

Model Airship Moda Transportasi Jabodetabek Guna Mengatasi Kemacetan Dengan Menggunakan CFD

Shidqi Divreda Sulaeman¹ Sovian Aritonang² Sjafrie Sjamsoeddin³ Gita Ampeiawan⁴

Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Kabupaten Bogor, provinsi Jawa Barat, Indonesia^{1,2,3,4}

Email: shidqi.sulaeman@tp.idu.ac.id¹ sovia.aritonang@idu.ac.id²

Abstrak

Penelitian ini dilatar belakangi oleh masalah kemacetan yang terjadi di JABODETABEK. Menurut data milik BPS (Badan Pusat Statistik) pada tahun 2021 penduduk DKI Jakarta pada bulan September 2021 mencapai 10,61 juta jiwa. Jumlah tersebut naik 0,45% dibandingkan pada tahun sebelumnya sebanyak 10,56 juta. Kendaraan di Jakarta menurut jenisnya di bagi menjadi 4 kendaraan bermotor diantaranya; mobil penumpang, bus, truk, sepeda motor. Menurut data yang dikumpulkan oleh BPS terdapat 21,7 juta kendaraan di Jakarta (BPS Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta 2019-2021, 2021). Merujuk pada penelitian yang dilakukan sebelumnya dengan judul "potensi penggunaan airship untuk mendukung pembangunan dengan efisien dan ramah lingkungan" (Subagyo, 2011) penelitian ini bertujuan untuk menambahkan potensi dari penggunaan airship, yaitu sebagai solusi kemacetan transportasi masal. Dewasa ini para peneliti sedang mencari solusi dari kemacetan yang ada di Jakarta. tujuan tersebut diperlukan analisis terhadap aerodinamis dari *design platform* dengan menggunakan metode *computation fluida dynamic (CFD)*. Penelitian ini menggunakan pendekatan Metode kuantitatif sebagai perhitungan dari aerodinamis pada airship yang dikombinasikan dengan Metode Pendekatan Parent Design (Parent Design Approach) dengan bantuan software Ansys R2 2022. Pendekatan tersebut menghasilkan karakteristik airship yang beroperasi saat ini.

Kata Kunci: Aerodinamika, Airship, *Computational Fluida Design*

Abstract

This research is motivated by the traffic congestion problem in Indonesia, specifically in Jakarta. According to data from the Central Statistics Agency (BPS), the population of Jakarta as of September 2021 is estimated to be 10.61 million people per year. This is an increase of 0.45% compared to the previous year, which had a population of 10.56 million. Road users in Jakarta are divided into four types of motor vehicles: passenger cars, buses, trucks, and motorcycles. According to data collected by the BPS, there are 21.7 million vehicles in Jakarta. Referring to previous research titled "The Potential of Using Airships to Support Development in an Efficient and Environmentally Friendly Manner" (Subagyo, 2011), the authors aim to explore the potential of using airships as a solution to mass transportation congestion. Currently, researchers are looking for solutions to the congestion in Jakarta. In this paper, the authors aim to contribute to finding the best solution to the current problem by providing input on the use of air accommodation using balloons. Specifically, the authors are using the Airlander 10 type balloon being developed in Hamburg. In order to achieve this goal, this research aims to conduct an analysis of the aerodynamics of the platform design using computational fluid dynamics. In order to achieve this goal, this research uses a quantitative method as a calculation of the aerodynamics of the airship combined with the Parent Design Approach method. This approach produces the characteristics of the airship currently in operation. Therefore, the authors would like to present this research to the city of Jakarta as an alternative solution to the traffic congestion problem itself.

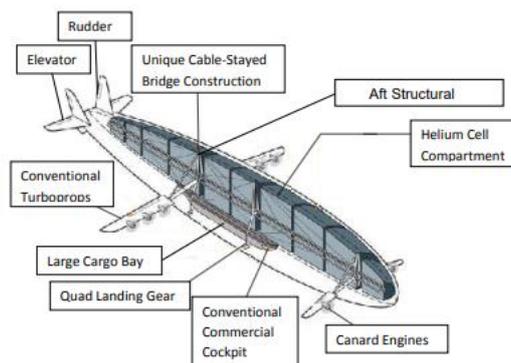
Keywords: Aerodynamics, Airship, *Computational Fluida Design*



Ciptaan disebarluaskan di bawah [Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Penelitian ini dilatar belakangi oleh masalah kemacetan yang terjadi di Indonesia, Khususnya Jakarta. Menurut data miik BPS, telah melakukan sensus penduduk pada tahun 2021, penduduk DKI Jakarta pada bulan September 2021 sebanyak 10,6 juta jiwa. Dapat diperkirakan setiap tahunnya Mengacu pada data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Jakarta mencapai 10,61 juta jiwa pada 2021. Jumlah tersebut naik 0,45% dibandingkan pada tahun sebelumnya yang sebanyak 10,56 juta. Pengguna jalan di Jakarta menurut jenisnya di bagi menjadi 4 kendaraan bermotor diantaranya; mobil penumpang, bus, truk, sepeda motor. Menurut data yang dikumpulkan oleh BPS menurut jenis unitnya ada 21,7 juta kendaraan di Jakarta. faktor-faktor penyebab kemacetan, yaitu penyebab banjir di Jakarta adalah (1) tingginya penggunaan kendaraan pribadi di Jakarta; (2) tingginya penggunaan kendar sepeda motor dua roda di Jakarta; (3) tidak sebanding antara volume kendaraan dengan kapasitas jalan; (4) pengguna jalan yang tidak disiplin menaati peraturan lalu lintas; (5) adanya pembangunan infrastruktur (Sitanggang dan Saribanon, 2018). Teknologi Airship untuk keperluan yang Dinamis Untuk berbagai keperluan dengan airship yang lebih banyak bergerak atau dinamis maka teknologi yang sesuai untuk keperluan tersebut adalah dengan menggunakan teknologi semi rigid airship yang dirancang dengan mengkombinasikan teknologi airship dan teknologi pesawat. Gabungan teknologi airship dan pesawat ini memberikan kecepatan yang lebih tinggi. Airship ini dirancang dengan gaya angkat selain dengan menggunakan gaya apung dibantu dengan sayap yang membangkitkan gaya angkat.



Gambar 1.
 (Subagyo, 2011)

Gambar diatas menunjukkan teknologi hibrida gabungan antara teknologi airship dan pesawat yang mampu mencapai kecepatan yang cukup tinggi (10). Teknologi penggabungan berupa hybrid airship telah dikembangkan oleh pembuat airship Ohio yang berkedudukan di Amerika. Merujuk pada penelitian yang dilakukan sebelumnya penulis bertujuan untuk mencoba untuk menjawab masalah dengan menerapkan teknologi yang dikembangkan saat ini yaitu Airship (Kapal Udara). Dewasa ini para peneliti sedang mencari solusi dari kemacetan yang ada di Jakarta. Dalam tulisan ini penulis bertujuan untuk berkontribusi untuk ikut serta dalam menemukan solusi terbaik dari masalah yang sedang dihadapi saat ini. Penulis ingin berkontribusi dalam memberikan masukan penggunaan akomodasi melalui udara. Yaitu menggunakan balon udara yang sedang dikembangkan di Hamburg dengan nama tipe Airlander 10.

Tinjauan Pustaka

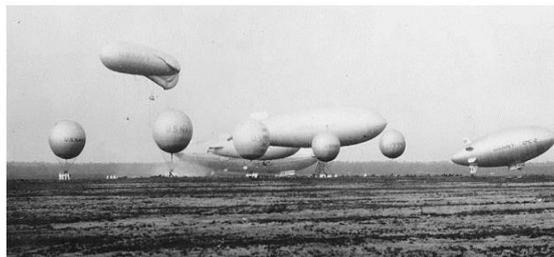
Kapal udara pada awalnya memiliki konsep dari balon dengan penggabungan propulsi dan sistem kemudi. Balon udara tergantung pada tekanan gas pengangkat yang digunakan yaitu

helium. Balon udara memiliki kemampuan dalam mempertahankan bentuknya dengan tekanan yang berlebih. Perubahan volume gas pengangkat terjadi karena perubahan suhu atau terjadi perubahan ketinggian yang dikompensasikan dengan memompa udara ke ballonet untuk mempertahankan tekanan berlebih. Tanpa adanya tekanan berlebih yang cukup akan menjadikan balon udara kehilangan kemampuan untuk dikemudikan dan diperlambat karena adanya peningkatan hambatan dan distorsi.

Perkembangan Kapal Udara

Asal muasal kapal udara modern dapat ditelusuri hingga berabad-abad yang lalu. Sebelum sayap tetap pesawat menembus langit manusia sudah terbang dengan menggunakan kapal udara. Penerbangan berawak dimulai dengan pesawat Lighter-than-Air (LTA) pada tahun 1783 ketika balon udara ditemukan. Kemampuan terbang balon bergantung pada daya angkat yang dihasilkan melalui daya apung, yang diciptakan oleh memanaskan udara di dalam balon. Balon memungkinkan manusia untuk mencapai penerbangan pertama. Kemajuan LTA datang pada abad ke-19 ketika sistem propulsi dimasukkan ke dalamnya balon untuk memberikan dorongan. Mengontrol balon bertenaga ini mengharuskan desainer untuk memperkenalkannya kemudi dan penutup ke pesawat. Selama ini bentuk balon juga mulai berubah. Amplop berubah dari desain spheroid ke ellipsoid menciptakan tubuh yang lebih ramping dan dengan itu kelahiran pesawat. Komponen ini masih membentuk dasar dari pesawat modern. Saat ini, benda-benda seperti balon dan pesawat terbang yang mengandalkan daya apung untuk menghasilkan daya angkat sudah sering ditemukan disebut sebagai aerostat.

Fungsionalitas pesawat ditingkatkan ketika mesin pembakaran internal diperkenalkan efisien menggantikan propulsi bertenaga manusia. Abad ke-20 mengalami ledakan di industri berkat desain baru ini. Kapal udara segera digunakan untuk militer dan aplikasi komersial. Letusan perang dunia pertama menyebabkan beberapa negara menggunakan kapal udara misi pengintaian dan pengeboman. Mereka terbukti agak tidak efektif pada yang terakhir tetapi mereka keberhasilan melakukan pengawasan dan komunikasi sudah jelas. Gunakan terus setelah perang.



Gambar 2.

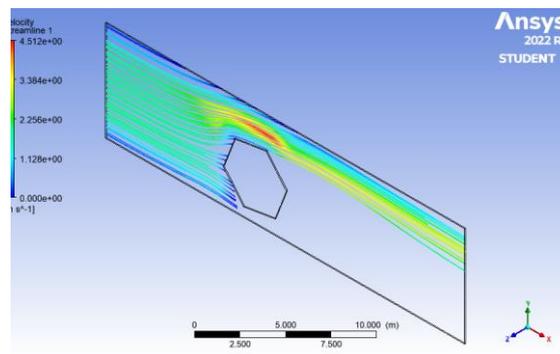
Sumber: Kevin Shields, "CFD applications in airship design", tahun 2010

Gambar diatas menunjukkan beberapa aerostat Angkatan Laut AS selama Demonstrasi tahun pada 1931. Penerbangan transatlantik pertama tersedia secara komersial di 3 kapal udara. Banyak juga yang ditemukan digunakan untuk ekspedisi dan eksperimen. Airships kembali signifikan penggunaan militer selama perang dunia kedua. Angkatan Laut AS mengoperasikan armada 168 kapal udara dalam peran antikapal selam untuk mengawal kapal. Dari 89.000 kapal yang dikawal tidak ada yang tenggelam, dan hanya satu pesawat akan hilang karena tembakan musuh. Penerbangan pesawat terus menurun setelah Perang Dunia II sebagai banyak negara menghentikan penggunaannya. Penurunan berlanjut dan pada tahun 1961 Angkatan Laut menghentikan LTA-nya program, menempatkan masa depan pesawat dengan militer AS dalam bahaya. Penggunaannya di lain ladang juga berkurang. Selama empat dekade

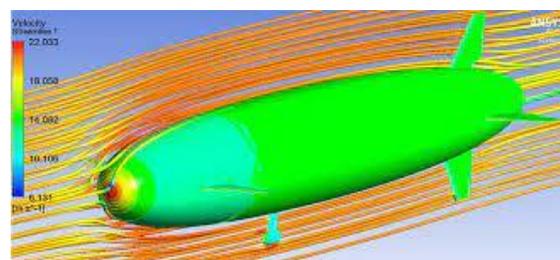
berikutnya, sebagian besar sisa operasi kapal udara akan melayani industri periklanan Aerodinamika dengan pendekatan studi numerik ini dilakukan karena keterbatasan alat ukur dan tuntutan visualisasi yang detail mengenai karakteristik aliran tahanan melintasi platform design airship Airlander 10.

Berdasarkan hal yang akan diteliti tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis terhadap aerodinamis dari design platform dengan menggunakan metode computational fluida dynamic. Guna mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan Metode kuantitatif yang dikombinasikan dengan Metode Pendekatan Parent Design atau biasa dikenal dengan Parent Design Approach dan dibantu aplikasi Ansys R2 2022 menganalisa aliran fluida pada desain airship.

Parent design approach merupakan salah satu metode dalam mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara mengambil sebuah airship yang dijadikan sebagai acuan airship pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan airship yang akan dirancang. Dalam hal ini designer sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan airship yang akan dirancang, dan terbukti mempunyai performa yang bagus. Keuntungan dalam parent design approach adalah: Dapat mendesain airship dengan lebih cepat, karena sudah ada acuan kapal sehingga cukup dilakukan modifikasi; Performa kapal telah teruji dari segi stabilitas, motion dan resistance. Pendekatan tersebut menghasilkan karakteristik Airship yang beroperasi saat ini. Dalam analisa aerodinamika design platform airship ini menggunakan metode numerik computational fluid dynamic menggunakan software ANSYS FLUENT 2022 (Rehan et al., 2021).



Sumber: 2022, Ansys Fluent Student R2



Sumber: 2022, Ansys Fluent Student R2

Aerodynamic merupakan suatu pergerakan udara atau gas lainnya yang bersifat fluida, yang memiliki gaya dengan gerak relatif terhadap fluida tersebut. Airship merupakan aerostat yang dilengkapi dengan penggerak dan sistem dengan cara mengendalikan arah gerak. Pergerakan kapal udara Ketika pembangkit listriknya tidak beroperasi maka akan bertindak sebagai balon udara. Aerodinamika kapal udara secara sederhana terdiri dari gaya angkat magnus. Gaya ini bekerja dalam arah tegak lurus terhadap arah gerakan dan sumbu putar. Gaya magnus bekerja secara vertikal ke atas untuk memungkinkan menempuh jarak

yang lebih jauh daripada dalam ruang hampa (Cross, 2007). Persamaan hambatan aerodinamika dapat ditunjukkan sebagai berikut (Michele et al., 2013).

$$D = \frac{1}{2} u^2 V_{ext}^{2/3} C_{D,V} \quad (1)$$

dan gaya angkat aerodinamik dapat ditunjukkan sebagai berikut (Michele et al., 2013).

$$L' = \frac{1}{2} u^2 V^{2/3} C_{L,V} \quad (2)$$

Proses gaya angkat pada kapal udara secara mendasar dipengaruhi oleh gaya angkat, gaya apung, dan adanya pengaruh pembebanan yang dimilikinya atau gaya berat. Penggunaan gaya angkat menggunakan gas dengan didasarkan pada prinsip hukum Archimedes dan dapat didefinisikan sebagai *principle lift*. Gaya angkat terjadi karena adanya perbedaan densitas antara gas dengan udara. Persamaan *Principle Lift* (PL) ditunjukkan sebagai berikut:

$$PL = V(\rho_A - \rho_B) = V\Delta\rho, kg \quad (3)$$

V merupakan volume gas udara yang ada di dalam kapal udara dalam satuan m^3 , ρ_A, ρ_B merupakan densitas udara dan gas dalam satuan m^3 , $\Delta\rho$ merupakan *buoyancy* spesifik untuk $1 m^3$ gas. Kemudian volume gas dan udara secara teori dapat ditentukan dengan persamaan Clapeyron untuk gas ideal.

$$pv = RT ; v = \frac{RT}{P} = \frac{1}{\rho} ; \rho = \frac{P}{RT} \quad (4)$$

dengan, v merupakan nilai gas spesifik dengan satuan m^3/kg m, R merupakan konstanta gas dalam satuan $kg \cdot m/kg^\circ C$ dengan 29.27 untuk udara, 424 untuk hydrogen, dan 212 untuk helium, T merupakan temperatur mutlak, $^\circ K$, p tekanan atmosfer dengan satuan kg/m^2 . Komponen gaya yang bekerja terdiri dari komponen vertikal dan komponen horisontal, komponen vertikal terdiri dari gaya angkat (F_{lift}) dengan arah ke atas, gaya berat (W), dan gaya hambat (F_{dv}). Sedangkan pada komponen horizontal terdiri dari gaya dorong (F) dan gaya hambat (F_{dh}) yang arahnya berlawanan arah dengan gerakan benda (Purwadi et al., 2014). Arah vertikal dapat ditinjau dengan menggunakan hukum Archimedes, dengan besarnya gaya apung pada sebuah benda dalam fluida sebanding dengan berat fluida yang dipindahkan.

$$F_y = \Delta\rho \cdot V \cdot g = P_L \cdot g \quad (5)$$

Kapal udara dapat naik ke atas jika gaya apung lebih besar dari beban total kapal udara tersebut ditambah dengan gaya friksi yang dialaminya. Gaya friksi (Fd) sebanding dengan kecepatan (v) dan luas bidang frontal kapal udara (A). Bidang frontal ini berupa bidang ellips dengan jari-jari diagonal a dan b. Koefisien drag dapat dihitung berdasarkan persamaan Squire-Young dan konfigurasi kapal udara dapat diitung dengan metode non-circulate coupling (Wang et al., 2009). yang terapkan untuk perhitungan koefisien drag pada kapal udara (Ping & Wang, 2018). Persamaan koefesien hambatan berdasarkan persamaan Squire-Young (A. De YOUNG, 1939) adalah sebagai berikut.

$$C_{dv} = \frac{Fd}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 v^{2/3}} = \frac{4\pi}{V^{2/3}} r\theta U_e^{(H+5)/2} \quad (6)$$

dengan Fd merupakan gaya hambat, ρ adalah densitas atmosfer, U_∞ adalah kecepatan pada saat inifititas, V adalah Volumr lambung kapal udara, dan r adalah jari-jari generatrix. Gaya hambat dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A. \quad (7)$$

Luas bidang frontal dengan komponen hambatan vertikal berupa bidang ellips dengan jari-jari diagonal luas ellips, yang ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 3. Bentuk bidang frontal ellips dan ditinjau dari vertikal berupa lingkaran. Sumber: Penulis, 2022.

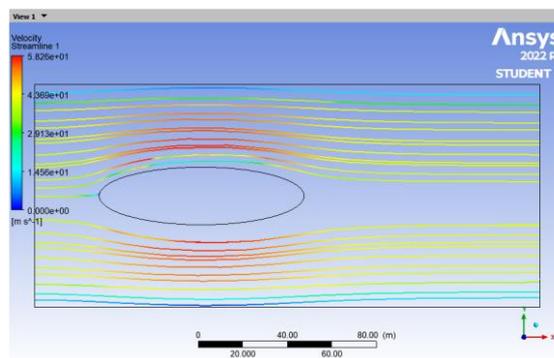
Perhitungan gaya hambat pada kapal udara menurut Lutz dan Wegner (Lutz & Wagner, 1997) serta Nakayama dan Patelt (Nakayama & Patelt, 1974) ditentukan dengan empat langkah yaitu, adanya distribusi kecepatan pada permukaan lambung kapal dihitung dengan mengasumsikan aliran yang tidak dapat dimatikan dan tidak kental dengan teori aliran potensial, ketebalan batas laminar dihitung menggunakan persamaan dari hasil langkah pertama, titik balik aliran laminar ditentukan, dan ketebalan lapisan batas dan kehilangan momentum dihitung dengan model lapisan batas aliran turbulen pada daerah setelah titik transisi aliran laminar. Sedangkan pada komponen horizontal terdiri dari gaya dorong (*thrust*) atau adanya gaya Tarik eksternal F_x yang diberikan dengan dikurangi gaya hambat F_{dx} . Pada komponen horizontal dapat digunakan persamaan berikut.

$$\sum F_x = F_x - F_{dx} \quad (8)$$

Setelah perhitungan pada airship 2 dimensi Berdasarkan dimensi tersebut dilakukan analisa menggunakan computational design menggunakan cfd pada aplikasi Ansys R2 2022.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dari pendekatan analisis aerodinamik penulis melakukan permodelan dalam *computational fluida dynamic* yang menjawab bahwa permodelan dari yang dibuat pada perhitungan yang dilakukan, airship dapat melalui hambatan sesuai pada gambar berikut.



Sumber: 2022, Ansys Fluent Student R2

Studi ini mengkaji respon aerodinamis dasar model selama beberapa kondisi penerbangan. Beberapa studi tindak lanjut dan investigasi dapat dilakukan untuk melanjutkan pekerjaan ini. Jika pesawat Airship Unhan akan dikembangkan lebih lanjut, studi harus memeriksa rentang yang lebih luas dari kondisi penerbangan. Analisis harus diperluas ke fitur pesawat tambahan, yaitu sirip, mobil kontrol, mesin dll. Analisis juga harus mencakup dinamika non-linier seperti yang ditambahkan massa untuk sepenuhnya menyelidiki stabilitas. Penelitian bisa dilanjutkan untuk memberikan perbaikan pada proses pembelajaran terhadap pemodelan. Orang mungkin memeriksa variasi dalam parameter pemodelan dan perubahan desain. Masa depan pekerjaan harus melibatkan model turbulen yang lebih kompleks seiring

peningkatan kinerja komputasi izin. Model alternatif juga dapat disertakan seperti LES atau model turbulen hybrid. Mungkin menjadi penting bahwa setiap perbaikan, atau kesepakatan, pedoman universal untuk verifikasi dan validasi memeriksa kembali metode ini, terutama jika tingkat akurasi yang lebih tinggi diinginkan di masa mendatang kerja. Selain itu, hasil ini dapat diverifikasi lebih lanjut sebagai data dari uji terbang di masa mendatang penerbangan. Analisis harus diperluas ke fitur pesawat tambahan, yaitu sirip, mobil kontrol, mesin dll. Analisis juga harus mencakup dinamika non-linier seperti yang ditambahkan massa untuk sepenuhnya menyelidiki stabilitas. Penelitian bisa dilanjutkan untuk memberikan perbaikan pada proses pembelajaran terhadap pemodelan. Orang mungkin memeriksa variasi dalam parameter pemodelan dan perubahan desain. Masa depan pekerjaan harus melibatkan model turbulen yang lebih kompleks seiring peningkatan kinerja komputasi izin. Model alternatif juga dapat disertakan seperti LES atau model turbulen hybrid. Mungkin menjadi penting bahwa setiap perbaikan, atau kesepakatan, pedoman universal untuk verifikasi dan validasi memeriksa kembali metode ini, terutama jika tingkat akurasi yang lebih tinggi diinginkan di masa mendatang kerja. Selain itu, hasil ini dapat diverifikasi lebih lanjut sebagai data dari uji terbang di masa mendatang.

CFD Sebagai Alat Desain Dari Airship

Analisis numerik telah berkembang dalam beberapa dekade terakhir yang dipelopori oleh bidang CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang sedang berkembang. Pertumbuhan eksponensial dari kekuatan komputasi telah mendorong analisis dari aliran laminar dua dimensi sederhana menjadi aliran tiga dimensi yang penuh dengan turbulensi dengan pemisahan. Pemaduan kekuatan komputasi saat ini dengan perangkat lunak CFD modern menawarkan alat yang kuat untuk analisis menyeluruh. Semakin banyak kemampuan pemodelan, semakin besar juga potensi terjadinya kesalahan. Kesuksesan simulasi dan keakuratan kesimpulan yang diambil tergantung pada pengguna CFD. Kesalahan dapat diminimalkan dengan menentukan kondisi yang sesuai, model dan jaringan yang sesuai, algoritma, dan input lainnya oleh pengguna. CFD masih tumbuh dan belum ada satu set prosedur pemodelan universal. Ada berbagai panduan dan prosedur yang tersedia tergantung pada tingkat akurasi yang diinginkan. Namun, penilaian terperinci sebaiknya mencakup perbandingan dengan teori dan eksperimen untuk verifikasi dan validasi jika memungkinkan.

Desain Airship mencakup pertimbangan aerodinamika, fabrikasi, dan struktural. Analisis CFD telah diterapkan pada beberapa aspek ini. Selimut pesawat udara adalah komponen terbesar dan paling penting dan menerima perhatian terbesar. Secara umum, kebanyakan studi menganalisis koefisien gaya aerodinamis untuk mengevaluasi desain potensial. Penelitian ini telah singkat mengeksplorasi potensi CFD sebagai alat desain airship. Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien gaya dihasilkan dengan tingkat akurasi yang dapat diterima dengan menggunakan analisis numerik. Berbeda dengan kebanyakan uji terowongan angin, pemodelan numerik dapat memberikan detail spesifik tentang aliran dan di setiap lokasi pada bidang aliran. Dalam keadaan tertentu, model komputasi dapat dengan mudah diubah untuk mengevaluasi desain atau kondisi terbang yang berbeda. Selain itu, komputer tidak terbatas secara fisik oleh dimensi model, sehingga dapat dilakukan analisis pada desain skala penuh.

KESIMPULAN

Pemanfaatan airship untuk keperluan transportasi masal di jabodetabek ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi kinerja dan efisiensi dapat berkurang karena aliran angin yang rumit konsekuensi dari memiliki orientasi bangunan serampangan di daerah perkotaan kita. Untuk menemukan Penyelesaian medan aliran yang kompleks ini perlu diperhatikan pola

aliran angin disekitar desain airship . Simulasi CFD dan hasil percobaan sangat mirip dengan studi eksperimental. Keakuratan hasil juga bergantung pada pemodelan yang tepat skala, penyambungan yang tepat dari model geometri dan menentukan nilai properti fisik persis seperti kondisi yang realistis. Laju aliran angin terlihat sangat berpengaruh dengan struktur pada airship dengan kecepatan di berbagai pola dan tingkat yang bertanggung jawab untuk meningkatkan atau menurunkan kinerja turbin angin dipasang di daerah ini. Sudut kejadian angin dalam semua kasus memiliki menunjukkan efek yang luar biasa pada aliran angin di sekitar bangunan. Dalam kasus kelompok bangunan pengujian terowongan angin ekstensif mengingat efek interferensi angin diperlukan secara akurat perkiraan sebelum memasang dan merancang turbin angin domestik. Banyak yang rumit dan model kompleks dapat diperiksa dengan bantuan analisis CFD dan kriteria perancangan sistem turbin angin di setiap medan aliran dapat distandarisasi. Selain studi terowongan angin, model skala penuh dari masalah fisik perlu dimodelkan dan dianalisis dengan numerik ini simulasi untuk pemahaman yang lebih baik tentang medan aliran angin(Roy & Bhargava, 2012)

DAFTAR PUSTAKA

- A. De YOUNG, B. . (1939). *The Calculation of the Total and Skin Friction Drags of Bodies of Revolution at Zero Incidence*. 51–70.
- BPS Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta 2019-2021. (2021). *BPS Provinsi DKI Jakarta*.
- Cross, R. (2007). Aerodynamics of a Party Balloon. *The Physics Teacher*, 45(6), 334–336. <https://doi.org/10.1119/1.2768686>
- Lutz, T., & Wagner, S. (1997). *DRAG REDUCTION AND SHAPE*. 1–11.
- Michele, T., Emilia, R., Di, S. M. I., Emilia, R., Antonio, D., Emilia, R., Di, S. M. I., Emilia, R., Emilia, R., Di, S. M. I., & Emilia, R. (2013). *CONSTRUCTAL DESIGN FOR EFFICIENCY: THE CASE OF AIRSHIP DESIGN*. 1–12.
- Nakayama, A., & Patelt, V. C. (1974). *Calculation of the Viscous Resistance of Bodies of Revolution*. 8(4), 154–162.
- Ping, L., & Wang, X. L. (2018). *Aerodynamic characteristics of airship Zhiyuan-1 Aerodynamic Characteristics of Airship Zhiyuan-1*. December 2013. <https://doi.org/10.1007/s12204-013-1443-9>
- Purwadi, P., Sunarto, F., Muttaqin, A., & Seto, T. H. (2014). Aplikasi Mobile Zappelle Sebagai Media Teknologi Modifikasi Cuaca (Tmc) Dan Penipisan Polutan Udara (Asap). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 15(2), 57. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v15i2.2671>
- Rehan, M. H., Hamza, A., Qaisar, A., & Rehman, A. (2021). *CFD Analysis of Automobile for Efficient Aerodynamic Design using ANSYS*. June. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22560.30729>
- Roy, A. K., & Bhargava, P. K. (2012). CFD Modelling of Wind Flow around Buildings for Wind Energy Conversion. *National Conference on Emerging Trends of Energy Conservation in Buildings, November 2012*, 370–379.
- Subagyo. (2011). *Potensi Penggunaan Airship Untuk Mendukung Pembangunan*. 404–412.
- Wang, Q., Chen, J., Fu, G., & Duan, D. (2009). *An approach for shape optimization of stratosphere airships based on multidisciplinary design optimization **. 10(11), 1609–1616. <https://doi.org/10.1631/jzus.A0820814>