

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar masih mendominasi kebutuhan energi dunia, khususnya dalam sektor transportasi dan pembangkit listrik. Ketergantungan besar terhadap bahan bakar fosil ini telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan percepatan perubahan iklim. Berdasarkan laporan terbaru dari *International Energy Agency* (IEA, 2023), konsumsi bahan bakar fosil global pada tahun 2022 mencapai sekitar 7,8 miliar ton setara minyak (*Mtoe*), dengan sektor transportasi menyumbang lebih dari 50% konsumsi bensin. Di sisi lain, laporan dari *BP Statistical Review of World Energy* (2023) mencatat bahwa rata-rata penggunaan bensin di Indonesia mencapai 1,2 juta barel per hari, sementara penggunaan solar berada pada angka 0,8 juta barel per hari. Selain itu, cadangan bahan bakar fosil semakin menipis dengan proyeksi minyak bumi akan habis dalam 50 tahun dan gas alam dalam 53 tahun. Hal ini mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, seperti gas hidrogen.

Hidrogen memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif yang efisien dan ramah lingkungan. Dengan nilai kalor mencapai 120 MJ/kg, hidrogen jauh melampaui bensin (44 MJ/kg) dan solar (42 MJ/kg) (U.S. Departement of Energy, 2023; IRENA, 2023). Selain itu, pembakaran hidrogen hanya menghasilkan uap air, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil yang menghasilkan karbon dioksida dan polutan lainnya (International Renewable Energy Agency, 2023). Hidrogen dapat diproduksi melalui proses elektrolisis air menggunakan arus listrik untuk memisahkan hidrogen dari oksigen (U.S. Departement of Energy, 2023). Meskipun potensial, stabilitas dan efisiensi produksi hidrogen dari proses elektrolisis masih menjadi tantangan utama yang perlu diatasi untuk memastikan teknologi ini dapat diterapkan secara luas (International Renewable Energy Agency, 2023).

Penelitian terkait pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan telah banyak dilakukan, terutama pada sistem pembakaran internal seperti kendaraan bermotor. Berbagai studi menunjukkan bahwa penggunaan sistem *hybrid* dengan mengkombinasikan antara bahan bakar fosil dengan gas HHO dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan konsumsi bahan bakar utama. Aplikasi praktis penggunaan hidrogen pada genset berbahan bakar bensin hingga saat ini belum banyak mendapat perhatian dalam dunia penelitian, meskipun kajian mengenai pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan telah

berkembang pesat di sektor kendaraan bermotor dan sistem pembakaran internal lainnya. Hal ini menunjukkan adanya celah riset yang penting untuk dieksplorasi lebih lanjut, khususnya dalam konteks pemanfaatan energi alternatif pada sistem pembangkit listrik skala kecil seperti genset.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan (*co-fuel*) untuk menghemat konsumsi bensin pada genset. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis apakah penambahan hidrogen dapat memperpanjang durasi operasional genset dengan volume bensin yang sama, serta bagaimana dampaknya terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan. Selain itu, penelitian ini juga akan meninjau pengaruh besar arus listrik yang digunakan untuk memproduksi hidrogen terhadap performa genset, termasuk stabilitas kinerja sistem dan konsumsi bahan bakar. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan solusi yang lebih stabil dan efisien untuk pemanfaatan gas hidrogen sebagai bahan bakar pada genset. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mengurangi emisi karbon, menekan ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan mendukung transisi menuju sistem energi yang berkelanjutan.

1.2 Informasi Pendukung Masalah

1.2.1 Keterbatasan Energi Fosil dan Dampak Lingkungan

Sektor energi global bertanggung jawab atas lebih dari 70% emisi gas rumah kaca dengan pembakaran bahan bakar fosil sebagai penyumbang utama (IEA, 2021). Penggunaan BBM pada kendaraan dan genset menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel berbahaya lainnya yang berkontribusi pada perubahan iklim dan polusi udara.

Sumber energi fosil seperti minyak bumi dan gas alam semakin menipis. Diperkirakan cadangan minyak dunia akan terus menurun dengan harga yang berpotensi meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade mendatang (BP Statistical Review of World Energy, 2021).

1.2.2 Nilai Kalor Hidrogen yang Tinggi

Hidrogen memiliki nilai kalor yang sangat tinggi sekitar 120 MJ/kg yang jauh lebih besar dibandingkan dengan bensin (44 MJ/kg) dan solar (43 MJ/kg). hal ini menunjukkan potensi besar hidrogen sebagai bahan bakar yang lebih efisien dan ramah lingkungan (DOE Hydrogen Program, 2020).

1.2.3 Teknologi Produksi Hidrogen yang Semakin Berkembang

Teknologi produksi hidrogen terus mengalami perkembangan seiring meningkatnya kebutuhan energi ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang umum adalah dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara luas menghasilkan gas hidrogen secara efisien dan berkelanjutan. Namun, tantangan teknis seperti peningkatan efisiensi dan stabilitas produksi masih memerlukan inovasi lebih lanjut untuk optimalisasi teknologi (IEA, 2021).

1.2.4 Potensi Penggunaan Hidrogen dalam Sistem *Hybrid*

Saat ini, hidrogen telah diujicobakan sebagai bahan bakar pada sistem pembakaran *hybrid* (hidrogen dan BBM), terutama untuk mengurangi konsumsi BBM tanpa mengorbankan kinerja mesin. Penggunaan hidrogen dapat menggantikan sebagian bahan bakar minyak yang berdampak pada penurunan emisi gas buang sekaligus meningkatkan efisiensi bahan bakar pada kendaraan atau genset (Hydrogen Council, 2021).

1.2.5 Permasalahan yang Dihadapi dalam Aplikasi Hidrogen pada Genset

Dalam praktiknya, penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan pada genset menghadapi sejumlah tantangan teknis yang dapat memengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Salah satu kendala utama adalah ketidakstabilan pasokan gas HHO ke ruang pembakaran akibat faktor mekanis pada sistem distribusi. Misalnya, apabila selang penyalur gas mengalami kebocoran, terlipat, atau bengkok, maka aliran hidrogen menuju genset dapat terhambat. Hal ini menyebabkan suplai HHO tidak konsisten, yang berdampak langsung pada pembakaran dan konsumsi bahan bakar bensin.

1.2.6 Efisiensi Sistem *Hybrid* dengan Hidrogen

Penggunaan hidrogen dalam genset berbahan bakar solar dan bensin menunjukkan perbedaan efisiensi. Hidrogen dapat membantu mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan meningkatkan efisiensi sistem. Namun, efisiensi ini bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dengan kemungkinan genset solar memberikan hasil yang lebih efisien dibandingkan genset bensin ketika dikombinasikan dengan hidrogen (DOE, 2022).

1.3 Analisis Umum

1.3.1 Aspek Ekonomi

Dari sudut pandang ekonomi, pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan pada genset dapat memberikan efisiensi operasional yang berarti, terutama dalam hal penghematan konsumsi bahan bakar. Dengan menambahkan hidrogen hasil elektrolisis ke dalam sistem

pembakaran genset berbahan bakar bensin atau solar, durasi operasional genset dapat berlangsung lebih lama dengan volume bahan bakar yang sama. Artinya, frekuensi pengisian ulang bahan bakar dapat ditekan, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi biaya penggunaan energi dalam jangka panjang.

Selain itu, penggunaan hidrogen turut mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang harganya cenderung fluktuatif, sehingga membantu meningkatkan kestabilan biaya operasional energi, terutama pada sektor-sektor yang sangat bergantung pada genset sebagai sumber listrik utama. Dalam jangka panjang, pengembangan sistem berbasis hidrogen juga berpotensi mendukung transisi ke ekonomi energi yang lebih berkelanjutan dan mendorong efisiensi pemanfaatan sumber daya energi secara keseluruhan. Di sisi lain, peningkatan adopsi teknologi ini juga dapat membuka peluang ekonomi baru melalui penciptaan lapangan kerja di sektor energi terbarukan, khususnya dalam bidang produksi, instalasi, dan pemeliharaan sistem elektrolisis serta infrastruktur pendukung hidrogen.

1.3.2 Aspek Lingkungan

Dari aspek lingkungan, penggunaan gas HHO sebagai bahan bakar tambahan pada genset memberikan keuntungan dalam hal karakteristik emisinya. Gas HHO yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan dari proses elektrolisis air, di mana molekul air (H_2O) dipecah menjadi gas hidrogen dan oksigen menggunakan energi listrik. Hasil elektrolisis ini tidak mengandung unsur karbon, sehingga saat digunakan dalam pembakaran di ruang bakar genset, gas HHO tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2).

Meskipun genset berbahan bakar bensin atau solar tetap menghasilkan emisi karena sifat dasar bahan bakarnya, penambahan HHO tidak menambah total emisi karbon karena gas ini bersih dan hanya menghasilkan uap air setelah pembakaran. Artinya, meskipun sistem masih menghasilkan emisi dari bahan bakar fosil, keberadaan HHO tidak memperparah dampak lingkungan. Hal ini menjadikan HHO sebagai alternatif bahan bakar pendamping yang lebih ramah lingkungan dan sesuai dengan prinsip transisi menuju sistem energi yang lebih bersih.

1.3.3 Aspek Sosial

Aspek sosial dari penggunaan genset hidrogen mencakup peningkatan kesadaran masyarakat terhadap keberlanjutan dan inovasi energi. Namun, penting untuk melakukan penyuluhan kepada masyarakat mengenai manfaat dan keamanan hidrogen. Program edukasi yang efektif dapat meningkatkan pemahaman masyarakat dan dukungan terhadap inisiatif energi bersih, sehingga mempercepat adopsi teknologi ini.

1.3.4 Aspek Teknologi

Dari sudut pandang teknologi, genset hidrogen menawarkan fleksibilitas dalam aplikasi dan integrasi dengan sistem energi lainnya. Teknologi terbaru memungkinkan efisiensi tinggi dalam konversi energi hidrogen menjadi listrik, dengan desain yang lebih ringkas dan andal. Selain itu, genset hidrogen dapat dengan mudah diintegrasikan dengan sistem energi terbarukan, seperti solar dan angin, untuk menciptakan solusi energi hybrid yang lebih handal dan berkelanjutan.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, rumusan kebutuhan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan permasalahan ini dapat disusun dalam bentuk rencana sistem dan spesifikasi umum.

1.4.1 Pembuatan Mission Statement

Menyusun pernyataan tujuan utama proyek ini, yaitu merancang dan mengimplementasikan sistem yang memanfaatkan gas HHO hasil elektrolisis sebagai tambahan bahan bakar pada motor genset.

a) Produksi Hidrogen yang Efisien

Mengembangkan sistem elektrolisis air yang mampu menghasilkan gas HHO secara stabil dan efisien sebagai sumber bahan bakar tambahan untuk genset.

b) Peningkatan Efisiensi Bahan Bakar Pada Genset

Mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dengan memanfaatkan gas HHO sebagai bahan bakar tambahan tanpa menurunkan kinerja genset.

c) Keamanan Sistem yang Terjamin

Memastikan bahwa sistem penggunaan hidrogen aman untuk dioperasikan dan tidak menimbulkan risiko kebakaran atau ledakan.

1.4.2 Interpretasi Kebutuhan

Mengidentifikasi kebutuhan teknis dan non-teknis berdasarkan diskusi dengan dosen pembimbing, teknisi, dan pengguna potensial sistem *hybrid* menggunakan gas HHO. Kebutuhan tersebut meliputi:

a) Diperlukan produksi hidrogen yang optimal dengan biaya dan daya listrik yang efisien.

- b) Output hidrogen harus stabil agar tidak mengganggu proses pembakaran di motor.
- c) Sistem elektrolisis dan pencampuran gas HHO harus mudah diintegrasikan dengan sistem genset yang ada tanpa perlu modifikasi besar.
- d) Sistem harus dirancang agar mudah dirawat agar mudah dan tidak memerlukan biaya perawatan tinggi.
- e) Penting untuk memastikan gas HHO yang mudah terbakar ini tersalurkan dan digunakan secara aman.

1.4.3 Pengelompokan Kebutuhan

Mengelompokkan kebutuhan berdasarkan aspek-aspek utama, seperti:

- a) Sistem reaktor hidrogen.
- b) Distribusi pencampuran gas HHO ke genset.
- c) Pemantauan kinerja dan efisiensi waktu lama nyala genset.

1.4.4 Penyusunan Prioritas Kebutuhan

Prioritas kebutuhan disusun berdasarkan dampaknya terhadap keselamatan, efisiensi sistem, dan keberhasilan aplikasi hidrogen sebagai bahan bakar tambahan. Kriteria penentuan prioritas meliputi aspek keamanan, kestabilan operasi, kemudahan implementasi, pemeliharaan sistem, dan optimasi jangka panjang.

- a) **Keamanan Sistem**
 Proteksi tambahan seperti alat pemadam khusus untuk mencegah risiko kebakaran kebakaran dan ledakan.
- b) **Stabilitas Reaktor Hidrogen**
 Menjaga arus listrik stabil dalam reaktor agar produksi hidrogen konsisten. Mengatur aliran hidrogen agar tercampur dengan bahan bakar utama tanpa mengganggu pembakaran di genset.
- c) **Integrasi dengan Genset**
 Sistem dapat dengan mudah diinstalasi pada genset tanpa modifikasi besar. Perhatian khusus diberikan pada jalur distribusi gas, terutama pada penggunaan selang dari reaktor ke genset, untuk memastikan tidak terjadi kebocoran dan aliran gas tetap stabil selama operasi.
- d) **Kemudahan Pemeliharaan dan Daya Tahan**
 Menggunakan material tahan korosi untuk memperpanjang masa pakai. Desain sistem yang memungkinkan rutin secara mudah dan terjangkau.

e) Efisiensi dan Optimasi Jangka Panjang

Mengoptimalkan konsumsi bahan bakar dengan gas HHO, memantau kinerja sistem secara real-time, serta memperpanjang durasi operasional genset untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan.

1.5 Solusi Sistem yang Diusulkan

1.5.1 Karakteristik Produk

1.5.1.1 Reaktor Hidrogen Berbasis Biomassa

Reaktor hidrogen berbasis biomassa memanfaatkan bahan organik seperti limbah pertanian, kayu, atau limbah organik lainnya sebagai sumber bahan baku. Hidrogen diproduksi melalui proses seperti gasifikasi, pirolisis, atau fermentasi. Dalam gasifikasi, biomassa dipanaskan pada suhu tinggi dalam lingkungan dengan oksigen atau uap air terbatas untuk menghasilkan gas sintesis yang mengandung hidrogen. Proses ini memiliki keunggulan dalam pemanfaatan sumber daya terbarukan dan potensi pengurangan limbah organik. Namun, efisiensi konversi energi relatif rendah, dan infrastrukturnya kompleks serta membutuhkan biaya tinggi untuk pemurnian hidrogen dan pengelolaan limbah. Hal ini menjadikan teknologi berbasis biomassa kurang ideal untuk implementasi cepat dan skala kecil.

1.5.1.2 Reaktor Hidrogen Berbasis Elektrolisis

Reaktor elektrolisis menghasilkan hidrogen dengan memecah molekul air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) menggunakan arus listrik. Proses ini memiliki banyak keunggulan, termasuk kemudahan implementasi karena tidak memerlukan bahan baku kompleks atau infrastruktur tambahan seperti yang dibutuhkan teknologi biomassa. Selain itu, elektrolisis tidak menghasilkan emisi karbon, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan, terutama jika listrik yang digunakan berasal dari sumber energi terbarukan seperti tenaga surya atau angin. Biaya awal pembuatan reaktor elektrolisis juga relatif rendah dibandingkan dengan reaktor biomassa. Namun, tantangan terbesar elektrolisis adalah ketergantungan pada pasokan listrik yang stabil dan efisien, yang dapat meningkatkan biaya operasional jika menggunakan energi dari sumber tidak terbarukan.

1.5.1.3 Reaktor Hidrogen Berbasis Metana

Reaktor metana menggunakan gas alam (CH_4) sebagai bahan baku utama untuk menghasilkan hidrogen melalui reaksi dengan uap air pada suhu tinggi dalam proses yang dikenal sebagai *Steam Methane Reforming* (SMR). Teknologi ini memiliki keunggulan dalam

hal biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan elektrolisis dan telah banyak digunakan secara luas di industri. Namun, proses ini menghasilkan emisi karbon dioksida yang signifikan, yang berkontribusi pada perubahan iklim dan membuat teknologi ini kurang ramah lingkungan. Selain itu, ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti gas alam juga menjadikan teknologi ini kurang berkelanjutan untuk jangka panjang, terutama dalam transisi menuju ekonomi berbasis energi bersih.

1.5.2 Skenario Penggunaan

1.5.2.1 Skema Reaktor Hidrogen Berbasis Biomassa

Biomassa seperti limbah pertanian, kayu, atau sampah organik dimasukkan ke dalam reaktor gasifikasi. Di dalam reaktor, biomassa dipanaskan pada suhu tinggi dengan oksigen atau uap terbatas, menghasilkan gas sintesis yang mengandung hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2). Gas sintesis ini kemudian dialirkan ke unit pemurnian hidrogen menggunakan teknologi seperti *Pressure Swing Adsorption* (PSA) untuk memisahkan hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan, seperti bahan bakar atau bahan baku industri. Sistem ini cocok untuk daerah dengan sumber biomassa melimpah, tetapi memerlukan infrastruktur pengelolaan limbah yang canggih.

1.5.2.2 Skema Reaktor Hidrogen Berbasis Elektrolisis

Air (H_2O) dimasukkan ke dalam *elektrolizer* yang dilengkapi dengan dua elektroda: katoda (negatif) dan anoda (positif). Arus listrik dari sumber energi, seperti panel surya atau jaringan listrik, dialirkan melalui *elektrolizer* untuk memecah air menjadi hidrogen (H_2) di katoda dan oksigen (O_2) di anoda. Gas HHO yang dihasilkan dialirkan ke tangki penyimpanan atau langsung digunakan untuk aplikasi seperti bahan bakar sel, transportasi, atau proses industri. Sistem ini sangat fleksibel, mudah diimplementasikan, dan ramah lingkungan, terutama jika listrik yang digunakan berasal dari energi terbarukan.

1.5.2.3 Skema Reaktor Hidrogen Berbasis Metana

Gas alam (CH_4) dicampur dengan uap air dan dimasukkan ke dalam reaktor yang bekerja pada suhu tinggi ($700\text{--}1100^\circ\text{C}$). Reaksi antara metana dan uap menghasilkan gas sintesis yang mengandung hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2). Gas hidrogen dipisahkan dari campuran gas menggunakan unit pemurnian seperti PSA. Sistem ini ideal untuk produksi hidrogen skala besar karena efisiensinya yang tinggi dan ketersediaan gas alam. Namun, emisi karbon dioksida yang signifikan menjadi tantangan utama untuk keberlanjutan.

1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil seperti bensin, solar, dan LPG masih menjadi isu penting, khususnya terkait keterbatasan sumber daya dan dampaknya terhadap keberlanjutan energi di masa depan. Kondisi ini mendorong pengembangan alternatif energi yang dapat mendukung efisiensi konsumsi bahan bakar fosil. Salah satu alternatif yang memiliki potensi besar adalah hidrogen. Dengan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil, hidrogen diyakini dapat membantu meningkatkan proses pembakaran sehingga mendukung efisiensi penggunaan bahan bakar. Meskipun demikian, penerapan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan masih menghadapi tantangan, khususnya dalam menjaga stabilitas produksi serta efektivitas penggunaannya pada sistem pembakaran seperti genset.

Penelitian ini mengeksplorasi tiga pendekatan utama untuk produksi hidrogen, yaitu reaktor berbasis biomassa, elektrolisis air, dan metana. Ketiga solusi ini memiliki keunggulan dan tantangan tersendiri. Reaktor berbasis biomassa memanfaatkan limbah organik, memberikan manfaat tambahan dalam pengelolaan limbah, meskipun membutuhkan infrastruktur yang kompleks. Elektrolisis air merupakan pilihan ramah lingkungan, terutama, jika menggunakan energi terbarukan, tetapi efisiensinya sangat bergantung pada stabilitas pasokan listrik. Di sisi lain, metana menawarkan efisiensi tinggi untuk produksi skala besar, tetapi bergantung pada bahan bakar fosil sehingga kurang mendukung keberlanjutan jangka panjang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi setiap pendekatan dalam rangka memahami potensi integrasi hidrogen ke dalam sistem *hybrid* berbahan bakar fosil, seperti genset berbahan bakar solar dan bensin. Fokus utama adalah menganalisis stabilitas, efisiensi, dan manfaat penggunaan gas hidrogen sebagai bahan bakar tambahan pada genset. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang relevan untuk mendukung transisi menuju energi yang lebih berkelanjutan.