

PERANCANGAN ANHANG UNTUK TRANSPORTASI BAHAN BAKAR HIDROGEN DALAM *GREEN HUB HYDROGEN PLANT*

*Muhammad Hashfi Hawali Subagyo¹, Susilo Adi Widyanto², Mochammad Ariyanto²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: m.hashfi18@gmail.com

Abstrak

Transisi energi menuju sumber energi bersih mendorong pengembangan hidrogen sebagai bahan bakar ramah lingkungan. Penelitian ini berfokus pada perancangan anhang (*trailer*) untuk transportasi tabung hidrogen bertekanan pada *green hub hydrogen plant*. Perancangan dilakukan melalui analisis kebutuhan kapasitas, perhitungan kekuatan struktur rangka, dan pemilihan material menggunakan pendekatan *material selection* agar mendapatkan kombinasi kekuatan, ketahanan, dan efisiensi biaya yang optimal. Model 3D dibuat menggunakan Solidworks, mempertimbangkan aspek kekuatan, stabilitas, dan efisiensi material. Hasil perancangan menunjukkan bahwa anhang mampu mengangkut tabung hidrogen dengan total beban 345,36 kg menggunakan rangka berbahan *mild carbon steel* dengan penampang *hollow*. Sistem suspensi *leaf spring* empat lapis dengan *shock absorber* mampu meredam getaran dan menjaga stabilitas transportasi. Evaluasi struktur menunjukkan desain memenuhi standar keselamatan ISO 9809 dan ASME, sehingga aman dan efisien untuk mendukung distribusi hidrogen.

Kata kunci: anhang; *green hub hydrogen plant*; perancangan teknik; transportasi hidrogen

Abstract

The global energy transition toward clean energy sources drives the development of hydrogen as an environmentally friendly fuel. This study focuses on the design of an anhang (trailer) for transporting high-pressure hydrogen cylinders within the green hub hydrogen plant. The design process involved capacity requirement analysis, structural strength calculations of the frame, and material selection using the material selection approach to achieve an optimal balance of strength, durability, and cost efficiency. A 3D model was developed using SolidWorks, taking into account aspects of strength, stability, and material efficiency. The design results indicate that the trailer can safely transport hydrogen cylinders with a total load of 345.36 kg, utilizing a frame made of mild carbon steel with a hollow section profile. The four-layer leaf spring suspension system, combined with shock absorbers, effectively reduces vibrations and maintains stability during transportation. Structural evaluations confirm that the design complies with ISO 9809 and ASME safety standards, ensuring a safe and efficient solution to support hydrogen distribution.

Keywords: *green hub hydrogen plant; hydrogen transportation; mechanical design; trailer*

1. Pendahuluan

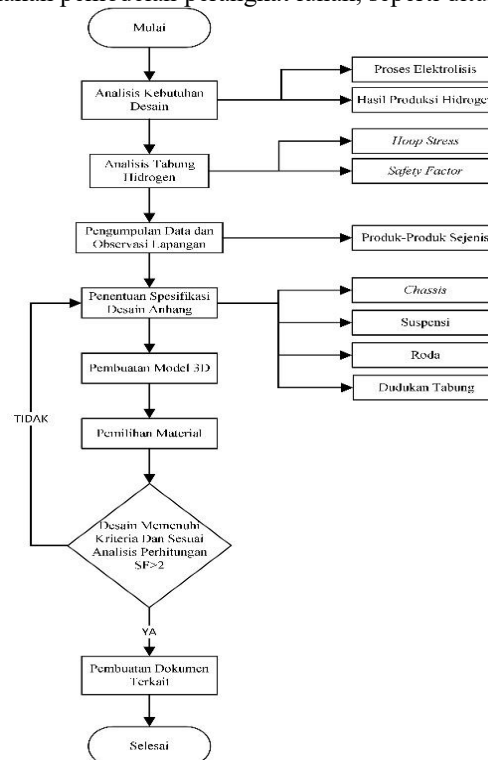
Kemajuan teknologi transportasi telah meningkatkan kualitas hidup manusia, namun emisi CO₂ dari kendaraan dan industri mempercepat kerusakan ozon serta pemanasan global [1]. Krisis energi dan perubahan iklim menuntut solusi transportasi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Peningkatan jumlah kendaraan berbahan bakar fosil turut mendorong lonjakan emisi gas rumah kaca, sehingga memacu pengembangan kendaraan listrik dan teknologi energi alternatif seperti hidrogen [2].

Hidrogen kini dipandang sebagai sumber energi bersih dan efisien yang berpotensi mendukung transisi menuju sistem energi rendah karbon [3]. Kesadaran global akan pengurangan emisi semakin meningkatkan pemanfaatannya, terutama karena penggunaannya tidak menghasilkan emisi karbon [4]. *Green hydrogen* diproduksi melalui elektrolisis air berbasis energi terbarukan seperti surya, angin, atau hidro, sehingga bebas dari emisi gas rumah kaca [5]. Semenara itu, *green hub hydrogen plant* mengacu pada sistem terintegrasi yang mencakup seluruh rantai pasokan hidrogen hijau dari tahap produksi, penyimpanan dalam media bertekanan tinggi, hingga distribusi ke berbagai sektor pengguna akhir [6]. Proses elektrolisis ini memisahkan molekul air (H₂O) menjadi hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂) menggunakan arus listrik [7]. Distribusi hidrogen yang efisien membutuhkan infrastruktur memadai dengan tabung bertekanan sebagai metode paling fleksibel dan praktis untuk jarak pendek atau kondisi darurat karena mudah dipasang, dipindahkan, serta tidak memerlukan sistem penyimpanan yang kompleks [8].

Anhang adalah kendaraan tambahan yang dirancang untuk mengangkut beban dengan ditarik oleh kendaraan utama [9]. Anhang berfungsi menyimpan dan mengangkut gas hidrogen bertekanan tinggi ke *hydrogen refueling station*, sekaligus menghubungkan kendaraan penarik dengan trailer sambil menahan beban statis maupun dinamis selama transportasi [10].

2. Bahan dan Metode Penelitian

Secara umum, penelitian ini memanfaatkan data dari observasi lapangan dan studi literatur yang kemudian dianalisis sebagai dasar perancangan menggunakan pemodelan perangkat lunak, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir pada Gambar di atas, metodologi perancangan anhang sebagai media transportasi bahan bakar hidrogen pada sistem *green hub hydrogen plant* dilakukan melalui tujuh tahapan. Pertama, analisis kebutuhan desain dari proses elektrolisis dan hasil produksi hidrogen. Kedua, kajian tabung hidrogen untuk menentukan parameter teknis utama seperti *hoop stress* dan *safety factor*. Ketiga, pengumpulan informasi dan observasi mempelajari produk serupa sebagai bahan pembandingan. Keempat, penetapan spesifikasi teknis desain anhang meliputi perancangan komponen anhang. Kelima, pembuatan model 3D menggunakan perangkat lunak Solidworks 2023 sebagai visualisasi keseluruhan rancangan. Keenam, pemilihan material. Ketujuh, pengujian desain melalui analisis perhitungan untuk memastikan kesesuaian desain terhadap standar serta *factor of safety* ≥ 2 . Apabila hasil uji memenuhi kriteria, proses dilanjutkan dengan penyusunan dokumen teknis seperti *engineering drawing* dan dokumen pendukung lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Kebutuhan Desain

Terdapat dua aspek utama dalam perancangan anhang. Pertama, aspek penentuan tabung hidrogen meliputi analisis kapasitas, dimensi, dan spesifikasi teknis tabung berdasarkan hasil produksi hidrogen pada *green hub hydrogen plant* serta material tabung yang sesuai dengan standar keamanan internasional seperti ISO 9809 dan ASME. Kedua, aspek perhitungan kekuatan komponen yang mencakup pemilihan material yang tahan terhadap fatigue karena adanya pembebanan, perhitungan kekuatan rangka, dudukan tabung, penempatan as roda, suspense, dan roda untuk memastikan distribusi beban yang merata dan ketahanan terhadap getaran serta guncangan di jalan.

3.2 Hasil Analisis Kekuatan Tabung

Analisis kekuatan tabung untuk memastikan bahwa tabung hidrogen mampu menahan tekanan internal selama pengoprasian tanpa mengalami deformasi plastis atau kegagalan struktur.

A. Hoop Stress

Tegangan *hoop* adalah tegangan maksimum pada dinding tabung akibat tekanan internal.

$$\sigma_h = \frac{P \times r}{t}$$

$$\sigma_h = \frac{20 \text{ MPa} \times 0,1043 \text{ m}}{0,0057 \text{ m}} = \frac{2,086}{0,0057} = 365,96 \text{ MPa}$$

B. Safety Factor

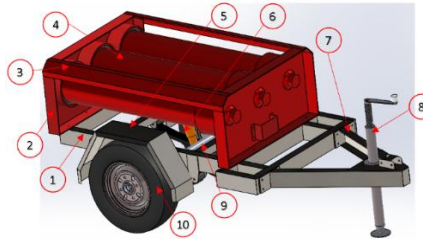
Faktor keamanan tabung untuk memastikan bahwa material tabung tidak mengalami kegagalan saat bekerja dalam tekanan operasional.

$$SF = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_h}$$

$$SF = \frac{785 \text{ MPa}}{356,96 \text{ MPa}} = 2,14$$

3.3 Model 3D Anhang

Setelah mendapatkan semua informasi yang diperlukan, dapat dibuat model tiga dimensi dari rancangan anhang secara keseluruhan dengan menggunakan *software* Solidworks 2023. Hasil pemodelan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Full-Assembly Anhang (Solidworks 2023)

Keterangan:

- | | |
|------------------------------|---------------|
| 1) Chassis | 6) Suspension |
| 2) Cylinder Mounting Bracket | 7) Drawbar |
| 3) Cover Tabung Hidrogen | 8) Jack Stand |
| 4) Tabung Hidrogen | 9) Axle Shaft |
| 5) Fender/Spakbor | 10) Wheel |

Adapun perhitungan terkait konsep desain terkait pembebanan dari tiap komponen terdiri dari dudukan tabung, *chassis*, penempatan as roda, suspensi, dan roda sebagai berikut.

A. Dudukan Tabung

Komponen ini dirancang untuk menahan beban statis akibat berat tabung beserta isinya. Berikut tegangan kontak yang terjadi pada silinder dudukan tabung.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{L \times w}$$

$$\sigma_{silinder} = \frac{24,878 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{0,16 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}} = \frac{244,053 \text{ N}}{0,0128 \text{ m}^2} = 19066,65 \text{ Pa}$$

B. Chassis

Perhitungan tegangan lentur maksimum untuk mengetahui material *chassis* mampu menahan momen lentur maksimal akibat pembebanan.

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} = \frac{\left(\frac{w \times L^2}{8}\right) \times y}{I}$$

$$I = \frac{(bh^3) - (b_i h_i^3)}{12} = \frac{(100 \times 50^3) - (90 \times 40^3)}{12} = 561.666,7 \text{ mm}^4$$

$$M = \frac{w \times L^2}{8} = \frac{1,5307 \text{ N/mm} \times 1580^2 \text{ mm}}{8} = 477.654,935 \text{ N/mm}$$

$$\sigma = \frac{477.654,935 \text{ N/mm} \times 50 \text{ mm}}{561666,7 \text{ N/mm}^4} = 42,521 \text{ MPa}$$

Sehingga mendapatkan faktor keamanan sebagai berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}}$$

$$SF = \frac{250 \text{ MPa}}{42,521 \text{ MPa}} = 5,87$$

C. Penempatan As Roda

Penempatan as roda bertujuan untuk mendapatkan distribusi beban yang seimbang antara *drawbar* dan roda, sehingga trailer stabil dan aman saat ditarik.

$$W_{total} \times L = W_{roda} \times x$$

$$x = \frac{3387,98 \text{ N} \times 1,58 \text{ m}}{2879,783 \text{ N}} = \frac{5353,0084 \text{ N.m}}{2879,783 \text{ N}} = 1,858 \text{ m}$$

D. Suspensi

Sistem suspensi untuk meredam getaran akibat beban maupun kondisi jalan saat transportasi terdiri atas kombinasi antara *leaf spring* (pegas daun) dan *shock absorber* (peredam kejut hidrolik).

$$F_{total} = F_{leaf} + F_{shock} = k_l(z_b - z_a) + c(\dot{z}_b - \dot{z}_a)$$

$$F_{leaf} = 150.000 N/m \times 0,04 m = 6000 N$$

$$F_{shock} = 800 Ns/m \times 0,3 m/s = 240 N$$

$$F_{total} = 6000 N + 240 N = 6240 N$$

$$F_{total \text{ dua sisi}} = 2 \times 6240 N = 12.480 N$$

E. Roda

Roda sebagai tumpuan beban dan mobilitas keseluruhan sistem. Sehingga dalam pemilihan roda harus mempertimbangkan kapasitas daya dukung terhadap beban anhang secara keseluruhan. Roda yang digunakan adalah GT Radial Maxmiler Pro.

$$W_{roda} = \frac{W_{total}}{\text{Jumlah Roda}}$$

$$W_{roda} = \frac{435,36 \text{ kg}}{2} = 172,68 \text{ kg}$$

Untuk Menjamin keamanan, ditambahkan faktor kaman sebesar 1,5 sehingga diperoleh beban desain roda sebagai berikut.

$$W_{desain} = SF \times W_{roda} = 1,5 \times 172,68 \text{ kg} = 259,02 \text{ kg}$$

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian perancangan anhang untuk transportasi bahan bakar hidrogen pada *green hub hydrogen plant* adalah sebagai berikut:

- Proses perancangan dilakukan melalui enam tahapan utama: analisis kebutuhan desain, kajian tabung hidrogen untuk menentukan parameter teknis, pengumpulan informasi dan observasi lapangan, penentuan spesifikasi teknis desain, pembuatan model 3D menggunakan Solidworks, serta pemilihan material berdasarkan kekuatan, massa jenis, ketahanan korosi, dan kemudahan manufaktur.
- Optimasi desain mempertimbangkan dua aspek utama: analisis kekuatan komponen (dudukan tabung, chassis, as roda, suspensi, dan roda) untuk memastikan keamanan dan stabilitas, serta penyesuaian kapasitas tabung dengan hasil produksi hidrogen agar volume penyimpanan optimal.
- Ketebalan dinding tabung disesuaikan dengan standar ISO 9809, memastikan nilai hoop stress dan safety factor berada di atas batas minimal (1,5–2) demi menjamin keamanan operasional.

5. Daftar Pustaka

- [1] C. Saleh, R. Setiawan, and B. R. Parada D.P, "Pemanfaatan Energi Matahari sebagai Sumber Energi Alternatif pada Proses Produksi Hidrogen Pada Hidrofill," *J. Bumigora Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 99–104, Sep. 2020.
- [2] S. Mahendra, F. Fatra, and M. Tamamudin, "Analisis Performa pada Sepeda Motor Listrik Menggunakan Motor BLDC 500 W," *Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 3, pp. 339–352, 2024.
- [3] E. Cordioli, J. de Maigret, M. Testi, and L. Crema, "Green hydrogen in the Alps: Mapping local stakeholders perspectives and identifying opportunities for decarbonization," *Energy Reports*, vol. 14, no. June, pp. 128–140, 2025.
- [4] M. S. Hasan and W. Widayat, "Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, 2022.
- [5] X. Pan, H. Zhou, D. Baimbetov, S. Syrlybekkyzy, B. B. Akhmetov, and Q. Abbas, "Development Status and Future Prospects of Hydrogen Energy Technology: Production, Storage, and Cost Analysis," *Adv. Energy Sustain. Res.*, vol. 2400451, 2025.
- [6] K. Adekola, S. Ghafoori, F. Dechamp, and A. Prada, "Electricity supply configurations for green hydrogen hubs: A European case study on decarbonizing urban transport," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 85, no. August, pp. 539–559, 2024.
- [7] Y. Wahyono, H. Sutanto, and E. Hidayanto, "Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH," *Youngster Phys. J.*, vol. 6, no. 4, pp. 353–359, 2017.
- [8] W. Zheng, T. Li, Q. Jing, S. Qi, and Y. Li, "Real-time quantitative risk analysis and routing optimization of gaseous hydrogen tube trailer transport: A Bayesian network and Dijkstra algorithm combining approach," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 192, no. October, pp. 1205–1220, 2024.
- [9] Z. Naukowe, P. Ślaskiej, and S. Transport, "Analysis Of The Construction Of The Car Trailer Frame In Terms Of Changing The Assembly Technology," vol. 124, pp. 47–61, 2023.
- [10] S. Kang *et al.*, "Transient structural analysis of a skid mounted on a hydrogen tube trailer under shock and vibration induced by road irregularities," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 9, 2021.