

REVIEW PENGOPTIMALAN DESAIN BAGIAN KRITIS BLOWER SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA) DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Herry Effendi¹, Feblil Huda¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM. 12,5 Simpang Baru Pekanbaru Riau 28293 Telp 0761 566786
Email: herry91.effendi@gmail.com

Abstrak

Pendistribusian suatu fluida ataupun material dari satu mesin kemesin lainnya dalam proses produksi pada sebuah industri saat ini, salah satunya adalah mesin blower sentrifugal yang dapat memberikan manfaat dalam hal peningkatan kecepatan aliran fluida dan kapasitas memindahkan material yang dibutuhkan. Pengoptimalan desain terus menerus dikembangkan dan dilakukan untuk tujuan efisiensi dan kinerja yang maksimal dari blower sentrifugal itu sendiri, hal ini tentunya tidak lepas dari strategi perusahaan menekan biaya pemborosan yang berdampak pada produktivitas bisnisnya. Blower sentrifugal sendiri merupakan salah satu mesin turbo yang masih banyak digunakan oleh industri. Pengoptimalan yang dilakukan saat ini bukan hanya pada impellernya saja, akan tetapi casingnya juga dioptimalkan untuk masalah aerodynamic dan aeroacoustic. Analisis dari berbagai bentuk sudu pada impleer blower sentrifugal yang terbaik adalah backward-curved radial memberikan efisiensi 92% dan aerofoil yang memberikan efisiensi 90%. E-glass/Epoxy merupakan material yang di rekomendasikan untuk blower sentrifugal karena memiliki nilai tegangan yang tinggi, suara kebisingan yang dominan rendah dikarenakan bukan material logam, serta biaya yang relatif rendah dibanding material lainnya. Parameter-parameter pada casing mempengaruhi efisiensi blower, aliran dalam casing, dan tingkat kebisingan. Efek dari beberapa parameter pada volute casing akan memberikan peningkatan kinerjanya dalam hal pengoptimalan desain pada casing blower sentrifugal.

Kata kunci: bagian kritis blower, blower sentrifugal, cfd, fea, optimalisasi desain impeller; RAPI 2023

1. Pendahuluan

Dari beberapa jenis variasi mesin turbo seperti blower, pompa, turbin, kompresor, dan lain sebagainya (Thandar, 2019; Kassim and Aliwi, 2018), blower sentrifugal merupakan salah satu mesin turbo yang banyak dimanfaatkan oleh dunia industri (Cravero, 2018; Bukar, 2018). Casing dan impeller merupakan dua bagian utama dari blower sentrifugal (More, 2020; Myaing, 2019). Pada dasarnya blower sentrifugal adalah mesin berkecepatan tinggi (Thandar, 2019), yang mana impellernya digerakkan oleh roda gigi dengan kecepatan 15,000 rpm dan tekanan yang tinggi 1.20 kg/cm² (Pinniti, 2018). Impeller pada blower memanfaatkan energi kinetik dari masing-masing sudunya yang berputar dan berinteraksi dengan fluida untuk meningkatkan tekanan (Nilugal, 2020; Latt, 2018). Blower sentrifugal mampu mendistribusikan volume fluidanya dengan stabil, akan tetapi berbeda halnya dengan massa fluidanya. Tentu saja hal ini dipengaruhi oleh sistem kerja dari blower dengan memanfaatkan kecepatannya yang permanen (Gajjar, 2018). Ada beberapa jenis tipe impeller pada blower sentrifugal yang dapat dikategorikan ke dalam *forward-curved*, *backward-curved*, *radial*, and *aerofoil* (Thaung, 2019; Patil, 2018). Efisiensi dari blower dipengaruhi oleh jenis impellernya, dengan kecepatan yang sama (2800 rpm) jenis *backward-curved radial* menggunakan sudu yang melengkung berlawanan dengan arah putaran impellernya memberikan efisiensi yang lebih baik (92%) (Latt, 2018; Baloni, 2018) dibandingkan dengan *forward-curved radial* menggunakan sudu yang melengkung searah dengan putaran impeller memiliki efisiensi yang rendah (83%) (Lun, 2019), tipe *forward-curved radial* relatif sering digunakan pada kecepatan yang rendah (Thandar, 2019). Impeller dengan jenis *aerofoil radial* juga dapat memberikan efisiensi yang baik pada blower lebih dari 90% (Rathinasabapathi, 2018).

Dalam proses pengoptimalan desain pada impeller dapat dilakukan dengan *finite element analysis* untuk memprediksi distribusi tegangan dan regangan impeller saat beroperasi (Rathinasabapathi, 2018), menganalisis tegangan dan defleksi untuk memahami masalah fraktur elastis terhadap kegagalan impeller pada struktur yang kompleks paling memungkinkan dengan bantuan *software finite element analysis* (Traya, 2020; Prasad, 2018). Pengoptimalan desain impeller berdasarkan ketebalan, bentuk sudu, kecepatan, dan frekuensi (More, 2020), ditemukan laju aliran volume, tekanan, dan torsi sudu impeller cenderung meningkat dalam berbagai derajat

dengan sudut yang meningkat (Chen, 2018). Namun banyak penelitian yang hanya berfokus pada pengoptimalan desain impeller saja, padahal *casing* yang merupakan salah satu bagian utama dari blower dapat memberi dampak *hydraulic losses* di sudu impeller (Gjeta, 2018). *Casing* blower yang berisi impeller (More, 2020), dalam bentuk spiral dikenal sebagai *volute casing* atau spiral *casing* dapat menciptakan tekanan rendah di saluran masuk dengan fenomena kompleks yang disebabkan karena interaksi fluida dan putaran sudu impeller terhadap *volute* (Ni, 2019). Pengoptimalan desain *volute casing* terhadap impeller untuk meningkatkan efisiensi *aerodynamic* dan untuk menurunkan kebisingan *aeroacoustic* memberikan perbedaan terhadap kinerja dan karakteristik aliran blower sentrifugal (Hariharan, 2019; Dogan, 2019) Mengetahui aliran dalam blower memungkinkan dapat meningkatkan kinerjanya, dengan demikian secara keseluruhan mengurangi biaya operasional (Benturki, 2018). Pendekatan Simulasi *computational fluid dynamics* untuk memvisualisasikan kondisi aliran di dalam blower sentrifugal dan kemampuan untuk metode pengoptimalan desain blower sentrifugal (Cavero, 2018; Naik, 2018). Penggunaan software komersial seperti *computational fluid dynamics* dapat menganalisis karakteristik aliran pada blower (Kuan, 2018; Zhao, 2020). *Computational fluid dynamics* sangat populer untuk mensimulasikan karakteristik aliran yang kompleks (Benturki, 2018; Charapale, 2018), karena memiliki keunggulan *tools* yang efektif untuk menganalisa kinerja blower sentrifugal dengan biaya yang terjangkau, waktu yang cepat, serta kemampuan lebih baik untuk mensimulasikan kondisi yang nyata dan ideal dibandingkan metode eksperimental (Patil, 2018; Shenastaghi, 2018).

2. Literatur Review

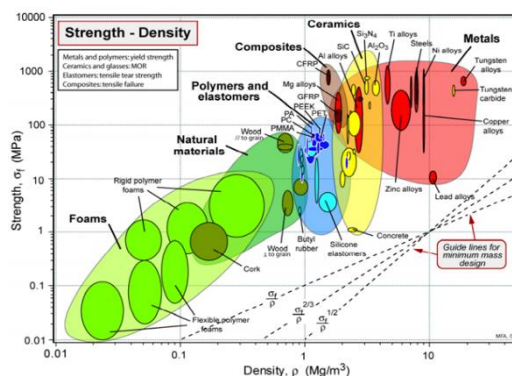
2.1 FEA dan CFD Analysis

Langkah-langkah dalam melakukan optimalisasi impeller dimulai dengan menentukan terlebih dahulu tujuan yang ingin dicapai, seperti: *durability*, *reliability*, *quality*, biaya, dll. Kemudian melakukan permodelan desain yang dipilih untuk jenis sudu dari impeller yang digunakan dan juga menentukan ukuran geometrinya menggunakan bantuan *software* CAD untuk mempermudah menyesuaikan dengan kondisi aslinya. Setelah melakukan langkah tersebut, proses analisis dapat dilakukan dengan mengimpor desain dan geometri tadi ke *software* ANSYS Workbench 2020R2. Analisis FEA dan CFD dilakukan dengan pemeriksaan geometri dan meshing untuk memberikan kondisi batas, jenis material, dan jenis permodelan yang dipilih untuk menjalankan perhitungan dengan memberikan iterasi terhadap impeller berupa kondisi saluran masuk dan keluar dengan laju aliran massa, tekanan statis, kecepatan putaran impeller, dll diatur sesuai kondisi aslinya. Analisis ANSYS dapat menampilkan animasi yang berupa simulasi hasil dengan nilai *Von-Mises stress*, *displacements*, dan *safety factor* dari impeller tersebut, hasil optimal dapat dilihat dari membandingkan nilai-nilai tersebut dengan masing-masing jenis permodelan yang dilakukan dengan simulasi *software* ANSYS.

2.2 Pengoptimalan desain impeller

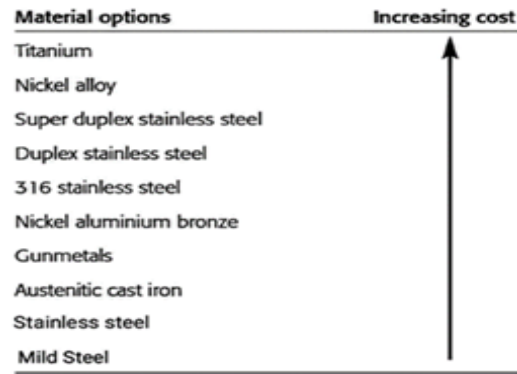
Hal penting dalam pengoptimalan desain adalah menemukan jenis material yang terbaik dan sesuai dengan kebutuhannya dengan menyeleksi beberapa material, mempertimbangkan faktor yang penting dan tidak penting, serta melakukan analisis lanjutan untuk memastikannya. Ada beberapa langkah dasar dalam memilih material pada Ashby Chart (Kshirsagar, 2020):

1. *Translation*: Menetapkan batasan dan tujuan
2. *Screening*: Menyisihkan material-material yang tidak dapat digunakan
3. *Ranking*: Menemukan material terbaik yang dapat digunakan
4. *Supporting Information*: Memeriksa asal usul dari kandidat teratas



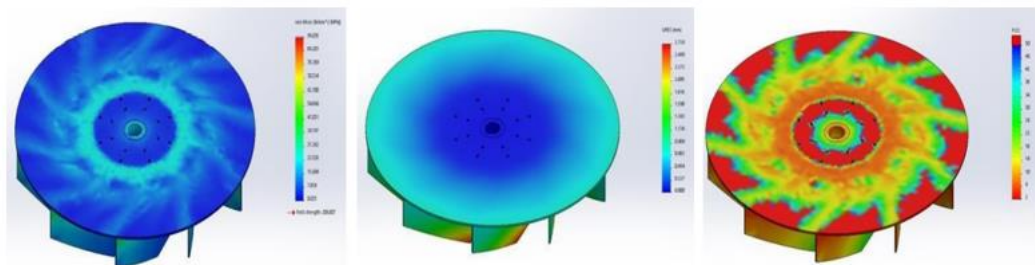
Gambar 1. Ashby chart (Ashby, 2013)

Pengoptimalan desain impeller ini digunakan material dari jenis metals. Faktor yang jadi pertimbangan pengoptimalan desain ini adalah biaya, maka dapat dilihat pada data di bawah ini perbandingan biaya dari masing-masing jenis material yang akan dipilih (Traya, 2020):



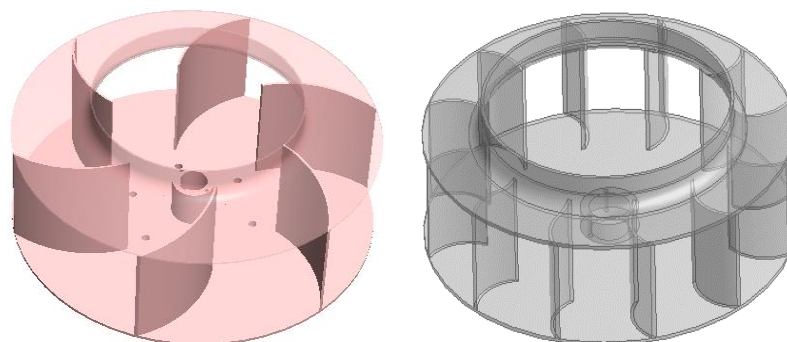
Gambar 2. Biaya material berdasarkan jenisnya

Pada industri *pulp and paper* penggunaan blower sentrifugal menggunakan material AISI 4340 steel (Mild Steel) banyak mengalami masalah seperti berat blower yang tinggi, kekuatan impellernya yang rendah, dan penurunan tekanan. Berdasarkan Gambar. 1 pemilihan material AISI 304 stainless steel alternatif lain dari material sebelumnya, analisis statis untuk kriteria kegagalan menggunakan tegangan Max-Von Mises dengan FEA dilakukan untuk mengetahui *stress*, *displacement*, dan *safety factor* dari beberapa variasi ketebalan rotor 3mm, 5mm, dan 8mm. Hasil analisis material AISI 304 stainless steel menggunakan FEA, dapat disimpulkan pengoptimalan desain terbaik dengan ketebalan rotor 3 mm memilk nilai paling terbesar dari *stress*, *displacements*, dan *safety factor* adalah 98.038 N/mm, 2.726 mm, 8.38e+03 (Kshirsagar, 2020).



Gambar 3. Von-Mises stress, displacements, dan safety factor AISI 304 stainless steel (Kshirsagar, 2020)

Efisiensi dari blower sentrifugal dipengaruhi oleh jenis impeller, untuk jenis *backward curved radial* memberikan efisiensi 92% yang diperoleh dari peningkatan energi kinetik dari *airflow* (De La Hoz, 2019), sedangkan *forward-curved radial* 83%. Geometri dari sudu pada impeller berpengaruh pada efisiensi blower, jumlah sudu yang banyak menghasilkan efisiensi yang lebih baik (Charapale, 2018; De La Hoz, 2019). Analisis dilakukan dengan bantuan MATLAB program, dimana diameter impeller 160 mm, sudut sudunya 43.6°, dan air angle 90°. Untuk kecepatan dan redaman yang sama dalam analisis, jenis *backward curved radial* menjadi pilihan yang terbaik apabila faktor terpenting dari blower sentrifugal adalah menghasilkan tekanan tinggi, aliran sedang, dan efisien (Thandar, 2019; Latt, 2018; Audu, 2018). *Backward curved* dengan modifikasi desain pada outlet velocity dari sudu, dapat meningkatkan velocity pada aliran (Gaajjar, 2018). Pengaruh geometri impeller dapat meningkatkan efisiensi blower, semakin besar diameter akan menghasilkan laju volume aliran yang tinggi dan mempengaruhi efisiensi kinerja blower (Gobran, 2019).



Gambar 4. Forward Curved Impeller & Backward Curved Impeller

Ada beberapa penelitian yang meneliti double backward centrifugal fan dengan jumlah 12 sudu pada bagian kirinya dan 12 sudu pada bagian kanannya (Zhou, 2020), hal ini menyerupai blower sentrifugal yang menggunakan jenis impeller *single-radial tipped* terdapat 14 sudu (Thaung, 2019). Geometri parameter *double backward centrifugal fan* ($d_1=368$ mm, $d_2=500$ mm, $\beta_1=19.5^\circ$, $\beta_2=47^\circ$) dengan ($Q=12,000$ m³/h, $N=1400$ rpm), sedangkan *single-radial tipped* ($d_1=218.9$ mm, $d_2=369$ mm, $\beta_1=44^\circ$, $\beta_2=90^\circ$) dengan ($Q=Zhou, 202000$ m³/h, $N=1450$ rpm), kedua desain dari impeller ini menunjukkan bahwa hasil simulasi numerik kinerja *aerodynamic* terhadap aliran kompleks yang diselidiki menggunakan ANSYS memiliki kecocokan yang sangat baik dengan tes eksperimentalnya (Thaung, 2019; Zhou, 2020). Pengoptimalan desain untuk memeriksa efek parameter yang berbeda dapat menerapkan *taguchi design of experiments* (DOE) (Sakaguchi, 2018; Tambolkar, 2020), dan ANOVA (Zhang, 2019) untuk jenis material Inconel 740 dan IS 2062 (*Mild Steel*). Beberapa pengaturan parameter untuk analisis statis dalam pengoptimalan desain blower adalah tebal sudu yang terdiri dari 1.5 mm, 2 mm, dan 3 mm dengan beberapa jenis kecepatan putaran dimulai dari 2550 rpm, 2650 rpm, dan 2750 rpm. Ketebalan dari sudu 1.5 mm paling optimal dapat mengontrol getaran pada blower. Deformasi tertinggi dari jenis material Inconel 740 11.522 mm untuk kecepatan 2750 rpm, ketebalan sudu 1.5 mm dengan frekuensi natural 8.27e-04 Hz (More, 2020). Desain impeller yang mempunyai 12 sudu dengan bentuk *backward-curves* untuk gasifier mampu menangani 882.75 c.f.m dari gas, kecepatan putaran 2500 rpm, suhu 26°C, dan tekanan 14.7 psi (Soe, 2018). Distribusi deformasi dan tegangan pada sudu berasal dari pengaruh *aerodynamic* dan pembebanan sentrifugal (Zhang, 2019). *Forward-curved* juga cocok untuk gasifier, jenis ini mampu beroperasi dengan kecepatan 3111 rpm, air velocity 23.8 m/s, dan suhu operasi gasifier yang membutuhkan suhu sekitar 750°C (Bukar, 2018).

2.3 Pengoptimalan desain casing

Salah satu masalah dari blower sentrifugal adalah kebisingan yang disebabkan oleh getaran yang terjadi pada casing, getaran yang dihasilkan 2-5 dB oleh impeller masih dapat dioptimalkan yang memberikan efek pengurangan kebisingan blower (Zhang, 2019; Peng, 2018). Fluktuasi tekanan yang tidak stabil pada sudu impeller melewati tongue dari casing dan mengakibatkan deformasi pada permukaan casing volute (amplitudo getaran lebih kecil dibandingkan ketebalan lapisan batas fluida) (Zhang, 2019), memodifikasi bentuk tongue dari casing dan memodifikasi impeller dengan mempertimbangkan *aerodynamic performance* dan *noise performance* (Zhou, 2019; Hao, 2020), serta memberikan jarak antara impeller dengan tongue casing menghilangkan suara yang tajam dan penurunan kebisingan 1% atau 1 dB tanpa mengurangi kinerjanya (Kuan, 2018; Hao, 2020; Dogan, 2018). Selain itu, sumber kebisingan lainnya adalah struktur aliran coherent seperti yang ada di *vortex shedding* (Ottersten, 2020). Sudut tongue volute dengan posisi yang benar tidak hanya memiliki kinerja yang baik dibandingkan desain biasa, tetapi secara efektif dapat mengontrol frekuensi kebisingan dari saluran masuk impeller sentrifugal (Hao, 2020).

Sudu impeller bagian dalam secara efektif mengurangi kehilangan aliran di dekat area tongue volute, hal ini merupakan cara terbaik untuk meningkatkan kinerja multi-blade centrifugal (Zhao, 2019). Volute itu sendiri memiliki peranan penting untuk mengubah tekanan dinamis menjadi tekanan statis (Lun, 2019; Zhou, 2019). Modifikasi volute dengan membandingkan beberapa variasi *step tongue* pada blower, percobaan dilakukan dengan model jenis impeller *multi-blade forward* yang memiliki diameter luar 240 mm, jumlah sudu 60, dan kecepatan putaran 1000 rpm. Hasil dari percobaan model *double-stepped tongue* (HLHL26) lebih efektif dapat menurunkan kebisingan 1.97 dB dibandingkan *single-stepped tongue* (HL26) (Wei, 2020). Tingkat kebisingan telah menjadi suatu hal yang sama pentingnya dengan kinerja *aerodynamic*, *multi-blade centrifugal fans* yang memiliki tudung dan penyejuk udara yang berfungsi untuk memperoleh suhu udara yang sejuk dan nyaman bagi tubuh dirancang secara bersamaan untuk target maksimal dari besar laju aliran (ft³/min), tekanan tinggi (Pa), tingkat kebisingan rendah (dB), dan ukuran yang kecil (Wang, 2020). Mendesain ulang struktur utama multi-blade centrifugal fans termasuk volute, the impeller, the blade size, dll dapat mengurangi kebisingan 3-5 dB (Huang, 2019). Jarak antar sudu pada impeller dengan *inlet angles* 38° dan *outlet angle* 128° mampu mengurangi kebisingan pada blower sebesar 0.58 dB, dengan bentuk *forward-curved blade* dan jumlah sudu 12 pada kondisi kecepatan putaran 2900 rpm dan *volume flow rate* 1263.2 m³/h (Jiang, 2019). Selain impeller sentrifugal, ada juga blower yang menggunakan impeller aksial dengan bentuk sudunya adalah *airfoil* yang di desain untuk mengurangi efek pusaran berupa energi kinetik menjadi peningkatan tekanan statis. Terbukti impeller dengan bentuk aksial dapat meningkatkan laju volume aliran udara tertinggi pada semua tekanan statis (374 Pa) dengan 6.3% (Saeidi, 2020). Menggunakan teori Lighthill's untuk perhitungan FEM dan teori Powell's untuk perhitungan *vortex sound* dalam melakukan investigasi *aerodynamic* dan *aeroacoustic* untuk menilai kinerja sebuah impeller sentrifugal dengan bentuk *backward-curved blade* dengan jumlah sudu 9, hasil teori tersebut dengan hasil eksperimentalnya tidak mengalami perbedaan yang signifikan (Dogan, 2019). Pada impeller dengan bentuk sudu radial memiliki tegangan yang lebih rendah (Thandar, 2019), jenis impeller dengan sudu *aerofoil radial* memiliki efisiensi tinggi dengan keuntungan (Rathinasabapathi, 2018; Lee, 2020):

1. Lengkungan sudu dari *aerofoil* memastikan aliran yang lebih halus, sehingga meminimalkan kerugian
2. Lebih ekonomis, karena efisiensi yang lebih tinggi dari bentuk lainnya

3. Kombinasi dari efisiensi setengah beban yang tinggi seperti impeller aksial dan kekakuan kekakuan radial

Pada *multi-stage centrifugal fan* dilakukan optimasi pada sudut sudu masuk dengan perubahan dari 33.5° menjadi 30° memberikan dampak meningkatkan impact loss dari aliran udara impeller, dengan aliran yang bekerja $1900 \text{ m}^3/\text{h}$ dapat menaikkan tekanan dari 16153 Pa menjadi 17271 Pa (6,9%) (He, 2020). Sedangkan pada *backward-curved centrifugal fan* perubahan sudut saluran keluar 30° menjadi 40° pada sudut saluran masuk yang konstan menyebabkan peningkatan kekuatan udara (sekitar 11%), sedangkan peningkatan sudut saluran masuk dari 15° menjadi 21° pada sudut saluran keluar yang konstan menyebabkan perubahan minimal pada kekuatan udara (kurang dari 0,4%) (Tantakitti, 2018). Percobaan pemilihan beberapa jenis material (carbon steel, FE-410, MS-2062, structural steel, cast iron) untuk impeller dengan pembebanan tekanan dinamis 0.6 MPa dan analisis statis terhadap pengaruh lift force and drag force, material MS-2062 memiliki deformasi terendah 0.179 mm (Satyanarayana, 2020). Perbandingan material e-glass/epoxy dan aluminium untuk digunakan pada impeller blower, e-glass/epoxy memiliki deformasi yang lebih baik (0.05968) dari pada aluminium (0.001407) (Prasad, 2018; Martynenko, 2020).

Efek dari beberapa parameter pada *volute casing* akan memberikan peningkatan kinerjanya dalam hal pengoptimalan desain pada *casing blower* sentrifugal, seperti: luas penampang, bentuk penampang, lokasi radial penampang, lokasi impeller, dan geometri *tongue casing* (Gjeta, 2019; Gjeta, 2018). Radius dari *tongue casing* tidak memberikan efek sama sekali terhadap efisiensi blower, meningkatkan sudut dari *tongue* akan menurunkan efisiensinya dan pengurangan radius dari penampang *volute casing* menyebabkan percepatan fluida yang dapat mengacaukan tekanan statis (Gjeta, 2019; Gjeta, 2018). Pada blower sentrifugal kebocoran dari *clearance* masuk impeller menjadi alasan utama penurunan efisiensi (Zhu, 2019). Dampak mengurangi *volute tongues clearance* 12.5% ke 6% , dapat meningkatkan tekanan dan efisiensi yang signifikan dari 19.52% menjadi 21.90% hal ini disebabkan aliran udara balik di daerah dekat *tongue volute* blower berkurang secara efektif (Patil, 2018; Lun, 2019). Analisis statis pada blower menggunakan FEA untuk menghitung tegangan dan defleksi dengan software ANSYS terhadap beberapa jenis material seperti Aluminium Alloy 1060, Graphite, Titanium, dan E-glass/Epoxy. Hasil yang didapatkan untuk material terbaik adalah E-glass/Epoxy, dimana memiliki nilai tegangan yang tinggi, suara kebisingan yang dominan rendah dikarenakan bukan material logam, serta biaya yang relatif rendah dibanding material lainnya (Prasad, 2018; Martynenko, 2020; Kumar, 2019).

Dalam hal pengoptimalan desain pada blower sentrifugal, pertimbangan desain dari parameter menjadi sesuatu yang penting untuk menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh blower. Parameter tersebut antara lain: celah antara impeller *outlet* dan *tongue volute*, jumlah sudu impeller, dan ketinggian rotor sepanjang sumbu dan metal *inlet blade angle*. Tanpa mengurangi kecepatan putaran rotor, pengaruh mengurangi beberapa milimeter celah antara impeller *outlet* dan *tongue volute* memberikan dampak penurunan yang signifikan sebesar 3% terhadap kebisingan (Cravero, 2018), secara keseluruhan efisiensi maksimum dari blower 90.16% dengan mengurangi 15% celah antara impeller *outlet* dan *tongue volute* dengan sudut keluaran sudu 45° (Myaing, 2019). Proses optimasi dengan tujuan mengurangi radiasi getaran *volute* yang merupakan mekanisme untuk mengurangi kebisingan, sangat optimal dengan kombinasi ketebalan yang dioptimalkan secara efektif mengurangi kecepatan getaran normal permukaan *volute*, terutama wilayah *tongue volute* dengan sedikit peningkatan massa total *volute* ($\pm 3 \text{ kg}$) berkurang sebesar $7,3 \text{ dB}$ (Zhang, 2019). Pengontrolan kebisingan pada *single-stage centrifugal compressor* untuk aliran pipa, pengoptimalan menggunakan sebuah *Pipe Micro-Perforated Panel* (PMPP) dapat mengurangi *sound pressure level* (SPL) sebesar 20 dB untuk *blade passing frequency* (BPF) dengan aliran yang tidak stabil di dalam kompresor (Zhang, 2018). Getaran merupakan penyebab kebisingan yang terjadi pada blower sentrifugal, kombinasi dari rotor, bantalan, dan impeller tentunya tidak dapat diabaikan saat blower beroperasi yang menyebabkan respon getaran terbesar berada pada arah horizontal dibandingkan arah vertikal (Tawfik, 2018). Desain blower saat ini memberikan efisiensi yang lebih baik sekitar 8% lebih tinggi dibandingkan dengan OEM blower, simulasi numerik dengan GAMBIT dan ANSYS-FLUENT menunjukkan laju aliran yang lebih tinggi dengan variasi tekanan yang lebih sedikit di dekat pinggiran impeller (Baloni, 2018). Ada juga eksperimen *novel range hood* sebagai pengganti *multi-blades centrifugal fan* untuk dimanfaatkan sebagai *exhaust* untuk *cooking emissions*, yang mana efisiensinya 16% lebih tinggi dari *multi-blades centrifugal fan* dengan *volute* (Zhao, 2020).

3. Kesimpulan

Pada review jurnal ini menelaah tentang pengoptimalan desain blower sentrifugal yang sudah pernah dianalisis sebelumnya untuk tujuan menghasilkan blower sentrifugal paling baik dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti *durability*, *reliability*, *quality*, dan harga yang relatif rendah. Adapun kesimpulan yang didapatkan dari mereview jurnal ini adalah:

1. Bentuk terbaik dari impeller blower sentrifugal adalah *backward curved radial* memberikan efisiensi 92% (De La Hoz, 2019), namun tidak menutup kemungkinan bentuk *aerofoil* dapat jadi bahan pertimbangan karena memiliki efisiensi yang tinggi juga mencapai 90% (Rathinasabapathi, 2018; Lee, 2020).

2. Material terbaik untuk blower sentrifugal adalah *composite material* yakni E-glass/Epoxy memiliki nilai tegangan yang tinggi, suara kebisingan yang dominan rendah dikarenakan bukan material logam, serta biaya yang relatif rendah dibanding material lainnya (Prasad, 2018; Martynenko, 2020; Kumar, 2019).
3. Mendesain ulang struktur utama pada *casing tongue volute, the impeller, the blade size*, dll dapat mengurangi kebisingan yang berpengaruh pada efisiensi blower (Huang, 2019)
4. Pengembangan analisis lanjutan untuk blower sentrifugal masih terus dapat dilakukan dengan banyaknya variasi yang memungkinkan mencari desain yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Thandar, A., et al., (2019), "Design of 5 kW Radial Type Centrifugal Blower (Impeller)".
- Kassim, M.S., F.A. Saleh, and A.T. Aliwi, (2018), "Experimental and Numerical Investigation the Effect of Grooves Impeller on Rotating Stall of High Speed Blower".
- Cravero, C. and D. Marsano. (2018), "Numerical Prediction of Tonal Noise in Centrifugal Blowers". in Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air. American Society of Mechanical Engineers.
- Bukar, A.A., et al., (2018), "Performance Evaluation of a Forward Curved Blower for Thermal Applications". American Journal of Mechanical Engineering, 6(3): p. 114-126.
- More, K.C., S. Dongre, and G.P. Deshmukh, (2020), "Experimental and numerical analysis of vibrations in impeller of centrifugal blower". SN Applied Sciences, 2(1): p. 82.
- Myaing, K.T., (2019), "Numerical Simulation of Clearance Effect Between Impeller and Volute Casing for Centrifugal Blower".
- Pinninti, R.R., (2018), "Design and Development of Composite Blower for Low Noise Using FEM".
- Nilugal, M.L., K.V. Karanth, and N. Madhwesh. (2020), "A critical review on the application of computational fluid dynamics in centrifugal turbomachines". in Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing.
- Latt, A.K., et al., (2018), "Design Comparison of Forward and Backward Curved Radial Tip Blades for Centrifugal Blower".
- Gajjar, J., C. Vora, and V. Rokad, (2018), "Performance Analysis of Centrifugal Fan by CFD". International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering, 5(5): p. 52-57.
- Thaung, Z., S. Nyunt, and K. Swe, (2019), "Numerical Study on Flow Characteristics of Radial Tipped Impeller for Centrifugal Fan".
- Patil, S.R., et al., (2018), "Effect of Volute Tongue Clearance Variation on Performance of Centrifugal Blower by Numerical and Experimental Analysis". Materials Today: Proceedings, 5(2, Part 1): p. 3883-3894.
- Baloni, B.D., S.A. Channiwal, and S.N.R. Harsha, (2018), "Design, Development and Analysis of Centrifugal Blower". Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 99(3): p. 277-284.
- Lun, Y., et al., (2019), "Effects of vortex structure on performance characteristics of a multiblade fan with inclined tongue". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 233(8): p. 1007-1021.
- Rathinasabapathi, G., et al., (2018), "Design Optimization of Aerofoil Radial Fan Impeller". International Journal of Engineering Research and, V6, 2.
- Traya, S.U. and H.J. Rathod, (2020), "Design and Analysis of Centrifugal Pump Impeller for Optimizing Strength & Weight of Impeller". International Journal of Progressive Research in Science and Engineering, 1(7): p. 7-15.
- Prasad, L.D., D.D. Singh, and B.S. Babu, (2018), "Static and Dynamic Analysis of Centrifugal Blower Using Composite Material".
- Chen, G., et al., (2018), "Energy-Saving performance of flap-Adjustment-based centrifugal fan". Energies, 11(1): p. 162.
- Gjeta, A., (2019), "DESIGN CENTRIFUGAL FAN VOLUTE WITH CFD NUMERICAL SIMULATION USING OPENFOAM-MATLAB COUPLING". Industry 4.0, 4(6): p. 297-301.
- Ni, S., et al., (2019), "Effects of an Inclined Blade on the Performance of a Sirocco Fan". Applied Sciences, 9(15): p. 3154.
- Hariharan, C. and M. Govardhan, (2019), "Aerodynamic performance and flow characteristics of an industrial centrifugal blower volute with varied cross-sectional shapes/area ratios". International Journal of Turbo & Jet-Engines, 36(1): p. 89-106.
- Dogan, H., et al., (2019), "Vortex sound based calculations for the aeroacoustic noise of a centrifugal fan". Universitätsbibliothek der RWTH Aachen.
- Benturki, M., R. Dizene, and A. Ghenaïet, (2018), "Multi-objective optimization of two-stage centrifugal pump using NSGA-II algorithm". Journal of Applied Fluid Mechanics, 11(4): p. 929-942.

- Naik, V.R. and V.B. Magdum, (2018), "Design and Development of Blower Impeller by Reverse Engineering for Noise Reduction using CFD". *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(11): p. 9982-9987.
- Kuan, Y., et al., (2018), "Investigation of the flow and noise distribution on a blower via integration of simulation and experiments". *Journal of Mechanics*, 34(2): p. 151-158.
- Zhao, D. and X.-y. You, (2020), "Inverse design optimisation of a novel range hood based on intelligent algorithms and computational fluid dynamics simulations". *Advanced Powder Technology*, 31(2): p. 730-745.
- Charapale, U.D. and A.T. Mathew, (2018), "Prediction of flow in the industrial blower using computational fluid dynamics". *Materials Today: Proceedings*, 5(5): p. 12311-12319.
- Shenastaghi, F.K., et al., (2018), "CFD simulation and experimental validation of bubble cap tray hydrodynamics". *Separation and Purification Technology*, 192: p. 110-122.
- Kshirsagar, S. and M.S.D. PoojaMagar, (2020), "DESIGN ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CENTRIFUGAL BLOWER".
- Ashby, M.F. and K. Johnson, (2013), "Materials and design: the art and science of material selection in product design". Butterworth-Heinemann.
- De la Hoz, J.S., G. Valencia, and J.D. Forero, (2019), "Reynolds Averaged Navier–Stokes Simulations of the Airflow in a Centrifugal Fan Using OpenFOAM".
- Xie, X., et al., (2020), "Suppression of secondary flows in a centrifugal impeller by optimisation design". *Engineering Computations*.
- Audu, J., (2018) "Development of a Measuring Apparatus for Aerodynamic Properties of Granular Materials".
- Gobran, M., et al., (2019), "Numerical Simulation of Centrifugal Pump and Effect of Impeller Geometry on Its Performance". *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4: p. 21-29.
- Zhou, B., et al., (2020), "Unsteady flow characteristics of rotating stall and surging in a backward centrifugal fan at low flow-rate conditions". *Processes*, 8(7): p. 872.
- Sakaguchi, D., D. Sakue, and M.T. Tun, (2018), "Global search of a three-dimensional low solidity circular cascade diffuser for centrifugal blowers by meta-model assisted optimization". *Journal of Thermal Science*, 27(2): p. 111-116.
- Tambolkar, P., et al., (2020), "Use of Taguchi DOE for CFD Simulation to maximize the Reusability of Working Fluids of Centrifugal Filter". *Procedia Manufacturing*, 46: p. 608-614.
- Zhang, Q., et al., (2019), "Performance prediction and evaluation of the scroll-type hydrogen pump for FCVs based on CFD–Taguchi method". *International Journal of Hydrogen Energy*. 44(29): p. 15333-15343.
- Soe, T. and L. Myo, (2018), "Impeller Design of Centrifugal Blower for 40 kW Wood Chips Gasifier". *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 8.
- Zhang, L., et al., (2019), "Study on static and dynamic characteristics of an axial fan with abnormal blade under rotating stall conditions". *Energy*, 170: p. 305-325.
- Zhang, J., W. Chu, and Y. Lv, (2018), "Parametric study of unsteady-flow-induced volute casing vibro-acoustics in a centrifugal fan". *Vibroengineering PROCEDIA*, 20: p. 120-127.
- Peng, Z., et al. (2018), "Tonal Noise Control of Cooling Fan Module by Using Modulation Principles on Both Rotor and Stator". in *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*. American Society of Mechanical Engineers.
- Zhang, J., W. Chu, and J. Zhang, (2019), "Numerical study of volute casing vibro-acoustics in a marine centrifugal fan. *Australian Journal of Mechanical Engineering*". p. 1-19.
- Zhou, S. and Y. Li, (2019), "Volute characteristics of centrifugal fan based on dynamic moment correction method". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 233(2): p. 176-185.
- Hao, W., et al., (2020), "Reduction of aerodynamic noise of single-inlet centrifugal fan with inclined volute tongue". *Measurement and Control*, 53(7-8): p. 1376-1387.
- Dogan, H., et al., (2018), "Hybrid CFD/FEM calculations for the aeroacoustic noise radiated from a radial fan". *Proceedings of Euronoise, Hersonissos*, p. 297-302.
- Ottersten, M., (2020), "Numerical investigation of tonal noise sources from centrifugal fan".
- Zhao, D., R. Chen, and X.-y. You. (2019), "Numerical study of the effect of inner guide vanes on performance of multi-blade centrifugal fan of range hood". in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing.
- Wei, Y., et al., (2020), "Numerical and experimental investigations on the flow and noise characteristics in a centrifugal fan with step tongue volutes". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234(15): p. 2979-2993.
- Wang, C., et al., (2020), "Structure design of low-frequency broadband sound-absorbing volute for a multi-blade centrifugal fan". *Applied Acoustics*, 165: p. 107315.

- Huang, J.A., Y. Xiang, and C. Jiang, (2019), “Research on Aerodynamic Noise Calculation and Noise Reduction Design of Multi-blade Centrifugal Fan”. Universitätsbibliothek der RWTH Aachen.
- Jiang, B., et al., (2019), “Tonal noise reduction by unevenly spaced blades in a forward-curved-blades centrifugal fan. *Applied Acoustics*”. 146: p. 172-183.
- Saeidi, A. and P. Taheri, (2020), “Numerical Design of a Guide Vane for an Axial Fan”.
- Lee, K.J., et al., (2020), “Optimal Design of a Plenum Fan with Three-Dimensional Blades”. *Applied Sciences*, 10(10): p. 3460.
- He, X. and A. Ji. (2018), “Research on Performance Optimization of Multi-Stage Centrifugal Fan”. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
- Tantakitti, P., S. Pattana, and K. Wiratkasem. (2018), “The performance of backward curved centrifugal fan with various impeller inlet and outlet angles”. in 2018 Third International Conference on Engineering Science and Innovative Technology (ESIT). IEEE.
- Satyanarayana, K., et al., (2020), “Case Study on Design and Performance of an Impeller using CFD”.
- Martynenko, V., M. Hrytsenko, and G. Martynenko, (2020), “Technique for evaluating the strength of composite blades”. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 101(3): p. 451-461.
- Gjeta, A., (2019), “Effect of Clearance Gap in Spiral Casing Design of a Centrifugal Fan with Optimized Impellers”. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(9): p. 181-185.
- Gjeta, A., et al., (2018), “PARAMETRIC STUDY OF VOLUTES FOR OPTIMAL CENTRIFUGAL FAN IMPELLERS”.
- Zhu, G., et al. (2019), “Effect of clearance jet on aerodynamic performance of centrifugal fan”. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
- Kumar, J.S., G. Sarath, and B.S. Rao, (2019), “MODELING AND ANALYSIS OF CENTRIFUGAL BLOWER”.
- Zhang, J., et al., (2019), “Vibroacoustic optimization study for the volute casing of a centrifugal fan”. *Applied Sciences*, 9(5): p. 859.
- Zhang, Q., et al., (2018), “Vibro-acoustics of a pipeline centrifugal compressor: Part II. Control with the micro-perforated panel”. *Applied Acoustics*, 132: p. 152-166.
- Tawfik, M.A., (2018), “EFFECT OF BEARING POSITION ON THE VIBRATION RESPONSE FOR ROTOR-BEARING-FAN SYSTEM USING FLUID STRUCTURE INTERACTION (FSI)”. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 22(02 Part-6): p. 30-43.