



## Konsep Desain Struktur Kapal Udara sebagai Transportasi Massal di Jabodetabek

Michael Tobing<sup>1</sup>, Sovian Aritonang<sup>2</sup>, Sjafrie Sjamsoeddin<sup>3</sup>, Gita Amperiawan<sup>4</sup>, Putro Nugroho<sup>5</sup>

Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan, Indonesia<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia<sup>5</sup>

Received: 07 Juli 2024  
Revised: 15 Juli 2024  
Accepted: 25 Juli 2024

### Abstract

Dalam menghadapi masalah kepadatan penduduk dan mobilitas perkotaan yang semakin meningkat di kota besar, solusi transportasi massal yang efisien menjadi sangat penting. Airship, sebagai wahana udara "lighter-than-air" muncul sebagai alternatif menarik. Keunggulan utamanya adalah penggunaan lifting gas sehingga mampu lepas landas secara vertikal tanpa butuh lahan yang luas dan efisiensi bahan bakar. Dalam penelitian ini, dibuatlah desain struktur hybrid airship tipe semi-rigid karena tingkat keamanannya tinggi, namun dengan bobot yang lebih ringan. Desain ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis, ekonomis, dan aman untuk mengatasi masalah transportasi massal di wilayah yang padat seperti Jakarta. Penelitian ini melibatkan literature review untuk mengumpulkan informasi desain airships, diikuti dengan pembuatan konsep desain berdasarkan Design Requirement and Objective (DRO). Hasil perhitungan numerik digunakan sebagai panduan dalam pembuatan model dan pembebanan, dengan analisis kekuatan struktur menggunakan simulasi Finite Element Analysis (FEA). Hasil analisis menunjukkan bahwa desain struktur airship ini memiliki deformasi maksimal sebesar 165.87 mm dan Factor of Safety (FOS) mencapai 2.21, melebihi nilai minimal yang diperlukan. Oleh karena itu, desain struktur airship ini memenuhi persyaratan esensial dalam hal kekuatan dan keamanan yang dibutuhkan untuk menjadi solusi inovatif terhadap masalah mobilitas perkotaan di Jabodetabek.

**Keywords:** Desain, Finite Element Analysis, Kapal Udara Hybrid, Struktur

(\*) Corresponding Author: [michaeljuliuncaesar@gmail.com](mailto:michaeljuliuncaesar@gmail.com)

**How to Cite:** Tobing, M., Aritonang, S., Sjamsoeddin, S., Amperiawan, G., & Nugroho, P. (2024). Konsep Desain Struktur Kapal Udara sebagai Transportasi Massal di Jabodetabek. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(14), 675-684. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13736254>

## PENDAHULUAN

Peningkatan yang signifikan dalam pertumbuhan populasi, dengan proses urbanisasi yang terus terjadi, berdampak pada peningkatan angka kepadatan penduduk di kawasan metropolitan Indonesia, khususnya di Ibukota. Jakarta merupakan contoh kota yang mengalami fenomena urbanisasi, menjadi pusat bisnis, ekonomi, dan politik. Ini mengakibatkan peningkatan aktivitas ekonomi di suatu kota, yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan kegiatan lain di wilayah perkotaan seperti timbulnya pemukiman-pemukiman baru, daerah industri, dan juga sektor perdagangan dan jasa.

Aktivitas perkotaan tersebut harus didukung dengan adanya Transportasi. Transportasi adalah suatu pergerakan berupa perjalanan dari asal sampai tujuan (Sitanggang & Saribanon, 2018). Jumlah penduduk yang meningkat akan meningkatkan pergerakan masyarakat. Data populasi Jakarta yang diungkapkan

oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jakarta menunjukkan bahwa jumlah penduduk Jakarta adalah 10.557.810 jiwa pada tahun 2019, 10.562.088 jiwa pada tahun 2020, dan 10.644.776 jiwa pada tahun 2021. Dari data tersebut terlihat bahwa jumlah penduduk meningkat 0.45% pada tahun 2021 dibandingkan tahun sebelumnya. (Badan Pusat Statistika, 2021). Terbatasnya lahan dan pertumbuhan jumlah kendaraan pribadi yang tinggi menjadi salah satu faktor penyebab kemacetan. Jumlah kendaraan di Jakarta pada tahun 2019 sebanyak 19.883.246 kendaraan, pada tahun 2020 jumlah kendaraan sebanyak 20.221.821 kendaraan, dan pada tahun 2021 memiliki jumlah kendaraan sebanyak 21.758.695 kendaraan (Badan Pusat Statistika, 2021). Untuk itu diperlukan transportasi umum yang bisa menjadi pilihan moda transportasi untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi di perkotaan dan mengurai kemacetan. *Airships* adalah salah satu alternatif transportasi massal melalui jalur udara.

*Airships* merupakan wahana udara "*lighter-than-air*" yang menggunakan gaya angkat dari *lifting gas* yang berada pada bagian *envelope* (Stockbridge et al., 2012). *Lifting Gas* merupakan gas yang memiliki massa jenis lebih rendah dari massa jenis atmosfer. *Airships* pertama kali dirancang oleh ahli matematika Italia pada tahun 1670-an, kemudian rancangan tersebut dimodifikasi dan dibangun oleh ilmuwan dari Prancis pada tahun 1844. Beberapa *airships* yang terkenal di awal jaman perkembangannya adalah Hinderburg, Graff Zeppelin, dan The Goodyear Blimp (Madmud, 2015).

Kelebihan dari *airships* adalah kemampuan *vertical take-off* sehingga minim lahan untuk lepas landas dan lebih hemat bahan bakar karena gaya angkat yang dihasilkan oleh gas (Stockbridge et al., 2012). Untuk penelitian ini akan membuat desain struktur dari *hybrid airships* untuk menjadi moda transportasi yang cocok digunakan di Indonesia. *Hybrid airship* menggabungkan teknologi *lighter-than-air* dari *lifting gas* dan *heavier-than-air* dari sayap pesawat konvensional untuk terbang (Liao & Pasternak, 2009). Dengan menambahkan sayap pada *airship*, akan diberikan gaya angkat aerodinamik, meningkatkan stabilitas, pengurangan hambatan, dan menambah daya angkut pada *airship* (Liao & Pasternak, 2009). Sebagai contoh *hybrid airships* dalam ranah komersial, terdapat Airlander 10, yang merupakan hasil pengembangan dari *airship HAV-304 LEMV (Long Endurance Multi-Intelligence Vehicle)*. *Airship* ini dikembangkan oleh tim HAV/Northrop Grumman dan diperkenalkan kepada Angkatan Darat Amerika Serikat pada tahun 2011 (Lobner, 2022).

Terdapat tiga jenis *airships* jika dilihat dari struktural nya, yaitu *non-rigid*, *semi-rigid*, dan *rigid* (Bruyneel et al., 2019). *Non-rigid* menggunakan tekanan dari *lifting gas* untuk mempertahankan bentuk *envelopnya*. *Semi-rigid* masih mirip dengan *non-rigid* namun dengan tambahan konstruksi penguat pada bagian *keel*. Sedangkan tipe *rigid* menggunakan rangka untuk mempertahankan bentuk *envelope*-nya dan menggunakan *gas cell* untuk menampung *lifting gas* di dalam *envelope*.

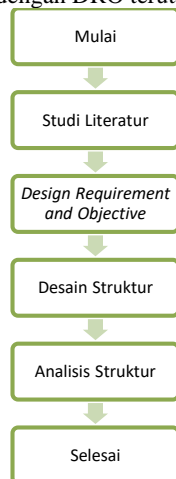
Dalam penelitian ini, desain struktur *hybrid airship* yang digunakan adalah tipe *semi-rigid*. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan keamanan yang lebih tinggi dibandingkan tipe *non-rigid*, namun lebih ringan dari tipe *rigid*. Bobot yang ringan akan berkontribusi pada efisiensi bahan bakar dan kapasitas angkutan yang

lebih besar. Dalam situasi di mana lahan terbatas, desain *hybrid airship* memberikan solusi praktis, ekonomis, dan aman untuk masalah transportasi massal.

#### METODE PENELITIAN

Dalam proses penelitian ini, dilakukan *literature review* guna mengumpulkan informasi serta analisis pengolahan data secara numerik. *Literature review* dilakukan untuk pengumpulan data untuk pembuatan konsep desain dari *airships*, seperti referensi bentuk dan ukuran *airships*. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan pembuatan konsep desain dengan menentukan *design requirement and objective* (DRO). Dari DRO tersebut akan dihasilkan spesifikasi awal seperti ukuran, kecepatan, ketinggian terbang, jarak tempuh, durasi terbang dan *payload* sebagai bahan data untuk perhitungan numerik.

Selanjutnya, hasil dari perhitungan numerik digunakan sebagai acuan dalam pembuatan desain awal dan pembebanan untuk dilakukan pemodelan. Setelah pembuatan model, dilanjutkan dengan analisis kekuatan struktur dengan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). Hasil analisis kekuatan struktur menentukan kesesuaian spesifikasi dari model dengan DRO terutama keamanan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian (Olahan Peneliti, 2023)

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil *literature review* dan diskusi yang dilakukan untuk pengumpulan data maka, ditentukan konsep desain yang disesuaikan dengan wilayah *airship* akan beroperasi seperti berikut:

##### Konsep Desain

Dalam pembuatan konsep desain, ditentukan terlebih dahulu *design requirement and objective* (DRO) untuk menentukan spesifikasi dan misi dari *airship*. DRO didorong oleh kebutuhan untuk mencapai tujuan ilmiah dalam menciptakan moda transportasi udara untuk mengurangi kemacetan. DRO dari *airship* ini dibuat dengan beberapa pertimbangan, antara lain: beban *payload*, ukuran utama untuk operasi di Jabodetabek, ketinggian dinas agar tidak

mengganggu lalu lintas pesawat umum, terbatasnya lahan untuk *runway*, struktur yang kuat, serta sisi ekonomis. Dari DRO akan dihasilkan spesifikasi awal seperti ukuran, kecepatan, ketinggian terbang, jarak tempuh, durasi terbang dan *payload* seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi *Airship* (Olahan Peneliti, 2023)

Properti	Nilai
Tinggi	13 m
Lebar	18 m
Panjang	46 m
Ketinggian	Max 2000 ft
Kecepatan	Max 130 km/jam
<i>Payload</i>	5700 kg
Berat total	9763.6 kg

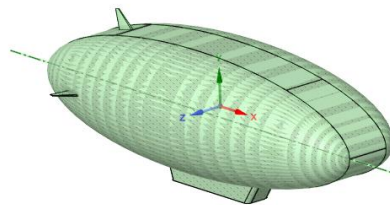
Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan numerik untuk pembuatan desain awal dan pembebanan setelahnya dilakukan pemodelan. *Payload* ditentukan dari jumlah penumpang maksimal yaitu 40 orang dengan berat rata-rata 70 kg. *Lifting gas* yang akan dipakai menggunakan hidrogen dan untuk rangka menggunakan tipe *semi-rigid* dengan bahan komposit.

#### Pemodelan

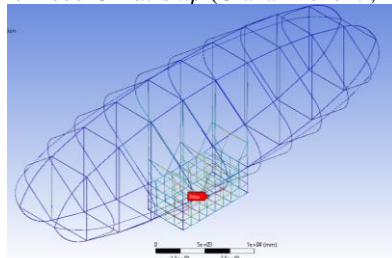
Pada tahap ini dilakukan pembuatan 3D model berdasarkan spesifikasi yang sebelumnya telah dibuat dengan menggunakan aplikasi CAD untuk selanjutnya akan dianalisa menggunakan *Ansys Student Version*.

Commented [CY1]: Bahasa inggris ditulis miring

Commented [MT2R1]: noted



**Gambar 2.** Model 3D *airship* (Olahan Peneliti, 2023)



**Gambar 3.** Model rangka *airship* (Olahan Peneliti, 2023)

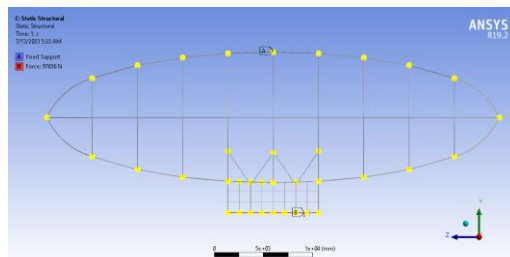
### Analisis struktural

Untuk mengetahui kekuatan struktur dari rangka *airship* maka dilakukan simulasi menggunakan metode *finite element analysis*. Simulasi dilakukan terhadap model *airship* yang telah dibuat menggunakan *Ansys Student Version*. Sebelum memulai analisis dilakukan beberapa pengaturan agar simulasi dapat berjalan sesuai dengan kondisi muatan penuh *airship* dan mendapat hasil yang akurat.

**Tabel 2.** Pengaturan Simulasi (Olahan Peneliti, 2023)

<b>Mesh Setting</b>	
<i>Element Size</i>	35mm
<i>Shape</i>	Tetrahedron
<i>Body Sizing</i>	35mm
<i>Skewness</i>	0,32053
<i>Orthogonal Quality</i>	0.678(ave), 0.9965(max)
<i>Elements</i>	605985
<i>Node</i>	1289183
<b>Simulation Setting</b>	
<i>Material Assignment</i>	Epoxy Carbon UD 230 Gpa
<i>Tensile Strength Material</i>	2231 Mpa
<i>Fixed Support</i>	All Top Horizontal Bar
<i>Force</i>	97636 N

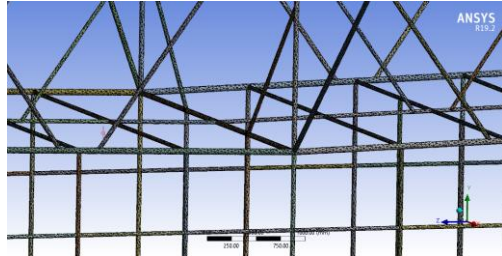
Rangka *airship* diasumsikan menggunakan material Epoxy Carbon UD 230 Gpa yang ringan dan kuat dengan *Structure Profile* yang digunakan adalah *Solid Rod* 50 mm dan 40 mm. Analisis dilakukan dengan pembebanan sebesar 97636 N (kondisi muatan penuh) dengan *fixed support* diasumsikan terletak pada batang horizontal melintang yang terletak di sepanjang *airship*. Penentuan kondisi batas ini didasarkan bahwa pada saat *airship* terbang, gaya angkat akibat tekanan gas didalam balon mengangkat bagian atas struktur.



**Gambar 4.** *Free Body Diagram* (Olahan Peneliti, 2023)

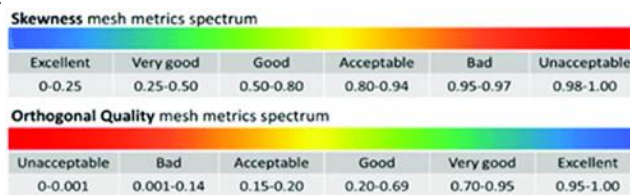
Commented [CY3]: Bahasa inggris ditulis miring

Commented [MT4R3]: noted



**Gambar 5.** Meshing (Olahan Peneliti, 2023)

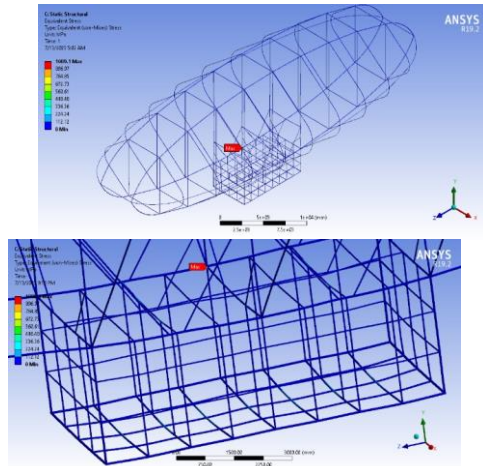
Seperti dijelaskan pada Tabel 2, *meshing* pada ukuran ini termasuk dalam *mesh* medium. Menggunakan *mesh* yang lebih halus (*fine*) dalam proses simulasi tidak dapat diproses karena jumlah elemen yang menjadi sangat besar. Jika menggunakan *element size* yang lebih besar (*coarse*), kalkulasi tidak akan akurat karena hasil *mesh* yang buruk. Pada kasus ini, *meshing* akan lebih bagus ketika menggunakan *mesh* tetrahedron karena geometri pipa yang rumit pada daerah sambungan. Tipe *mesh* hexahedral tak mampu menangani *mesh* dengan geometri serumit ini.



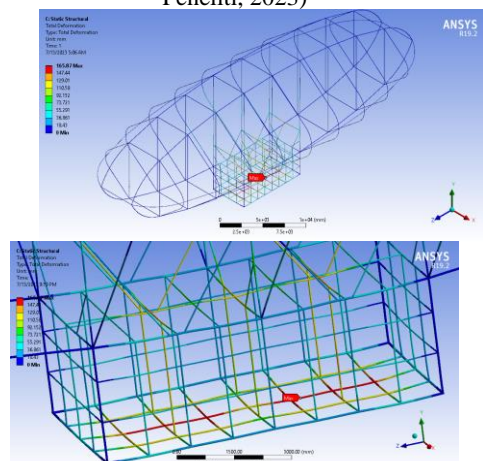
**Gambar 6.** Skewness Mesh Metrics Spectrum (Elmekawy, 2015)

Dengan melihat Gambar 5, *skewness* yang didapat ada pada kategori yang sangat bagus. Semakin bagus nilai *skewness* hasil kalkulasi akan semakin akurat. Mesh tidak diijinkan apabila nilai *skewness* diatas 0.94. Begitu juga dengan kualitas orthogonal ada pada kategori yang bagus. *Orthogonal quality* mengukur sejauh mana elemen *mesh* menyerupai struktur geometri asli secara orthogonal atau tegak lurus. Semakin tinggi orthogonal quality, semakin baik elemen mesh menyerupai geometri yang sebenarnya.

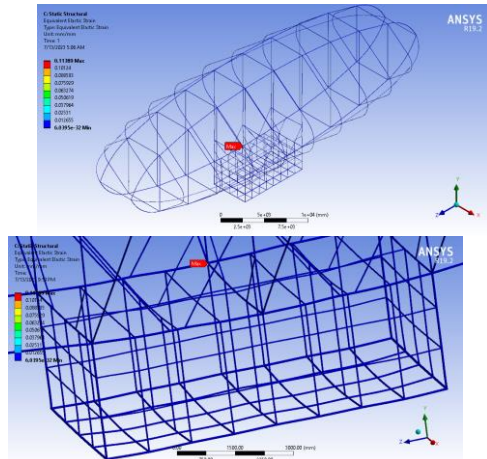
Elemen *mesh* yang memiliki *orthogonal quality* yang baik cenderung menghasilkan hasil simulasi yang lebih akurat dan stabil. Setelah dilakukan pengaturan maka analisis dapat dijalankan. Analisis yang dijalankan terdapat 3 tipe yaitu *Max Equivalent Stress*, *Max Total Deformation*, dan *Max Equivalent Strain*.



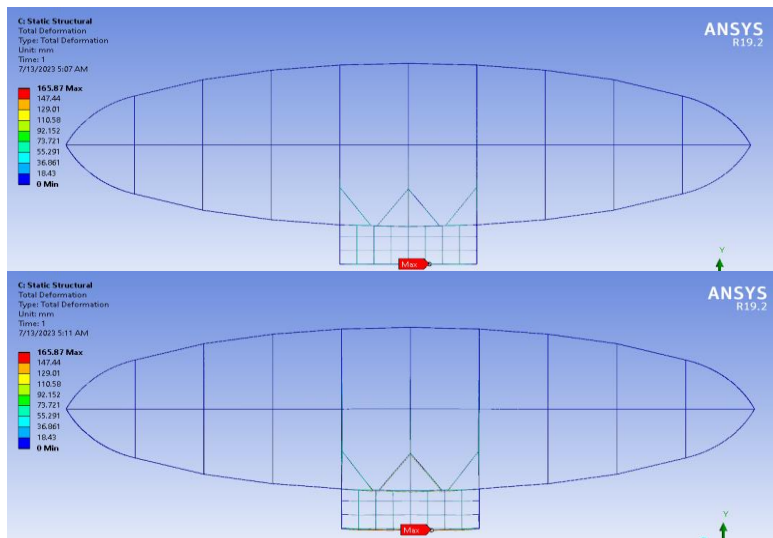
**Gambar 7.** *Max Equivalent Stress (Von Misses) dan Lokasinya (Olahan Peneliti, 2023)*



**Gambar 8.** *Total Deformation dan Lokasinya (Olahan Peneliti, 2023)*



Gambar 9. *Max Equivalent Strain (Von Mises)* dan Lokasinya (Olahan Peneliti, 2023)



Gambar 10. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Deformasi (Olahan Peneliti, 2023)

Dari hasil *Finite Element Analysis*, didapatkan *Max Equivalent Stress* sebesar 1009.1 Mpa dengan titik maksimum stress terjadi pada sambungan struktur pilar bagian tengah dengan struktur rangka kabin. *Max Deformation* yang didapat sebesar 165.87 mm, dengan deformasi maksimal terjadi pada floor bagian tengah dikarenakan struktur bagian samping memiliki kerapatan rangka lebih tinggi dan

kabin bagian tengah memiliki kerapatan rangka yang rendah untuk memaksimalkan ruang payload. Sementara *Max Equivalent Strain* yang didapat sebesar 0.11389. Dari hasil analisis tersebut dapat dihitung *Factor of Safety* (FOS) dan didapatkan sebesar 2.21. Dari segi keamanan nilai FOS sudah melebihi nilai minimal ketentuas FOS untuk *airship* sebesar 1.5 (Federal Aviation Administration, 1995).

**Tabel 3.** Rekapitulasi Hasil *Finite Element Analysis* (Olahan Peneliti, 2023)

Hasil	
<i>Structural Weight</i>	3731.99 kg
<i>Max Equivalent Stress</i>	1009.1 Mpa
<i>Max Deformation</i>	165.87 mm
<i>Max Equivalent Strain</i>	0,11389
<i>Safety Factor (Tensile Strength/Equivalent Stress)</i>	2,21

Dengan demikian hasil dari analisis struktur dari konsep *airship* untuk transportasi massal di Jabodetabek sudah memenuhi sisi kekuatan struktur dan keamanannya.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Kemacetan di wilyah Jabodetabek dapat diatasi dengan menggunakan transportasi massal melalui udara. Dengan *airship* yang diciptakan dapat membantu mobilitas penduduk Jabodetabek terutama saat jam produktif. Perancangan rangka *airship* menggunakan *carbon fiber* untuk mendapatkan kekuatan dan bobot yang ringan mendapatkan tingkat deformasi rendah saat mendapat beban maksimal *airship* yaitu 97636 N.

1. Proses perancangan rangka menggunakan perhitungan yang masih sederhana dengan *Structure Profile* yang digunakan adalah *Solid Rod* 50 mm dan 40 mm dan berat total rangka 3731.99 kg. Hasil *finite element analysis* menunjukkan deformasi total struktur yang terjadi nilainya relatif kecil yaitu 165.87 mm. Dari aspek safety factor, nilai FOS didapat 2.21, sudah melebihi nilai minimal dari ketentuan FOS struktur pesawat yaitu 1.5. Hasil dari analisis struktur dari konsep *airship* untuk transportasi massal di Jabodetabek sudah memenuhi sisi kekuatan struktur dan keamanannya.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti memberikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penulisan ini, terutama:

1. Sovian Aritonang selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan saran selama penelitian.
2. Putro Nugroho selaku rekan dalam penulisan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistika. (2021). *Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta 2019-2021*. <https://jakarta.bps.go.id/indicator/17/786/1/jumlah-kendaraan-bermotor->

menurut-jenis-kendaraan-unit-di-provinsi-dki-jakarta.html.

- Badan Pusat Statistika. (2021). *Jumlah Penduduk Provinsi DKI Jakarta Menurut Kelompok Umur dan Jenis Kelamin 2019-2021*. <https://jakarta.bps.go.id/indicator/12/111/1/jumlah-penduduk-provinsi-dki-jakarta-menurut-kelompok-umur-dan-jenis-kelamin.html>.
- Bruyneel, M., Banse, O., Fitschy, L., Gohy, S., Buret, J., & Hendrick, P. (2019). *Design and sizing of an airship supported by CAE. M.*, 1–12.
- Elmekawy, A. N. (2015). Module 3: Global Mesh Controls Introduction to ANSYS Meshing. *Ansys*, 35.
- Federal Aviation Administration. (1995). *Airship Design Criteria* (FAA-P-8110). U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA).
- Liao, L., & Pasternak, I. (2009). A review of airship structural research and development. *Progress in Aerospace Sciences*, 45(4–5), 83–96. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2009.03.001>
- Lobner, P. (2022). *Hybrid Air Vehicles ( HAV ) - Airlander 10 & 50. January 2020*, 1–19.
- Madmud, I. (2015). *Modern Airship Design Using CAD and Historical Case Studies*. May. <https://www.sjsu.edu/ae/docs/project-thesis/Istiaq.Mahmud-S15.pdf>
- Sitanggang, R., & Saribanon, E. (2018). Faktor-Faktor Penyebab Kemacetan. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi Dan Logistik (JMBTL)*, 4(3), 289–296.
- Stockbridge, C., Ceruti, A., & Marzocca, P. (2012). Airship research and development in the areas of design, structures, dynamics and energy systems. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 13(2), 170–187. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2012.13.2.170>