukup dalam menangani suhu kerja yang tinggi pada suatu mesin, atau penggunaan sistem pendinginan dengan bantuan cairan (*liquid cooling*) dianggap terlalu kompleks.

Kinerja kipas sentrifugal yang telah digunakan sebagai sistem pendinginan pada mesin sepeda motor jenis skutik masih dapat ditingkatkan dari segi volumetrik udara yang dihasilkan, salah satunya dengan cara mengubah parameter pada desain sudu kipas. Adapun beberapa pertimbangan dalam menentukan desain kipas sentrifugal, seperti bentuk desain sudu kipas, jumlah sudu kipas, serta dimensi sudu *inlet* kipas. Perbedaan desain kipas tersebut akan memengaruhi variabel yang dihasilkan, seperti kecepatan aliran udara, tekanan aliran udara, dan volumetrik aliran udara. Analisis aliran fluida udara yang dihasilkan dari desain kipas sentrifugal dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan bantuan perangkat lunak *Autodesk CFD* 2019.

Reverse Engineering memiliki peran penting dalam desain dan manufaktur melalui akuisisi data dan teknologi pemrosesan dalam pengembangan produk. Metode *reverse engineering* dianggap memiliki beberapa keunggulan dalam penerapannya, di antaranya yaitu mengurangi biaya dan waktu dalam tahap

pengembangan produk. Adapun prinsip kerja dari *reverse engineering* yaitu mengekstrak informasi dari suatu produk berupa bentuk geometri, dimensi, hingga jenis material yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk memodifikasi maupun produksi produk. Metode *reverse engineering* diterapkan untuk memperoleh informasi bentuk geometri dan dimensi dari sebuah *part* kipas jenis sentrifugal yang digunakan sebagai sistem pendinginan mesin sepeda motor jenis skutik. Informasi tersebut diperoleh dari proses digitalisasi metode *non contact laser 3D scanning* yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dasar untuk melakukan rancang ulang desain kipas pada perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD) dan simulasi analisis aliran fluida udara pada *Computer Aided Engineering* (CAE). Perkembangan metode CFD yang sangat pesat telah menyediakan metode penelitian yang kuat dalam melakukan optimasi suatu kipas. CFD telah banyak digunakan pada bidang teknik profesional karena memiliki peran penting dalam menghemat biaya dan mengurangi waktu penelitian dan pengembangan (Huang, *et al.*, 2013)

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain *impeller* kipas sentrifugal baru yang menghasilkan volumetrik udara yang lebih besar dari desain asli untuk mengatasi panas kerja yang dihasilkan oleh mesin sepeda motor jenis skutik. Metode yang diterapkan untuk mendapatkan desain *impeller* tersebut adalah dengan mengintegrasikan metode *reverse engineering* dan metode *computational fluid dynamics* (CFD) untuk melakukan rancang ulang desain kipas jenis sentrifugal yang digunakan sebagai sistem pendinginan mesin sepeda motor jenis skutik. Metode *reverse engineering* diterapkan untuk mendapatkan data geometri dari desain asli kipas, yang selanjutnya digunakan sebagai data acuan untuk melakukan rancang ulang. Metode *computational fluid dynamics* diterapkan untuk melakukan simulasi aliran fluida yang dihasilkan oleh desain asli, dan desain hasil rancang ulang.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengoptimalkan sistem pendinginan mesin, salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Kumar, *et al.*,

2008) mereka melakukan 3 cara untuk melakukan optimasi terhadap sistem pendinginan udara pada mesin sepeda motor skutik 4 langkah, yaitu melakukan optimasi terhadap geometri *cowl* untuk mengurangi resistensi aliran udara, memilih dan mengubah ukuran *impeller* kipas agar tahan terhadap suhu tinggi yang dihasilkan oleh mesin, serta melakukan optimasi terhadap profil dan bentuk sudu kipas untuk meningkatkan efisiensi. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu didapat pengurangan suhu sebesar 24°C dari target awal yaitu sebesar 20°C. Target tersebut dicapai salah satunya dengan cara mengoptimalkan desain kipas untuk meningkatkan laju aliran masa udara.

(Singh, *et al.*, 2011) juga melakukan penelitian mengenai kipas sentrifugal yang digunakan sebagai sistem pendinginan mesin sepeda motor. Penelitian dilakukan terhadap kipas sentrifugal jenis *backward* dan *forward-curved* dengan mempelajari efek dari parameter geometri yang berbeda-beda, yaitu jumlah sudu, sudut *outlet*, dan *diameter ratio*. Efek dari ketiga parameter geometri tersebut terhadap koefisien daya, koefisien aliran, serta efisiensi dan koefisien aliran. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sudu akan berdampak terhadap koefisien aliran yang diiringi dengan meningkatnya koefisien daya, hal tersebut juga menghasilkan koefisien aliran dan efisiensi yang baik, yang disebabkan oleh arah aliran yang baik. Hasil lain menunjukkan bahwa kipas dengan jenis *forward curved* menghasilkan efisiensi yang lebih rendah namun menghasilkan laju aliran massa yang lebih besar jika dibandingkan dengan kipas dengan jenis sudu *backward curved*. Efek dari parameter *diameter ratio* juga diketahui dapat memengaruhi efisiensi dari kinerja kipas sentrifugal.

Menurut (Huang, *et al.*, 2013) kipas sentrifugal memiliki struktur yang kompak sehingga banyak digunakan sebagai sistem pendinginan alat elektronik, dengan demikian laju aliran udara dan efisiensi pada kipas sentrifugal perlu ditingkatkan dengan cara merancang ulang desain sudu. (Amladimanesh, *et al.*, 2015) melakukan penelitian pengaruh jumlah sudu kipas kipas sentrifugal dengan jenis *forward curved* dengan sudu airfoil NACA 4412 terhadap turbulensi aliran serta tekanan yang

dihasilkan oleh kipas sentrifugal melalui analisis numerik. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah jumlah sudu 20 menghasilkan perfoma kipas yang paling efisien.

Penelitian lain juga dilakukan oleh (Brusiani, *et al.*, 2014), mereka melakukan penelitian mengenai sistem pendinginan pada sebuah alat pemotong rumput yang menggunakan mesin motor bakar 2 langkah. Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan tersebut adalah memprediksi aspek kritical yang berhubungan dengan efisiensi sistem pendinginan mesin motor bakar 2 langkah yang digunakan pada alat pemotong rumput melalui analisis CFD. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah efisiensi dari sistem pendinginan meningkat seiring dengan kecepatan putaran mesin yang juga meningkat. Hal ini disebabkan oleh laju aliran masa pendinginan lebih besar daripada gradien beban panas yang terjadi panas mesin. (Khant, *et al.*, 2014) menerapkan metode *reverse engineering* terhadap sebuah *blower* sentrifugal untuk melakukan perbaikan desain. Metode *reverse engineering* diterapkan karena dianggap dapat mengurangi waktu *lead time* proses perancangan. Metode tersebut dilakukan dengan cara membongkar seluruh bagian dari *blower* dan mengukur seluruh geometrinya dengan menggunakan beberapa teknik dan alat ukur, salah satunya adalah ada bagian *impeller* desain dilakukan dengan cara menggambarkan titik kordinat yang kemudian dimodelkan pada perangkat lunak MATLAB. Model geometri 3D juga dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak CATIA V5. Berdasarkan simulasi performa *blower* sentrifugal menunjukkan bahwa parameter sudut *inlet*, lebar *inlet*, dan kecepatan putaran *impeller* dapat memengaruhi laju aliran udara pada *outlet*. Hasil dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa *lead time* untuk melakukan perancangan model dapat dipersingkat, serta model yang didapat dari metode *reverse engineering* dapat digunakan sebagai pemilihan sudut dan lebar *inlet* serta kecepatan putaran *impeller* untuk mendapatkan nilai laju aliran sesuai dengan yang diharapkan.

(Engel, *et al.*, 2019) mengintegrasikan metode *reverse engineering* dan inspeksi kegagalan

dengan metode *finite element method* (FEM) pada perbaikan sebuah *part* mekanik di saat tidak tersedianya data spesifikasi dari desain original. Metode *reverse engineering* dilakukan dengan metode *non-contact laser scanning* untuk mendapatkan 3D CAD Model dari model *part* asli, yang kemudian dilakukan analisis kegagalan dengan bantuan perangkat lunak *abaqus*. Hasil dari penelitian disimpulkan bahwa integrasi antara metode *reverse engineering* dan analisis kegagalan dengan metode FEM dapat diterapkan pada suatu kondisi untuk mendapatkan sebuah desain *part* baru yang berfungsi sebagai pengganti, dengan spesifikasi yang lebih baik dari desain *part* asli.

(Sholikin, dan Carolus Bintoro, 2016) menerapkan metode *reverse engineering* dengan teknik *optical 3D scanning* menganalisis tegangan pada *bracket engine mounting*. Analisis tegangan dilakukan pada perangkat lunak CAE dengan metode elemen hingga. Model CAD yang dianalisis, merupakan hasil dari pemodelan yang dibentuk dari data .stl hasil proses *scanning*.

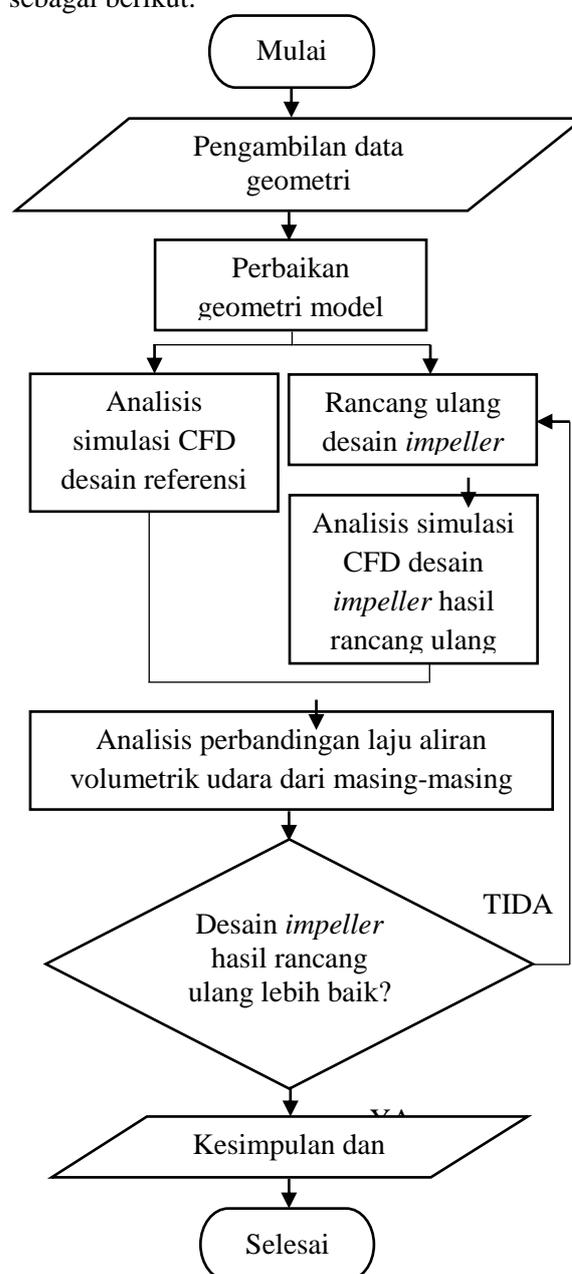
Perbandingan selisih ukuran dimensi antara model dari hasil *reverse engineering* dan pengerjaan hasil CNC sebelumnya juga telah dilakukan oleh (Rahman, Y., et al., 2017). Teknik *reverse engineering* yang digunakan adalah *optical laser scanning* dan simulasi pengerjaan CNC. Hasil penelitian menunjukkan adanya selisih ukuran model sebesar 0,5 hingga 2mm.

Berdasarkan studi literatur dari penelitian sebelumnya, bahwa permukaan mesin yang panas harus mendapatkan aliran udara dengan jumlah yang memadai, dengan demikian optimasi terhadap sistem pendinginan penting untuk dilakukan (Kumar, V., et al., 2008) maka dapat disimpulkan bahwa rancang ulang desain *impeller* perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem pendinginan dalam mengatasi panas kerja yang dihasilkan oleh mesin sepeda motor. Metode *reverse engineering* diterapkan untuk mendapatkan data geometri dan dimensi model CAD dari bentuk fisik *impeller* kipas sentrifugal pada kondisi tidak tersedianya data spesifikasi bentuk geometri mengenai *impeller* tersebut. Kipas jenis sentrifugal dengan desain sudu jenis *forward curved* juga diketahui memiliki karakteristik yang lebih baik dalam

menghasilkan volumetrik udara dengan berdasarkan pertimbangan tersebut, desain awal sudu kipas jenis *backward curved* akan dimodifikasi menjadi jenis *forward curved*.

METODE PENELITIAN

Adapun alur penelitian yang dilakukan terdiri dari pengambilan data bentuk geometri *impeller*, perancangan ulang desain *impeller*, analisis simulasi CFD dari tiap-tiap desain, analisis perbandingan hasil simulasi CFD dari tiap-tiap desain, dan penarikan kesimpulan serta pemberian saran. Seluruh alur penelitian tersebut digambarkan dengan diagram alur sebagai berikut.



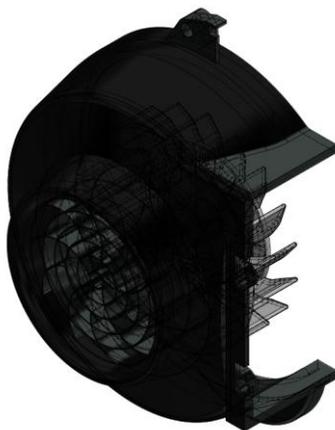
Gambar 1. Diagram alur penelitian

Kipas sentrifugal yang digunakan pada sistem pendinginan mesin terdapat di dalam housing yang terletak pada sisi kanan bawah sepeda motor.



Gambar 2. *Impeller* kipas sentrifugal pada sistem pendinginan mesin sepeda Motor

Posisi penempatan kipas tersebut berdekatan langsung dengan bagian blok mesin sepeda motor, sehingga aliran fluida udara dapat langsung terdistribusikan ke seluruh bagian blok mesin sepeda motor untuk membantu pelepasan panas melalui sirip-sirip yang berada di sekeliling dinding blok mesin. Kipas sentrifugal terhubung langsung dengan *generator*, yang mengakibatkan putaran kipas ditentukan oleh



Gambar 3. Kipas sentrifugal pada sistem pendinginan mesin sepeda motor jenis skutik

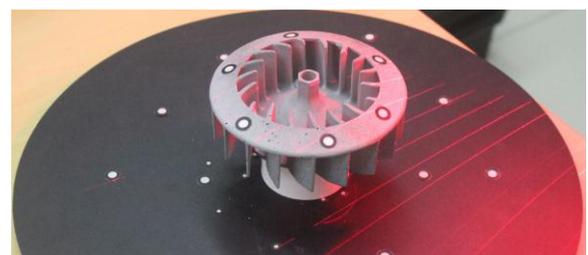
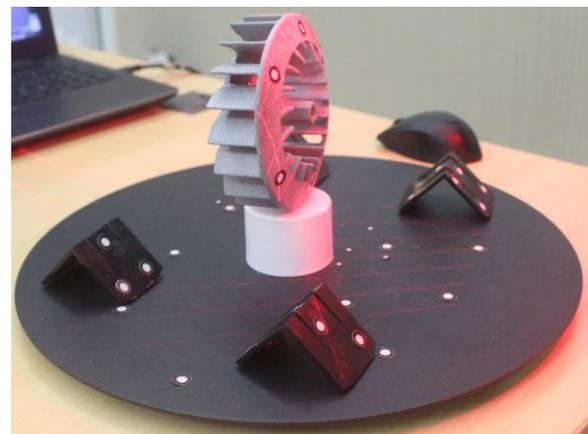
putaran generator yang di mana putaran tersebut juga ditentukan oleh putaran mesin sepeda motor. Desain *impeller* kipas awal yang digunakan sebagai referensi memiliki 18 sudu jenis *backward curved* dengan sudut *inlet* sebesar 55°.

Metode Pengambilan data

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan sebanyak dua tahap. Pengambilan data pertama dilakukan untuk memperoleh data geometri dalam bentuk model CAD desain *impeller*, perbaikan geometri model CAD, serta perancangan ulang desain *impeller* yang mengacu kepada desain referensi. Pengambilan data selanjutnya dilakukan dengan melakukan analisis melalui simulasi *computational fluid dynamics* untuk mengetahui laju aliran volumetrik udara yang dihasilkan dari masing-masing desain *impeller*.

Metode Reverse Engineering

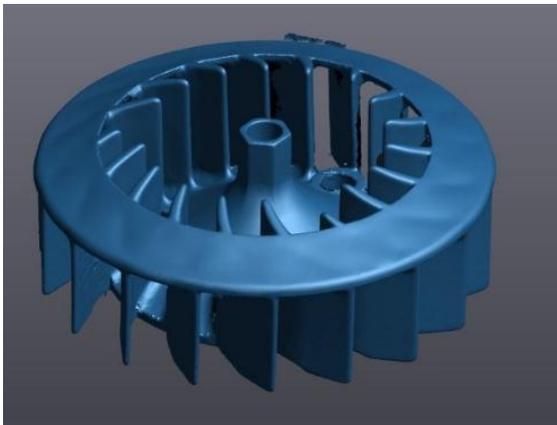
Metode *reverse engineering* diterapkan untuk memperoleh informasi bentuk geometri dan dimensi dari sebuah *impeller* kipas jenis sentrifugal yang digunakan sebagai sistem pendinginan mesin sepeda motor. Informasi tersebut diperoleh dari proses digitalisasi dengan metode *non-contact laser scanning* menggunakan *Creaform HandySCAN 700™*. *Reverse engineering* menjadi suatu solusi karena tidak tersedianya data CAD asli dari *part impeller* kipas sentrifugal. *Scanning* dilakukan pada dua perspektif yang berbeda,



Gambar 4. Proses *scanning impeller* dengan *Creaform HandySCAN 700™*

pertama pada bagian atas objek *impeller*, dan dilanjutkan pada bagian sisi samping dari objek *impeller*.

Objek *impeller* diletakkan pada sebuah meja putar yang berfungsi agar objek *impeller* dapat bergerak secara berputar dengan stabil pada saat proses *scanning*. Penggunaan *scannner Creaform HandySCAN 700™* serta perangkat lunak *VXelement* pada proses *scanning* memungkinkan untuk membentuk *surfaces* (permukaan) objek 3D berupa *mesh* secara langsung tanpa melewati tahapan titik awan (*point cloud*) terlebih dahulu, sehingga waktu pemerolehan data geometri dengan format *.STL* dapat berkurang.

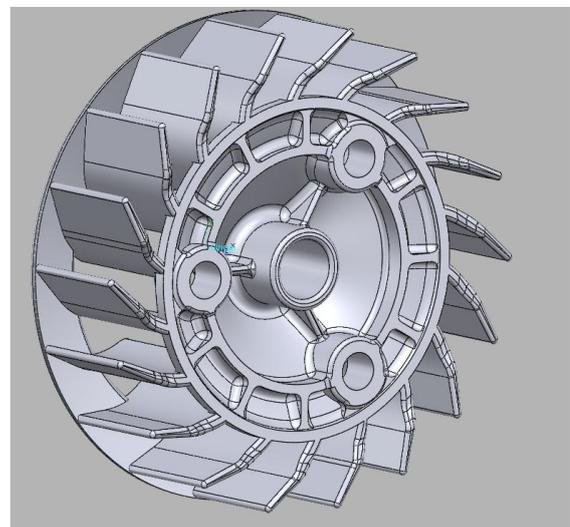
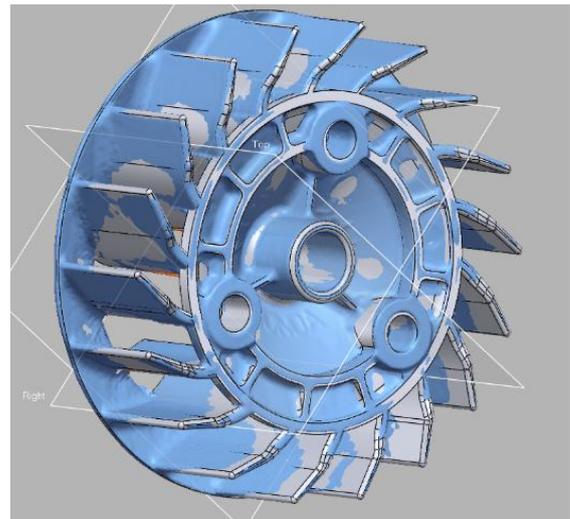


Gambar 5. Hasil keluaran objek 3D dengan format *STL* dari tahap metode *scanning* pada perangkat lunak *VXelements*

Creaform HandySCAN 700™ terhubung dengan PC Laptop *HP ZBook 15 Workstation* selama proses *scanning* berlangsung, sehingga proses dan hasil *scanning* ditampilkan secara *real time* melalui perangkat lunak *VXelements*. Adapun beberapa fitur pada perangkat lunak *VXelements* yang digunakan pada saat proses *scanning* yaitu penghapusan objek yang tidak termasuk pada bentuk geometri *impeller*, serta fitur *pause* dan *continue scanning* pada saat perubahan perspektif proses *scanning* pada bagian atas dan sisi samping objek *impeller*.

Perbaikan Geometri Model CAD

Bentuk geometri dari hasil keluaran objek 3D dengan format *.STL* dari tahap metode *scanning* tidak seluruhnya terpenuhi, hal ini disebabkan oleh ketidaksempurnaan proses *scanning* yang menyebabkan adanya bagian cacat pada



Gambar 6. Perbaikan (a) dan pembentukan (b) objek 3D format *solid* pada perangkat lunak *Geomagic Design X*

impeller yang selanjutnya diperbaiki dan diubah menjadi objek 3D dengan format *solid*. Hal ini ditujukan agar objek 3D dapat dirancang ulang dengan perangkat lunak CAD serta dilakukan simulasi analisis volumetrik udara yang dihasilkan. Perbaikan serta pembentukan geometri objek 3D format *solid* dilakukan pada perangkat lunak *Geomagic Design X*. Hasil keluaran yang dihasilkan dari tahapan ini adalah sebuah objek 3D *impeller* kipas sentrifugal format *solid* yang bentuk geometrinya sudah terpenuhi seluruhnya. Objek 3D *impeller* format *solid* memiliki skala perbandingan dimensi 1:1 dengan objek fisik aslinya.

Perancangan Ulang Desain *Impeller* Kipas Sentrifugal

Perancangan ulang desain *impeller* kipas sentrifugal dilakukan dengan mengacu pada desain awal dari model CAD *impeller* yaitu desain sudu dengan jenis *backward curved*, dengan demikian rancang ulang dilakukan hanya pada desain bagian sudu kipas tanpa mengubah dimensi keseluruhan *impeller*.

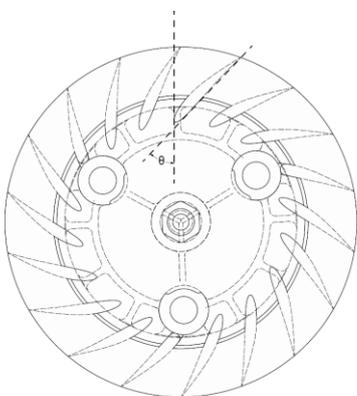


Gambar 7. Airfoil NACA 4412

Perancangan ulang desain *impeller* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak CAD *Autodesk Inventor Pro 2020* secara berulang dengan mengubah sudut sudu *inlet*, serta jumlah keseluruhan sudu. Profil sudu yang digunakan, mengacu pada desain *airfoil* NACA 4412. Penggunaan profil dalam perancangan sudu *impeller* jenis *forward curved* tersebut dilakukan atas pertimbangan pada penelitian sebelumnya (Lin, S. C., *et al.*, 2002) yang diketahui bahwa profil *airfoil* NACA 4412 memiliki karakteristik kinerja yang baik dalam penggunaannya sebagai sistem pendinginan pada putaran *impeller* yang rendah.

Perancangan dilakukan sebanyak 6 kali dengan mengubah desain sudu kipas menjadi *forward curved* dengan 6 sudut *inlet* (θ) yang berbeda, yaitu 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, dan 60°. Pemilihan 6 variasi besar sudut *inlet* tersebut dilakukan atas dasar pertimbangan sudut sudu *inlet* desain awal yaitu sebesar 55°.

Perubahan jumlah sudu juga dilakukan pada desain yang memiliki karakteristik kinerja yang

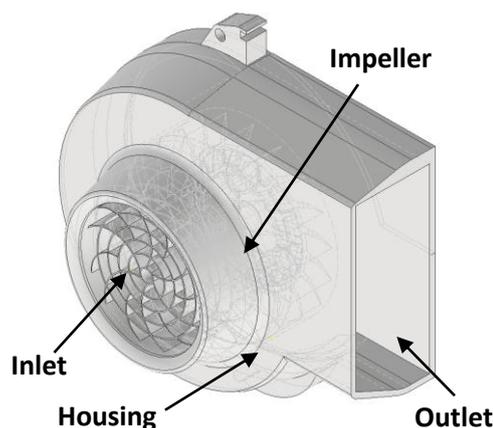


Gambar 8. Sketsa 2D Airfoil 4412 *impeller* jenis *forward curved* dengan sudut *inlet* (θ)

paling baik. Perubahan jumlah sudu tersebut dilakukan untuk mengetahui efek dari jumlah sudu terhadap volumetrik udara yang dihasilkan.

Analisis Simulasi CFD

Desain awal *impeller* yang digunakan sebagai acuan dan desain hasil rancang ulang perlu dilakukan analisis untuk mengetahui volumetrik udara yang dihasilkan dari masing-masing desain. Komputasi *mesh*, penetapan kondisi batas, analisis aliran fluida udara, serta *post processing* dilakukan dengan metode *computational fluid dynamics* (CFD) dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk CFD 2019*. Geometri *impeller* dalam bentuk CAD yang akan dilakukan analisis, terlebih dahulu dirakit (*assembly*) dengan *housing* atau *volute*. Perakitan *impeller* dan *housing* dilakukan pada perangkat lunak *Autodesk Inventor Pro 2020*.



Gambar 9. Model CAD *assembly* *impeller* dan *housing*

Penambahan *rotating region* dilakukan agar putaran pada *impeller* pada saat pengujian dapat didefinisikan dan dianalisis. *Rotating region* memiliki bentuk geometri berupa silinder yang menutupi keseluruhan geometri *impeller*.

Tabel 1. Kondisi batas pengujian

Material <i>Solid</i>	<i>Polypropylene</i>	
Material <i>Fluid</i>	Udara	
Putaran <i>Impeller</i> (RPM)	3000, 3500,	4000, 4500 dan 5000 -Y axis
Tekanan pada <i>inlet</i> (Pa)	0	
Tekanan pada <i>outlet</i> (Pa)	0	

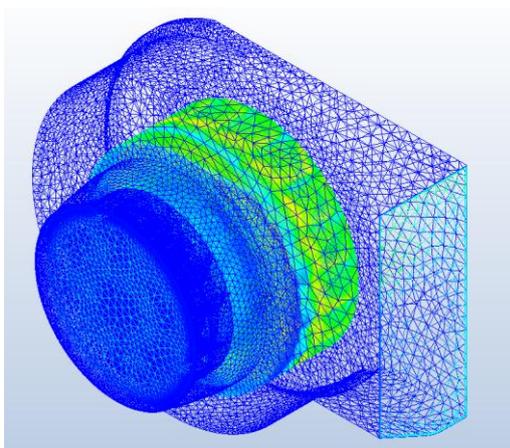
Rotating region didefinisikan berputar dengan putaran 3000, 3500, 4000, 4500, dan 5000 RPM terhadap sumbu -Y. Jenis aliran fluida yang digunakan yaitu *turbulence* dengan model *k-epsilon*. Dalam melakukan analisis aliran fluida udara yang dihasilkan oleh suatu putaran *impeller*, diperlukan iterasi yang cukup agar menghasilkan perhitungan yang konvergen dan akurat. Maka pada pengujian ini digunakan sebanyak 1000 iterasi hingga mencapai konvergensi penuh. Proses analisis simulasi CFD dari masing-masing desain dilakukan pada sistem *cloud* dengan durasi proses sekitar 10 hingga 12 jam.

Meshing

Meshing dilakukan secara *automatic sizing* secara otomatis oleh perangkat lunak *autodesk CFD 2019*. Distribusi *mesh* dilakukan secara seragam, dengan demikian seluruh entitas memiliki ukuran yang sama berdasarkan *length scale* terkecil. Hasil *mesh* tiap desain menghasilkan jumlah elements dan nodes yang berbeda-beda, berikut hasil dari proses *meshing*.

Tabel 2. Hasil *meshing* dari tiap model

Desain	Elements	Nodes
Referensi	5831993	1383593
Forward 35°	3024919	721519
Forward 40°	3695811	888140
Forward 45°	5650774	1312951
Forward 50°	2233422	561091
Forward 55°	3917078	955180
Forward 60°	2173281	548758



Gambar 10. Pemodelan *mesh impeller* dan *housing*

Laju aliran volumetrik

Laju aliran volumetrik pada sebuah kipas sentrifugal merupakan salah satu karakteristik kinerja yang dihasilkan. Laju alir volumetrik didefinisikan sebagai besar volume aliran fluida yang melewati luas penampang per satuan waktu. Laju alir volumetrik dinoatasikan dengan Q yang memiliki persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{Ad}{t} = A \frac{d}{t} = Av \quad (1)$$

Di mana: A = Luas penampang *outlet* (m²)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

Seluruh perhitungan volumetrik udara yang dihasilkan oleh masing-masing desain kipas sentrifugal dilakukan dengan simulasi CFD pada perangkat lunak *Autodesk CFD 2019*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *Reverse Engineering*

Berdasarkan metode *reverse engineering* yang digunakan, yaitu *non-contact laser scanning*, serta perbaikan model CAD dengan perangkat lunak, didapat sebuah model CAD 3D *impeller* dengan jenis sudu *backward curved* yang digunakan sebagai model referensi untuk melakukan rancang ulang desain. Metode *reverse engineering* diterapkan karena tidak tersedianya data pendukung mengenai dimensi serta geometri dari desain model asli impeller kipas sentrifugal yang digunakan sebagai sistem pendinginan udara mesin sepeda motor jenis skutik. Penggunaan metode *non-contact laser scanning* dalam pengambilan data dimensi serta geometri model, terbukti mampu menghasilkan model *solid CAD* yang akurat dengan perbandingan dimensi 1:1 dengan model asli meski dengan geometri dan dimensi yang relatif kompleks, dengan demikian model *solid CAD* yang diperoleh dapat digunakan sebagai model referensi untuk melakukan perancangan ulang desain yang ditujukan untuk mendapatkan laju aliran volumetrik udara yang lebih besar.

Hasil Analisis Simulasi CFD

Berdasarkan hasil analisis simulasi CFD terhadap model referensi kipas sentrifugal dengan jenis *backward curved* didapat data sebagai berikut.

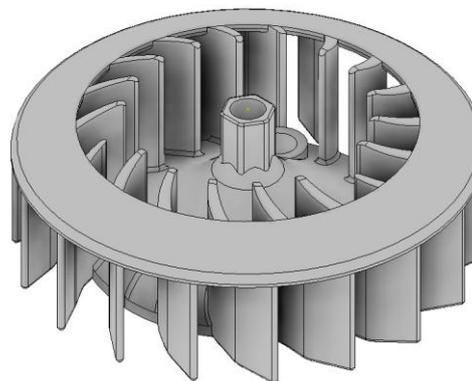
Tabel 3. Hasil analisis simulasi CFD desain referensi *impeller* jenis *backward curved*

Putaran <i>Impeller</i> (RPM)	Volumetrik Laju Aliran Udara, Q (m ³ /s)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)
3000	0,0393025	4,65578
3500	0,0464549	5,50305
4000	0,0529821	6,27627
4500	0,0595756	7,05734
5000	0,066844	7,91836
<hr/>		
35°	0,046909	5,55695
3500	0,055214	6,54069
4000	0,0634125	7,51186
4500	0,071104	8,42306
5000	0,0784708	9,29567
<hr/>		
40°	0,0459402	5,44208
3500	0,0538111	6,37448
4000	0,0619707	7,34106
4500	0,0700317	8,29597
5000	0,0776388	9,19711
<hr/>		
45°	0,0452667	5,3623
3500	0,0537249	6,36426
4000	0,0619082	7,33365
4500	0,0702913	8,32671
5000	0,0761397	9,01952

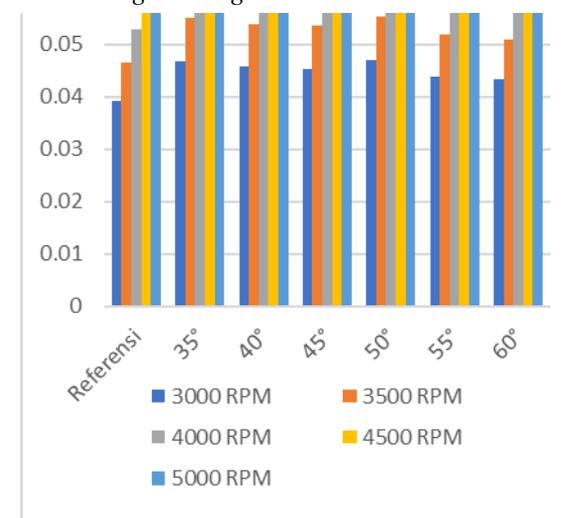
50°	3000	0,0470558	5,57428
	3500	0,055371	6,55931
	4000	0,0637109	7,54725
	4500	0,0720082	8,53015
	5000	0,0789421	9,35156
<hr/>			
55°	3000	0,0438961	5,19996
	3500	0,0519702	6,15643
	4000	0,0598945	7,09514
	4500	0,0671907	7,95947
	5000	0,073769	8,73874
<hr/>			
60°	3000	0,0432911	5,12831
	3500	0,0508467	6,02335
	4000	0,0581809	6,89215
	4500	0,0658751	7,80362
	5000	0,0707038	8,37563

Adapun hasil analisis CFD terhadap 6 model hasil perancangan ulang dengan jenis *forward curved* didapat data sebagai berikut:

Berdasarkan perbandingan data laju aliran volumetrik udara yang dihasilkan dari desain *impeller* referensi pada gambar 12 yaitu grafik perbandingan nilai yang dihasilkan dari tiap desain *impeller* dapat diketahui bahwa desain



Gambar 11. Model CAD *impeller* hasil *reverse engineering*

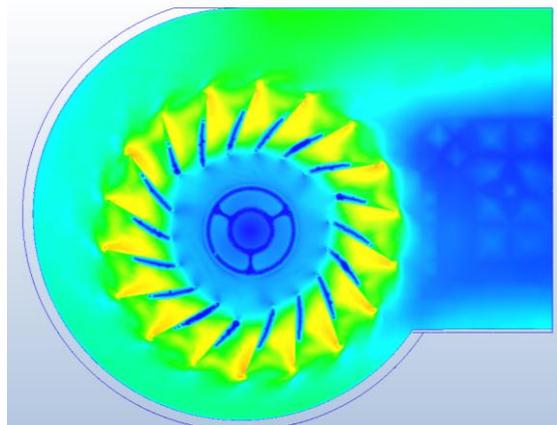


Gambar 12. Grafik perbandingan nilai volumetrik udara yang dihasilkan dari tiap

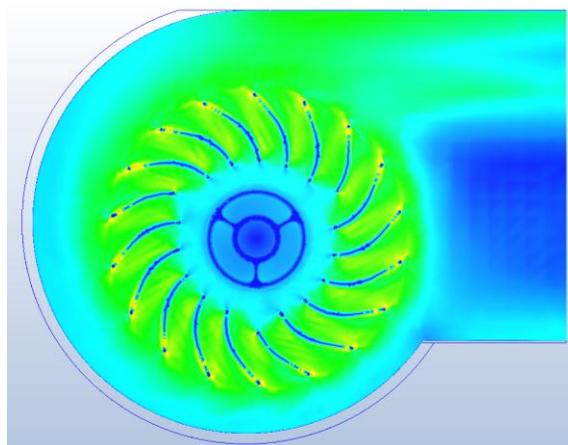
impeller hasil rancang ulang dengan jenis *forward curved* secara keseluruhan menghasilkan laju alir volumetrik fluida udara yang lebih besar jika dibandingkan dengan desain *impeller* referensi dengan jenis *backward curved*. Adapun laju alir volumetrik fluida udara terbesar dihasilkan oleh desain *impeller* jenis *forward curved* dengan sudut *inlet* 50°. Mengacu pada tabel 4 mengenai hasil analisis simulasi CFD desain *impeller* hasil rancang

Tabel 5. Hasil analisis desain *impeller* sudut sudu 50° dengan variasi jumlah sudu

Jumlah Sudu <i>Impeller</i>	Volumetrik Laju Aliran Udara, Q (m ³ /s)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)
16	0,0734456	8,70069
17	0,075825	8,98258
19	0,079208	9,38301
20	0,079446	9,41119



Gambar 13. Aliran udara pada *impeller* jenis *forward curved* dengan sudut *inlet* 50°



Gambar 14. Aliran udara pada desain referensi *impeller* jenis *backward curved*

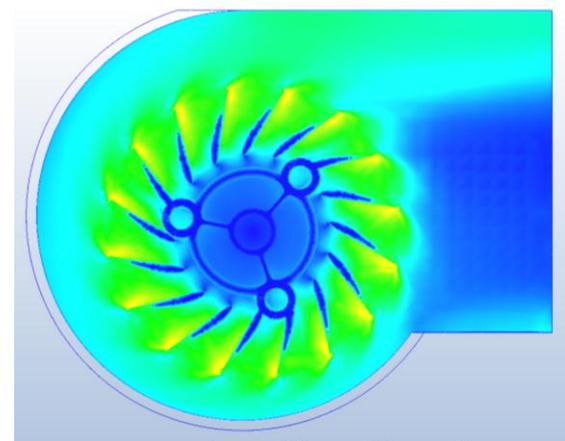
ulang jenis *forward curved*, disimpulkan bahwa desain *impeller* yang menghasilkan volumetrik laju aliran udara paling besar yaitu desain *impeller forward curved* dengan sudut sudu *inlet* sebesar 50°. Dengan demikian, penambahan jumlah sudu dilakukan pada desain tersebut. Hasil analisis simulasi CFD ditampilkan pada tabel 5 sebagai berikut:

Efek sudut sudu inlet

Sudut *inlet* merupakan salah satu variabel yang dapat memengaruhi karakteristik kinerja *impeller*. Pada penelitian ini, variasi besar sudut *inlet* memengaruhi *angle-of-attack* yang disebabkan oleh kecepatan tangensial rotor terhadap aliran yang masuk ke jalur sudu. Hal tersebut menyebabkan adanya perbedaan laju alir volumetrik yang dihasilkan *impeller* antara masing-masing desain dengan variasi sudut *inlet*. Tingkat laju aliran volumetrik udara mencapai kondisi maksimal pada sudut *inlet* sebesar 50°, *angle-of-attack* yang terjadi pada sudu *impeller* dengan sudut *inlet* sebesar 50° tersebut menyebabkan kapasitas udara yang ditangani oleh masing-masing sudu meningkat yang mengarah pada peningkatan laju aliran pada bagian *discharge* kipas sentrifugal.

Efek jumlah sudu

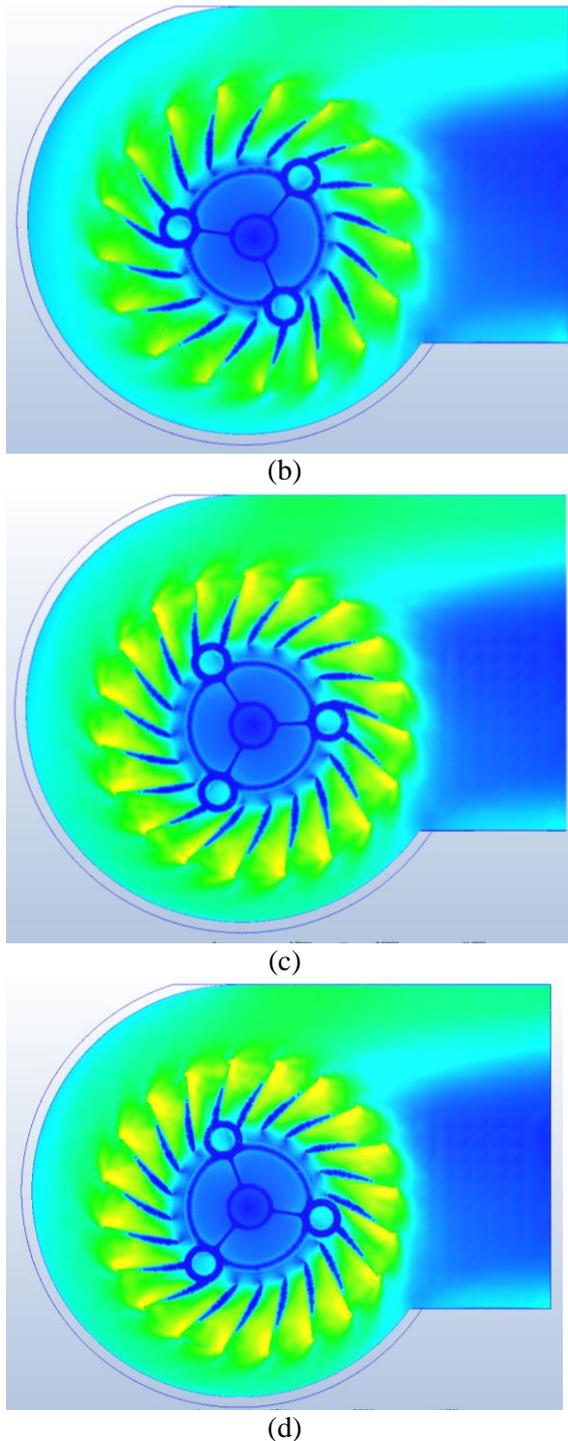
Jumlah sudu pada suatu *impeller* akan memengaruhi karakteristik kinerja yang



(a)

dihasilkan, salah satunya laju aliran volumetrik fluida udara. Hal tersebut terbukti dengan mengacu pada tabel 4 yang dilakukan dengan penambahan jumlah sudu pada *impeller* dengan sudut *inlet* sebesar 50° diketahui bahwa jumlah sudu dapat memengaruhi besar volumetrik udara yang

dihasilkan oleh *impeller*. Penambahan jumlah sudu berpengaruh pada peningkatan volumetrik udara yaitu dengan bertambah dari 0,0734456 m³/s menjadi 0,079446 m³/s atau sebesar 8,1%. Jumlah sudu yang lebih banyak memiliki



Gambar 15. Aliran udara pada *impeller* jenis *forward curved* sudut *inlet* 50° dengan variasi jumlah sudu (a) 16 (b) 17 (c) 19 (d) 20

karakteristik yang lebih baik dalam mengalirkan fluida udara yang melewati *impeller*, sehingga hal tersebut akan diiringi oleh laju aliran fluida udara yang juga bertambah.

KESIMPULAN

Mengacu pada data hasil simulasi dari keseluruhan desain *impeller*, dapat disimpulkan bahwa desain *impeller* hasil rancang ulang dengan jenis *forward curved* dengan sudut *inlet* sebesar 50° dan jumlah sudu 20 memiliki karakteristik laju aliran volumetrik udara yang lebih besar sebesar 18,85% jika dibandingkan dengan desain *impeller* referensi dengan jenis *backward curved*. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa desain *impeller* tersebut menghasilkan kinerja yang baik dalam penggunaannya sebagai sistem pendinginan mesin sepeda motor jenis skutik dalam hal mengatasi panas kerja yang dihasilkan oleh mesin, jika dibandingkan dengan desain *impeller* referensi dengan jenis sudu *backward curved*.

Metode *reverse engineering* melalui teknik *non-contact laser scanning* berhasil diterapkan untuk memperoleh desain model CAD dari model fisik *impeller* pada kondisi data spesifikasi teknis dari desain *impeller* yang tidak tersedia, sehingga desain awal yang digunakan sebagai referensi dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan rancang ulang desain *impeller*. Metode *computational fluid dynamics* diterapkan untuk melakukan simulasi analisis karakteristik laju aliran volumetrik udara yang dihasilkan dari desain *impeller* kipas sentrifugal desain referensi awal dan hasil rancang ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Lin, S. C., & Huang, C. L. (2002). An integrated experimental and numerical study of forward-curved centrifugal fan. *Experimental thermal and fluid science*, 26(5), 421-434.
- Kumar, V., Singh, O., Garg, M., & Chaudhary, Y. V. (2008). Optimization of air-cooling system of 4-stroke scooter engine. *SAE Technical Paper*. (No. 2008-32-0071).

- Singh, O. P., Khilwani, R., Sreenivasulu, T., & Kannan, M. (2011). Parametric study of centrifugal fan performance: experiments and numerical simulation. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 1(2), 33
- Huang, C. H., & Hung, M. H. (2013). An optimal design algorithm for centrifugal fans: Theoretical and experimental studies. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(3), 761-773.
- Brusiani, F., Bianchi, G. M., Catellani, C., Ferrari, M., Verziagi, P., & Catanese, D. (2014). CFD Analysis of a Two-Stroke Air Cooled Engine Designed for Handheld Products. *SAE Technical Paper*. (No. 2014-32-0006).
- Khant, D., & Azharuddin, S. K. (2014) Design of a Centrifugal Blower Adopting Reverse Engineering Approach. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(3) 28-33.
- Amladimanesh, A., Ajam, H., & Nezhad, H. (2015). Numerical Study of Blade number Effect on the Performance of 3D FC Centrifugal Fan. *International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology*, 5(15), 2109-2119.
- Sholikin, S., & Bintoro, C. (2016). Penerapan Reverse Engineering pada Analisa Tegangan Bracket Engine Mounting. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 1(01).
- Rahman, Y., Marwan Effendy, S. T., & Anggono, A. D. (2017). Proses Reverse Engineering Menggunakan Laser Optical Scanner (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Engel, B., & Al-Maeeni, S. S. H. (2019). An Integrated Reverse Engineering and Failure Analysis Approach for Recovery of Mechanical Shafts. *Procedia CIRP*, 81, 1083-1088.