

Fahmi Rais

Mahasiswa
Universitas Gadjah Mada
fahmirais@ugm.ac.id

Radhian Krisnaputra

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
Radhiankp@ugm.ac.id

Sugiyanto*

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
Sugiyanto_t@ugm.ac.id

F.X. Sukidjo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
fxsukidjo@ugm.ac.id

**Stephanus Danny
Kurniawan**

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
Stephanus.Danny.@mail.ugm.ac.id

Isworo Djati

Tenaga Kependidikan (PLP)
Universitas Gadjah Mada
Isworo.Djati@ugm.ac.id

PERANCANGAN TEKANAN UDARA POSITIF PADA KABIN MOBIL MSSC (MOBILE SWAB SAMPLING CHAMBER)

MSSC (Mobile Swab Sampling Chamber) car should have a fulfilling requirement as a protective isolation room or positive pressure room. A positive pressure room is needed so the virus or bacteria that is carried by the patient outside the car could not enter and contaminate the medical officer inside the car. Based on that need, the MSSC car is designed so that it can be used as a swab test sampling and having a positive pressure. The designing process was started by assembling each part of the car cabin that was used as an examination tool and positive pressure maker. This design was then simulated using the CFD method to find out whether the car cabin design produces positive pressure. The velocity of the AC blower and the percentage of exhaust openings were varied so that suitable air pressure was obtained. Based on the analysis of the simulation results, it was known that the design of the car cabin that had been done could produce positive air pressure. This positive air pressure was obtained when the blower speed was low and the exhaust opening was 100%. The value of air pressure under these conditions was 101019 Pa or +19 Pa from the ambient air that have 101000 Pa in Yogyakarta.

Keywords: Design, Protective Isolation Room, Positive Air Pressure, CFD, MSSC

1. PENDAHULUAN

Pandemi covid-19 (*Corona Virus Diseases 2019*) adalah penyebaran virus corona atau corona virus berskala global yang terjadi di akhir tahun 2019. Virus ini menyebabkan yang terinfeksi mengalami gangguan saluran pernafasan atas ringan atau sedang seperti layaknya penyakit flu. Berdasarkan [1], virus ini dapat menular melalui tetesan (*droplet*) batuk atau bersin dari seseorang dan juga dapat menular melalui udara (*airborne*) pada keadaan tertentu. Penyebaran suatu infeksi dari seseorang yang sakit ke seseorang yang sehat dapat dihindarkan apabila kedua orang tersebut berada pada ruangan yang terpisah [2]. Beberapa ruangan di rumah sakit membutuhkan penyesuaian tekanan udara relatif terhadap ruangan sekitar. Perbedaan tekanan menunjukkan bahwa aliran udara hanya mengalir searah, hanya ke luar ruangan pada tekanan positif dan hanya ke dalam ruangan pada tekanan negatif. Ruangan bertekanan dapat dicapai dengan mengontrol aliran udara masuk dan keluar melalui sebuah pressure monitor atau dengan menjaga perbedaan aliran udara yang masuk dengan aliran udara yang keluar. Untuk suatu ruangan yang sangat sempit dibutuhkan minimal 94 L/s laju aliran udara dengan perbedaan tekanan terhadap udara sekitar sebesar 2,5 Pa perbedaan volume yang tetap [3].

Sedangkan ruang isolasi tekanan positif untuk tindakan medis memerlukan rancangan khusus agar terjadi aliran udara yang baik sehingga mampu meminimalisasi infeksi [4]. Tekanan positif dapat digunakan untuk ruang operasi dengan frekuensi penggantian udara di dalam ruangan yang cukup tinggi yaitu 25 kali per jam. Sistem tata udara memiliki fungsi untuk mengurangi jumlah partikel di udara ruang operasi selama proses pembedahan berlangsung [5]. Pengelolaan ruang operasi dapat dilakukan dengan memasang sistem ventilasi yang terintegrasi dengan filter HEPA (*high-efficiency particulate air*). Area di fasilitas kesehatan memiliki spesifikasi tertentu yang salah satunya yaitu ruangan isolasi protektif yang harus menerapkan filter HEPA [6]. Trafik dan aliran udara terkontaminasi diminimalisir dengan mengunci semua pintu selama operasi berlangsung. Khusus terkait kejadian wabah COVID-19, waktu yang diperlukan untuk persiapan tindakan medis menjadi lebih panjang dibandingkan dengan masa tanpa wabah. Oleh karena itu kegiatan

rutin harian yaitu pemeriksaan dan pembersihan peralatan pendukung operasi misalnya mesin anestesi dan perangkat PAPR (*powered air-purifying respirator*), harus tetap dilakukan terlepas dari ada atau tidak tindakan operasi medis pada hari tersebut.

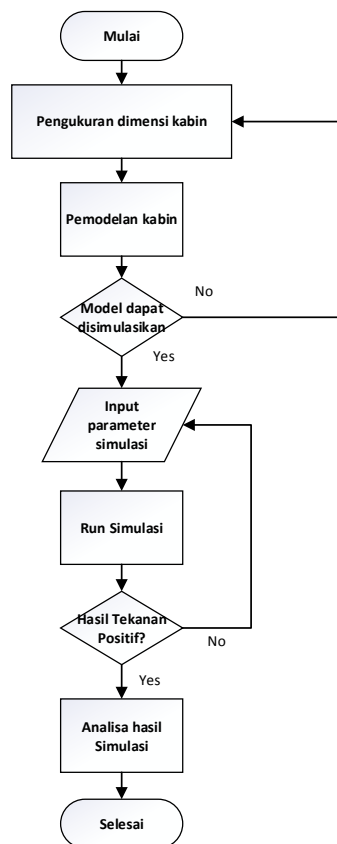
Operasi medis dengan menggunakan ruang tekanan positif contohnya yaitu operasi cesar untuk wanita positive terinfeksi virus yang melahirkan anak [7-8] juga merujuk pada sejumlah laporan tentang penanganan pasien COVID-19 yang aman menggunakan ruang tekanan positif. Ruang isolasi yang disertai *exhalation filter* dapat digunakan untuk pasien yang mengalami kegagalan pernafasan. Namun demikian, tim tersebut juga menyampaikan adanya sejumlah insiden kebocoran dari sistem ruang tekanan positif sehingga filtrasi menjadi tidak efektif. Oleh karena itu, kecermatan dan kehati-hatian dalam merancang sistem ini, perlu dilakukan agar efektif saat digunakan. Keuntungan menggunakan teknik tekanan positif adalah lebih mudah dan murah dibuat serta cocok untuk unit layanan kesehatan yang *mobile*. Selain itu, jika terjadi kebocoran, udara mudah dikeluarkan dari ruangan. Menurut [9], ruangan bertekanan positif juga dapat mencegah terjadinya kontaminasi udara.

Salah satu upaya guna menangkal virus corona tersebut dilakukan dengan menciptakan inovasi bilik pengambilan *swab test* berjalan atau *Mobile Swab Sampling Chamber* (MSSC) menggunakan mobil komersial. Mobil MSSC ini dirancang harus aman dari kontaminasi udara luar, baik itu dari virus, bakteri, ataupun partikel – partikel udara jahat lainnya. Sistem sirkulasi udara yang ada di mobil salah satunya adalah sistem pengkondisian udara, sehingga dalam penelitian ini bertujuan memanfaatkan sistem pengkondisian udara mobil untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit tekanan positif ruangan MSSC. Fokus dalam penelitian ini adalah simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam perancangan tekanan udara positif mobil MSSC.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

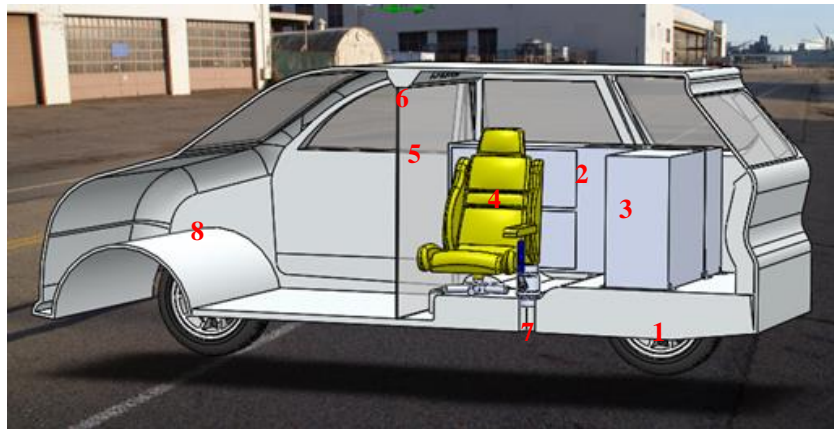
Flowchart perancangan tekanan udara positif kabin mobil MSSC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram alir penelitian

2.2 Pemodelan kabin MSSC

Pemodelan ruang kabin MSSC mengacu pada mobil Daihatsu Xenia 1300 cc sebagai mobil dasar penelitian, dengan hasil pemodelan pandangan potongan di tunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Pandangan potongan desain kabin mobil SSCM

Keterangan:

1. Body Mobil
2. Lemari Samping
3. Lemari Belakang
4. Kursi
5. Sekat Pembatas Kabin
6. *Unit Double Blower*
7. *Exhaust*
8. HEPA filter.

Fokus penelitian ini hanya pada kabin belakang mobil sehingga pembuatan desainnya pun hanya sebatas menampilkan kabin belakang secara detail dan kabin depan seperlunya. Selama pintu samping tertutup, ruangan pada kabin belakang mobil yang telah diberi sekat terhadap kabin depan akan menjadi ruang *chamber*. Aliran udara yang masuk ke dalam ruangan ini hanya akan melalui unit *double blower*. Sementara itu, aliran udara yang keluar dari ruangan ini hanya akan melalui saluran *exhaust* yang terdapat di kabin bagian bawah.

2.3 Simulasi CFD

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering [10,11]. Penelitian dengan simulasi numerik mempunyai hasil yang detail secara kualitatif dan kuantitatif [12]. Pengujian ini menggunakan Solidworks Flow Simulation sebagai sarana simulasi. Dalam program Solidworks sudah disiapkan fasilitas untuk membuat geometri yaitu Solidworks Flow Simulation sehingga proses pendefinisian material, set domain, *boundary condition*, *meshing* hingga *output* semuanya dapat dilakukan pada satu software [13]. Bagian – bagian mobil yang telah didesain secara terpisah selanjutnya di *assembly* sehingga dapat dilakukan simulasi. Simulasi CFD dibagi menjadi tiga komponen, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing* [14].

1. *Pre-processing*

Tahap ini merupakan tahap sebelum proses simulasi dijalankan. Pada tahap ini dilakukan beberapa proses yang ditujukan supaya simulasi dapat dijalankan. Proses – proses tersebut antara lain penentuan geometri, *meshing*, dan *input boundary condition*. Tahapan yang terpenting dari proses awal ini adalah proses *meshing*.

2. *Processing/solving*

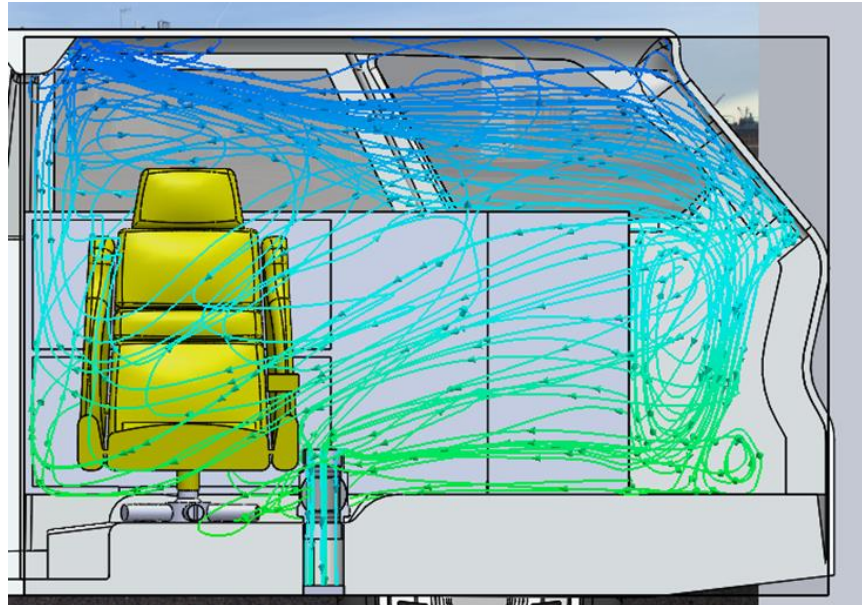
Tahap ini merupakan tahap metode matematika ditentukan untuk memecahkan *governing equation* yang sudah dikerjakan pada model.

3. Post-processing

Tahap ini merupakan tahap akhir dari serangkaian langkah – langkah umum simulasi CFD. Pada tahap ini hasil perhitungan dari simulasi diinterpretasikan oleh sistem komputer ke dalam bentuk gambar, grafik, dan tabel.

3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 Aliran Udara Simulasi dan Konfigurasinya



Gambar 3: Aliran udara kabin belakang

Aliran udara yang terjadi ketika kabin mobil dibuat tekanan positif ditunjukkan pada Gambar 3. Unit *double blower* bekerja mengambil udara bersih yang telah melalui filter HEPA pada kabin depan mobil kemudian menghembuskannya ke kabin belakang sebagai suplai udara masuk. Udara yang telah masuk ini kemudian bersirkulasi di dalam kabin dan keluar melalui saluran *exhaust*. Udara yang masuk ini diatur supaya lebih besar dari udara yang keluar sehingga menghasilkan tekanan udara positif. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan variasi pada *flowrate* udara masuk dan bukaan *exhaust*. *Flowrate* udara masuk mengatur seberapa banyak udara yang masuk sedangkan bukaan *exhaust* mengatur seberapa banyak udara yang keluar.

Pada simulasi kali ini *flowrate* divariasikan berdasarkan kecepatan blower AC. Tabel 1 berikut ini menampilkan variasi *mass flowrate* pada setiap kecepatan *blower AC* pada kondisi temperatur tetap yaitu 20°C dan pada kondisi perbandingan massa uap dan massa udara lembab tetap yaitu 0,01089.

Tabel 1: Variasi *mass flowrate* tiap kecepatan *blower* [15]

KECEPATAN BLOWER	MASS FLOWRATE	UNIT
Rendah	0,0192	Kg/s
Sedang	0,0264	Kg/s
Tinggi	0,0336	Kg/s

Kondisi tekanan udara yang masuk ini mengacu pada tekanan udara kabin depan mobil dengan anggapan bahwa tekanan udara kabin depan mobil sama dengan tekanan udara lingkungan yaitu 101000 Pa. Sementara itu untuk *exhaust* divariasikan berdasarkan persentase bukaanya yaitu 100% (bukaan penuh) dan 50% (bukaan separo).

3.2 Analisa Hasil Simulasi

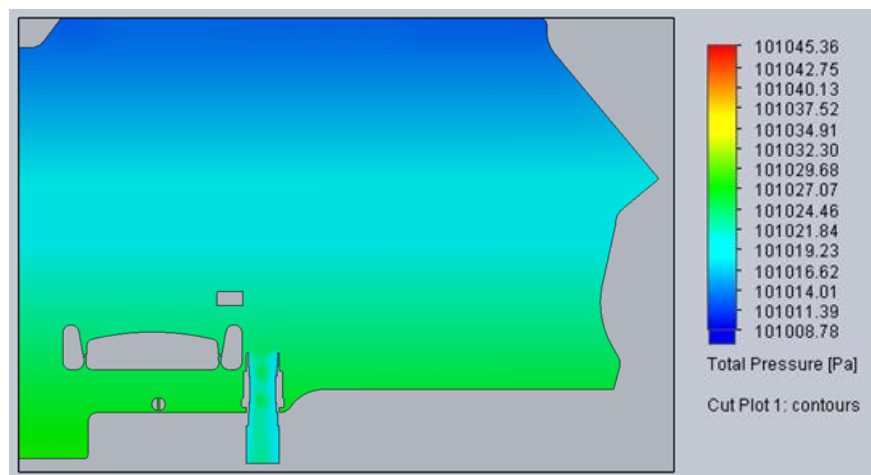
Simulasi pada desain 3D model mobil MSSC memberikan beberapa hasil yang berbeda – beda pada tiap variasi. Parameter yang divariasikan pada simulasi ini yaitu laju aliran udara masuk dan bukaan exhaust. Tujuan divariasikannya parameter yaitu supaya mendapatkan data hasil simulasi yang valid dan terpola. Hasil simulasi yang didapatkan berupa grafik, kontur, dan lintasan aliran udara.

1) Variasi 1 (*blower rendah, bukaan exhaust 100%*)

Tabel 2: Hasil simulasi variasi 1

PARAMETER	NILAI	UNIT
Tekanan udara maksimum	101045	Pa
Tekanan udara minimum	101009	Pa
Tekanan udara rata – rata	101019	Pa

Data hasil simulasi pada Tabel 2 tersebut menunjukkan tekanan udara dalam kabin bernilai +19 Pa dari tekanan udara sekitar. Angka tersebut menjelaskan bahwa dengan kecepatan blower rendah dan bukaan exhaust 100%, tekanan udara dalam kabin dapat mencapai tekanan positif.



Gambar 4: *Cut plot* untuk hasil variasi 1.

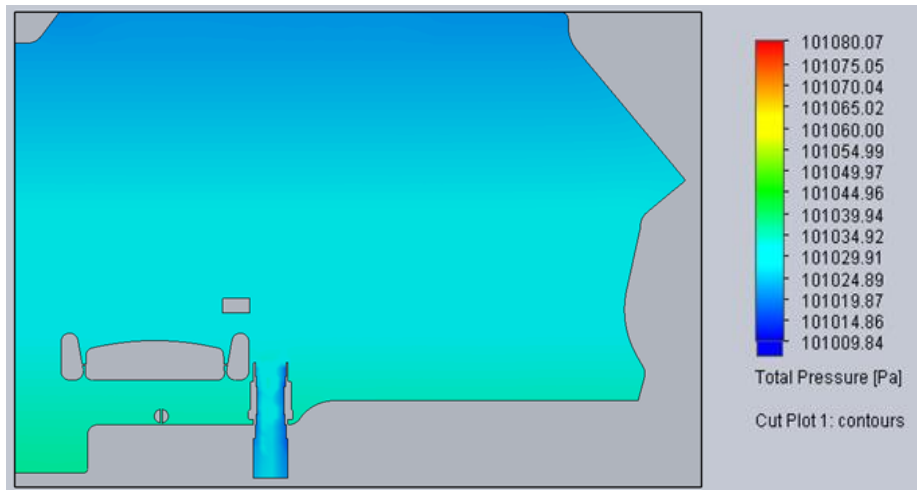
Distribusi tekanan udara di dalam kabin mobil pada variasi 1 dapat dilihat pada Gambar 4, di kabin bagian atas menunjukkan tekanan udara bernilai 101011 Pa atau 0,9969 atm. Kabin bagian bawah yang menunjukkan tekanan udara bernilai 101027 Pa atau 0,997 atm. Terjadinya pertambahan kecepatan aliran udara pada saluran *exhaust* menyebabkan turunnya tekanan udara berkisar antara 101019 Pa atau 0,9969 atm sampai 101024 Pa atau 0,997 atm.

2) Variasi 2 (*blower sedang, bukaan exhaust 100%*)

Tabel 3: Hasil simulasi variasi 2

PARAMETER	NILAI	UNIT
Tekanan udara maksimum	101080	Pa
Tekanan udara minimum	101010	Pa
Tekanan udara rata - rata	101027	Pa

Data hasil simulasi pada Tabel 3 tersebut menunjukkan tekanan udara dalam kabin bernilai +27 Pa dari tekanan udara sekitar. Angka tersebut menjelaskan bahwa dengan kecepatan *blower* sedang dan bukaan *exhaust* 100%, tekanan udara dalam kabin dapat mencapai tekanan positif.



Gambar 5: *Cut plot* untuk hasil variasi 2.

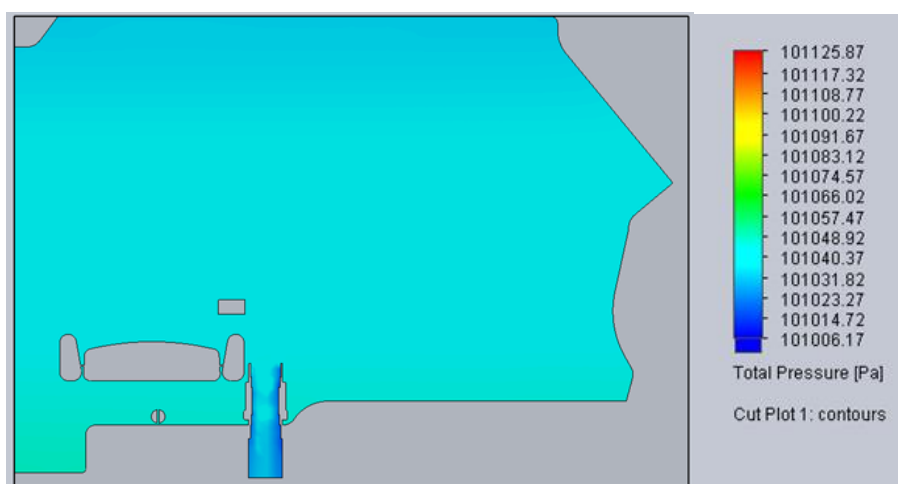
Gambar 5 memperlihatkan distribusi tekanan udara di dalam kabin mobil pada variasi 2. Kabin bagian atas menunjukkan tekanan udara bernilai 101024 Pa atau 0,997 atm, kabin bagian bawah yang menunjukkan tekanan udara bernilai 101034 Pa atau 0,9971 atm. Terjadinya pertambahan kecepatan aliran udara pada saluran *exhaust* menyebabkan turunnya tekanan udara berkisar antara 101014 Pa atau 0,9969 atm sampai 101029 Pa atau 0,997 atm.

3) Variasi 3 (*blower* tinggi, bukaan *exhaust* 100%)

Tabel 4: Hasil simulasi variasi 3

PARAMETER	NILAI	UNIT
Tekanan udara maksimum	0,0192	Pa
Tekanan udara minimum	0,0264	Pa
Tekanan udara rata - rata	0,0336	Pa

Data hasil simulasi pada tabel 4 tersebut menunjukkan tekanan udara dalam kabin bernilai +39 Pa dari tekanan udara sekitar. Angka tersebut menjelaskan bahwa dengan kecepatan *blower* tinggi dan bukaan *exhaust* 100%, tekanan udara dalam kabin dapat mencapai tekanan positif.



Gambar 6: *Cut plot* untuk hasil variasi 3

Distribusi tekanan udara di dalam kabin mobil pada variasi 3 ditunjukkan pada Gambar 6. Kabin bagian atas menunjukkan tekanan udara bernilai 101035 Pa atau 0,9971 atm, semakin ke bawah tekanan

udara semakin meningkat yaitu bernilai 101048 Pa atau 0,9972 atm. Terjadinya penambahan kecepatan aliran udara pada saluran *exhaust* menyebabkan turunnya tekanan udara di area tersebut dengan hasil tekanan udara berkisar 101014 Pa atau 0,9969 atm hingga 101040 Pa atau 0,9971 atm.

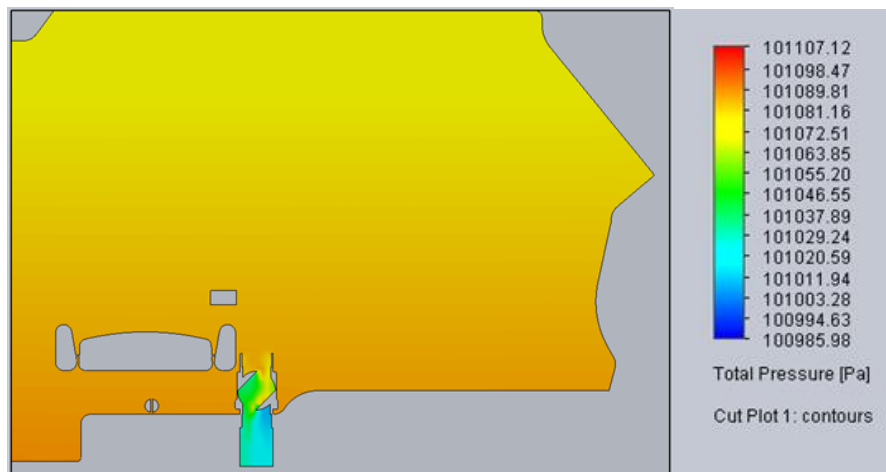
4) Variasi 4 (*blower* rendah, bukaan *exhaust* 50%)

Tabel 5: Hasil simulasi variasi 4

PARAMETER	NILAI	UNIT
Tekanan udara maksimum	0,0192	Pa
Tekanan udara minimum	0,0264	Pa
Tekanan udara rata - rata	0,0336	Pa

Data hasil simulasi pada tabel 5 tersebut menunjukkan tekanan udara dalam kabin bernilai +80 Pa dari tekanan udara sekitar. Angka tersebut menjelaskan bahwa dengan kecepatan *blower* rendah dan bukaan *exhaust* 50%, tekanan udara dalam kabin dapat mencapai tekanan positif.

Gambar 7 memperlihatkan distribusi tekanan udara di dalam kabin mobil pada variasi 4. Tekanan udara di kabin bagian atas bernilai 101072 Pa atau 0,9975 atm. Semakin ke bawah tekanan udara semakin meningkat sehingga terjadi perubahan warna menjadi kuning semi merah di kabin bagian bawah yang menunjukkan tekanan udara bernilai 101089 Pa atau 0,9976 atm. Terjadinya penambahan kecepatan aliran udara pada saluran *exhaust* menyebabkan turunnya tekanan udara di area tersebut sehingga warna pada saluran *exhaust* berupa campuran beberapa warna yang menunjukkan tekanan udara berkisar antara 101011 Pa atau 0,9969 atm sampai 101070 Pa atau 0,9974 atm.



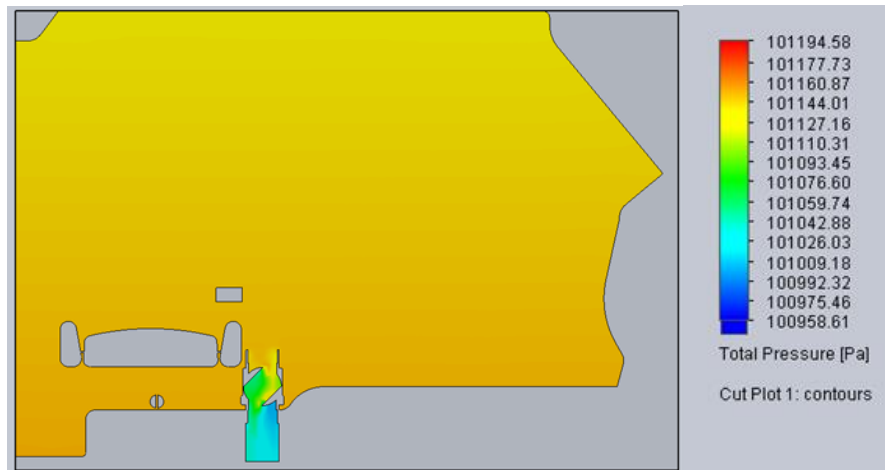
Gambar 7: *Cut plot* untuk hasil variasi 4.

5) Variasi 5 (*blower* sedang, bukaan *exhaust* 50%)

Tabel 6: Hasil simulasi variasi 5

PARAMETER	NILAI	UNIT
Tekanan udara maksimum	0,0192	Pa
Tekanan udara minimum	0,0264	Pa
Tekanan udara rata - rata	0,0336	Pa

Data hasil simulasi pada Tabel 6 tersebut menunjukkan tekanan udara dalam kabin bernilai +143 Pa dari tekanan udara sekitar. Angka tersebut menjelaskan bahwa dengan kecepatan *blower* sedang dan bukaan *exhaust* 50%, tekanan udara dalam kabin dapat mencapai tekanan positif



Gambar 8: *Cut plot* untuk hasil variasi 5.

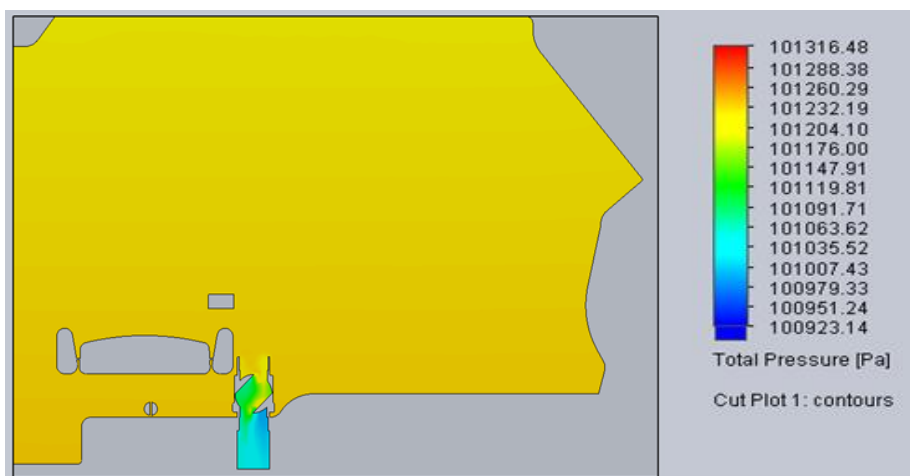
Distribusi tekanan udara di dalam kabin mobil pada variasi 5 ditunjukkan pada Gambar 8, di kabin bagian atas menunjukkan tekanan udara bernilai 101130 Pa atau 0,998 atm sedangkan di kabin bagian bawah yang menunjukkan tekanan udara bernilai 101144 Pa atau 0,9982 atm. Terjadinya pertambahan kecepatan aliran udara pada saluran *exhaust* menyebabkan turunnya tekanan udara di area tersebut sehingga warna pada saluran *exhaust* berupa campuran beberapa warna yang menunjukkan tekanan udara berkisar antara 101009 Pa atau 0,9968 atm sampai 101127 Pa atau 0,998 atm.

6) Variasi 6 (*blower* tinggi, bukaan *exhaust* 50%)

Tabel 7: Hasil simulasi variasi 6.

PARAMETER	NILAI	UNIT
Tekanan udara maksimum	0,0192	Pa
Tekanan udara minimum	0,0264	Pa
Tekanan udara rata - rata	0,0336	Pa

Data hasil simulasi pada Tabel 7 tersebut menunjukkan tekanan udara dalam kabin bernilai +226 Pa dari tekanan udara sekitar. Angka tersebut menjelaskan bahwa dengan kecepatan *blower* tinggi dan bukaan *exhaust* 50%, tekanan udara dalam kabin dapat mencapai tekanan positif.



Gambar 9: *Cut plot* untuk hasil variasi 6

Gambar 9 memperlihatkan distribusi tekanan udara di dalam kabin mobil pada variasi 6. Tidak terlalu

terlihat adanya gradasi warna yang menunjukkan perbedaan tekanan pada kabin. Hal tersebut berkaitan dengan *range* indikator warna yang sudah sangat besar. Sesuai indikator warna di sebelah kanan atas gambar, warna kuning pada kabin menunjukkan nilai tekanan udara rata – rata kabin yaitu 101226 Pa atau 0,999 atm. Terjadinya pertambahan kecepatan aliran udara pada saluran *exhaust* menyebabkan turunnya tekanan udara di area tersebut sehingga warna pada saluran *exhaust* berupa campuran beberapa warna yang menunjukkan tekanan udara berkisar antara 101007 Pa atau 0,9968 atm sampai 101200 Pa atau 0,9987 atm.

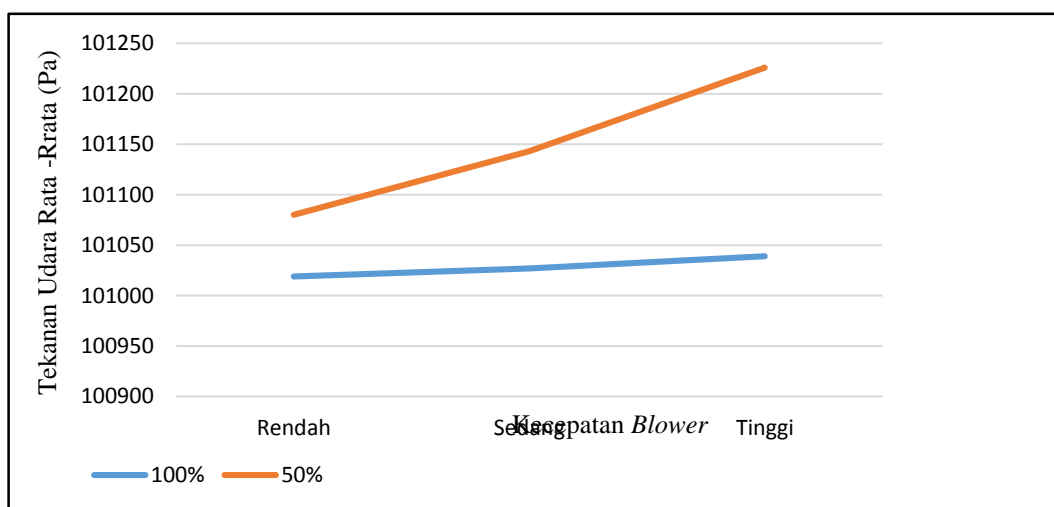
Berdasarkan hasil simulasi kesemua variasi, didapatkan nilai – nilai data hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 berikut ini:

Table 8: Data hasil simulasi keseluruhan variasi.

KECEPATAN BLOWER	EXHAUST	NILAI TEKANAN UDARA MAKSIMUM	NILAI TEKANAN UDARA RATA - RATA	NILAI TEKANAN UDARA MINIMUM	NILAI TEKANAN UDARA KABIN ATAS	NILAI TEKANAN UDARA KABIN BAWAH
Rendah	100%	101045	101019	101009	101011	101027
Rendah	50%	101107	101080	100986	101072	101089
Sedang	100%	101080	101027	101010	101024	101034
Sedang	50%	101194	101143	100959	101130	101144
Tinggi	100%	101125	101039	101006	101035	101048
Tinggi	50%	101316	101226	100923	101226	101226

Berdasarkan Tabel 8 tekanan udara rata – rata dari semua variasi kecepatan *blower* menunjukkan nilai yang melebihi tekanan udara luar. Nilai terkecil dari tekanan udara rata – rata untuk semua variasi terdapat pada saat kondisi kecepatan *blower* rendah dan kondisi *exhaust* terbuka penuh yaitu 101019 Pa. Nilai tersebut memiliki perbedaan +19 Pa dari udara luar yang memiliki tekanan udara sebesar 101000 Pa. Perbedaan tekanan ini telah mencukupi persyaratan dari suatu ruangan isolasi protektif sehingga dapat dinyatakan bahwa perancangan mobil MSSC ini telah sesuai.

Grafik hubungan antara tekanan udara rata – rata pada kabin dengan kecepatan *blower* ditunjukkan pada Gambar 10. Berdasarkan grafik tersebut dapat dinyatakan bahwa semakin cepat kecepatan *blower* maka semakin besar pula tekanan udara rata – rata. Hal ini berkaitan dengan bunyi dari persamaan gas ideal yaitu semakin besar massa suatu zat maka semakin semakin besar tekanannya. Kecepatan *blower* yang besar mempunyai tingkat laju aliran massa yang besar pula sehingga membuat massa dari udara menjadi besar. Semakin besarnya massa udara inilah yang membuat tekanan udara menjadi semakin besar.



Gambar 10: Grafik tekanan udara rata - rata kabin pada variasi kecepatan *blower*

4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan terhadap perancangan dan simulasi desain kabin mobil SSCM didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kabin mobil Daihatsu Xenia 1300 cc dari hasil simulasi dapat digunakan sebagai ruang tekanan udara positif dengan menambahkan beberapa fitur.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain rancangan kabin mobil MSSC menghasilkan tekanan udara positif dengan nilai 101019 Pa pada kecepatan blower rendah dan bukaan exhaust 100%.

5 PERNYATAAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada PT Astra Daihatsu Motor atas hibah Mobil Xenia 1300 cc tahun 2013 dan kepada Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada atas sebagian pembiayaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dana Masyarakat Sekolah Vokasi UGM skema kompetitif tahun 2021.

6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION scientific brief, who.int, <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>. Diakses: Januari 2021.
- [2] ATKINSON J., CHARTIER Y., PESSOA-SILVA C.L., JENSEN P, LI Y., SETO W., *Natural ventilation for infection control in health care settings*, 1 ed, Geneva, WHO, 2009.
- [3] KOENIGSHOFER, D., MURPHY, J., et al., *Design Manual for Hospitals and Clinics*, 2nd ed, ASHRAE: Atalanta US, 2013.
- [4] TI, K.L., ANG, L.S., FOONG, T.W., NG, B.S.W., “What we do when a COVID-19 patient needs an operation: operating room preparation and guidance”, *Canadian Journal of Anesthesia*, v. 67, n. 6, pp. 756-758, Jun 2020.
- [5] WONG, J., GOH, Q.Y., TAN, Z., LIE, S.A., TAY, Y.C., NG, S. Y., SOH, C. R., “Preparing for a COVID-19 pandemic: a review of operating room outbreak response measures in a large tertiary hospital in Singapore”, *Canadian Journal of Anesthesia*, v. 67, n. 6, pp. 732–745, Jun 2020.
- [6] RACHMAT, *Analisis kinerja dan perancangan sistem tata udara ruang operasi berdasarkan standar ashrae 170 dan ISO 14644-1*, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, 2017.
- [7] Centers of Disease Control and Prevention (CDC), <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/background/air.html#c5a>. Diakses: Januari 2021.
- [8] GONZALEZ-BROWN, V., M., RENO, J., LORTZ, H., FIORINI, K., COSTANTINE, M., M., “Operating room guide for confirmed or suspected covid-19 pregnant patients requiring cesarean delivery”, *American Journal of Perinatology*, v. 37, n. 8, pp. 825-828, Jun 2020.
- [9] WAX, R.S., CHRISTIAN, M.D., “Practical recommendations for critical care and anesthesiology teams caring for novel coronavirus (2019-nCoV) patients”, *Canadian Journal of Anesthesia*, v. 67, n. 5, pp. 568–576, May 2020.
- [10] HERRICK, M., *Health Facilities Management Magazine*, <https://www.hfmmagazine.com/articles/2671-planning-and-maintaining-hospital-air-isolation-rooms>. Diakses: Desember 2020
- [11] VERSTEEG H.K., *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, England, Longman Scientific & Technical, 1995.
- [12] DATE, A.W., *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, 1sted., Cambridge Univ Press, Aug 2005.
- [13] SYAMSURI, LILLAHULHAQ Z., YUSRON M., “Simulation of Fluid Flow Through Sedan Car YRS 4 Doors with Speed Variation Using CFD”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.11, n.3, pp. 395-400, 2020.
- [14] HIDAYAT, A., M., F., ARIYADI, H., M., MUFLIKHUN, M.A., “The Evaluation Of Mesh Characteristics Of The Car Modeling And Simulation Using Cfd Analysis”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.13, n.1, pp. 129-140, 2022.
- [15] SOELAIMAN, T.A.F., ARITONANG, A., “Analisis Sistem Tata Udara di Dalam Kabin Kendaraan Minibus Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Computational Fluid Dynamics”, *Mesin*, v.20, n.1, pp. 6-14, 2017.