

## **HIDROGEN: SOLUSI INOVATIF UNTUK PENYIMPANAN ENERGI BERKELANJUTAN DI MASA DEPAN**

Arif Budiman

Prodi Megister Teknik Elektor Institut Teknologi PLN

[arifbudiman.stbagindo@gmail.com](mailto:arifbudiman.stbagindo@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*Hydrogen, with its environmentally friendly characteristics, high energy density, and versatile utilization, offers a promising solution for future energy storage systems. This paper discusses various hydrogen storage technologies, their operating principles, advantages and disadvantages, application examples, and usage trends. Despite several challenges, such as storage complexity, high costs, and safety issues, current trends indicate that hydrogen adoption continues to grow. This development is driven by the decreasing cost of green hydrogen production, advancements in more efficient storage technologies, integration of hydrogen into renewable energy systems, expansion of hydrogen refueling infrastructure, and increased collaboration among industries and governments. Hydrogen holds significant potential as a sustainable energy source for the future. With the development of more effective and efficient storage technologies, along with supportive policies and infrastructure, hydrogen can play a crucial role in the transition toward a cleaner and more environmentally friendly energy system.*

*Keywords: hydrogen storage, renewable energy, carbon emissions, storage materials, hydrogen applications, future trends*

### **ABSTRAK**

Hidrogen, dengan sifat ramah lingkungan, kepadatan energi tinggi, dan fleksibilitas penggunaan, menawarkan solusi menarik untuk penyimpanan energi di masa depan. Jurnal ini membahas berbagai teknologi penyimpanan hidrogen, prinsip kerja, kelebihan dan kekurangannya, contoh aplikasi, dan tren penggunaannya. Meskipun terdapat beberapa tantangan seperti kesulitan penyimpanan, biaya, dan keamanan, tren menunjukkan bahwa penggunaan hidrogen terus berkembang. Hal ini didorong oleh penurunan biaya hidrogen hijau, pengembangan teknologi penyimpanan yang lebih efisien, integrasi hidrogen dalam sistem energi terbarukan, peningkatan infrastruktur pengisian hidrogen, dan kolaborasi antarindustri dan pemerintah. Hidrogen memiliki potensi besar sebagai sumber energi berkelanjutan di masa depan. Dengan pengembangan teknologi penyimpanan yang lebih efektif dan efisien, serta dukungan kebijakan dan infrastruktur yang tepat, hidrogen dapat memainkan peran penting dalam transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: penyimpanan hidrogen, energi terbarukan, emisi karbon, material penyimpanan, aplikasi hidrogen, tren masa depan

## A. Pendahuluan

Hidrogen, sumber energi bersih dan berkelanjutan yang dihasilkan dari energi terbarukan, menawarkan solusi untuk penyimpanan energi dalam transisi menuju masyarakat berkelanjutan. Namun, efisiensi dan keamanan penyimpanan menjadi tantangan utama. Artikel ini membahas berbagai teknologi penyimpanan hidrogen, prinsip kerja, kelebihan dan kekurangan, contoh aplikasi, dan tren penggunaannya.

Tabel 1. Klasifikasi Prinsip produksi Hydroogen

| N<br>o | Prinsip             | Deskripsi                                                          | Contoh Aplikasi                                                                                                                   |
|--------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Elektrolisis Air:   | Air dipecah menjadi hidrogen dan oksigen menggunakan arus listrik. | Produksi hidrogen hijau dari sumber energi terbarukan seperti energi matahari dan angin. Sel bahan bakar untuk kendaraan listrik. |
| 2      | Reforming Gas Alam: | Uap air dan metana (komponen utama gas alam) direaksikan           | Produksi hidrogen skala besar untuk industri pupuk dan bahan kimia.                                                               |

| N<br>o | Prinsip              | Deskripsi                                                                                                                                  | Contoh Aplikasi                                                                                      |
|--------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                      | secara katalitik untuk menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida.                                                                          | Mencampur hidrogen dengan gas alam untuk meningkatkan efisiensi pembakaran di pembangkit listrik.    |
| 3      | Gasifikasi Batubara: | Batubara diubah menjadi gas sintesis (campuran hidrogen, karbon monoksida, dan karbon dioksida) melalui reaksi dengan uap air dan oksigen. | Produksi hidrogen untuk industri baja dan petrokimia. Pembangkit listrik bertenaga hidrogen.         |
| 4      | Pirolisis Air Panas: | Air dipanaskan hingga suhu tinggi (di atas 2.000°C) untuk dipecah menjadi hidrogen dan oksigen.                                            | Penelitian dan pengembangan teknologi hidrogen generasi berikutnya. Produksi hidrogen dari air laut. |

| <b>N<br/>o</b> | <b>Prinsip</b>    | <b>Deskripsi</b>                                                                                                                | <b>Contoh<br/>Aplikasi</b>                                                                                          |
|----------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>5</b>       | Fotolisis<br>Air: | Air dipecah menjadi hidrogen dan oksigen menggunakan energi sinar matahari.                                                     | Panel surya fotovoltaik untuk menghasilkan hidrogen hijau. Teknologi hidrogen skala kecil untuk aplikasi terpencil. |
| <b>6</b>       | Biohidrogen:      | Mikroorganisme seperti bakteri atau alga digunakan untuk menghasilkan hidrogen dari bahan organik seperti biomassa atau limbah. | Produksi hidrogen berkelanjutan dari sumber daya terbarukan. Pengolahan air limbah dan pembangkit biogas.           |

Hidrogen, sebagai elemen teringan dan terbanyak di alam semesta, menawarkan janji sebagai sumber energi masa depan yang bersih dan berkelanjutan. Namun, hidrogen tidak tersedia secara bebas di alam dan perlu dibuat menggunakan berbagai metode. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga pemilihannya bergantung pada faktor seperti sumber energi,

biaya produksi, dan aplikasi yang dituju.

Elektrolisis menjadi yang terdepan dalam produksi hidrogen skala besar di era pasca bahan bakar fosil. Kematangan teknologinya dan kesederhanaan fundamental berkontribusi pada efektivitasnya. Proses ini memecah molekul air menggunakan listrik, mencapai efisiensi tinggi tanpa memerlukan komponen bergerak. Teknologi ini menawarkan solusi yang menjanjikan untuk produksi hidrogen bersih[1]. Elektrolisis air, yang memecah air menjadi hidrogen dan oksigen menggunakan listrik, menjadi pilihan menarik. Keunggulannya terletak pada produksi hidrogen hijau bebas emisi jika menggunakan sumber energi terbarukan seperti matahari atau angin. Metode ini juga fleksibel dalam hal skala, bisa diterapkan untuk produksi kecil di daerah terpencil hingga produksi massal untuk industri. Namun, elektrolisis membutuhkan energi yang besar, sehingga efisiensi dan biaya menjadi pertimbangan utama. Kualitas air juga perlu diperhatikan untuk mencegah kerusakan elektrolit, serta pemanfaatan oksigen sebagai produk sampingan harus optimal. Saat ini,

elektrolisis banyak diminati untuk aplikasi seperti sel bahan bakar pada kendaraan listrik, penyimpanan energi terbarukan, dan dekarbonisasi industri dengan menggantikan bahan bakar fosil.

Tabel 2. Klasifikasi hidrogen berdasarkan sumber energi yang digunakan [2]

| Colour      | Fuel                  | Process                         | Products/Emissions                                        |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Brown/Black | Coal                  | Steam reforming or gasification | H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (released)               |
| White/Gold  | N/A                   | Naturally occurring             | H <sub>2</sub>                                            |
| Grey        | Natural Gas           | Steam reforming                 | H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (released)               |
| Blue        | Natural Gas           | Steam reforming                 | H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (9% captured and stored) |
| Turquoise   | Natural Gas           | Pyrolysis                       | H <sub>2</sub> + C (solid)                                |
| Red         | Nuclear Power         | Catalytic splitting             | H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>                           |
| Purple/Pink | Nuclear Power         | Electrolysis                    | H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>                           |
| Yellow      | Solar Power           | Electrolysis                    | H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>                           |
| Green       | Renewable Electricity | Electrolysis                    | H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>                           |

Di sisi lain, reforming gas alam merupakan metode yang sudah matang dan umum digunakan. Proses ini melibatkan reaksi metana, komponen utama gas alam, dengan uap air dan katalis untuk menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida. Keunggulannya terletak pada teknologi yang matang, biaya produksi yang relatif rendah, dan infrastruktur gas alam yang sudah tersedia. Namun, reforming gas alam menghasilkan emisi karbon dioksida, sehingga tidak dianggap sebagai sumber energi hijau. Proses pemisahan karbon dioksida juga diperlukan untuk mendapatkan

hidrogen murni, dan ketergantungan pada pasokan gas alam yang berkelanjutan menjadi tantangan tersendiri. Saat ini, reforming gas alam banyak digunakan untuk produksi hidrogen dalam industri pupuk dan bahan kimia, serta untuk meningkatkan efisiensi pembakaran di pembangkit listrik.

## B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif untuk mengkaji teknologi penyimpanan hidrogen, mengidentifikasi prinsip kerja, kelebihan dan kekurangan, serta aplikasi dan tren penggunaannya. Langkah-langkah metodologis yang diambil dalam penelitian ini meliputi:

### a) Studi Literatur:

Penelitian dimulai dengan tinjauan literatur yang ekstensif untuk mengumpulkan informasi yang relevan mengenai teknologi penyimpanan hidrogen. Sumber-sumber literatur meliputi jurnal ilmiah, buku, laporan industri, dan publikasi pemerintah. Informasi ini mencakup metode produksi hidrogen, prinsip kerja teknologi penyimpanan, kelebihan dan kekurangan masing-masing metode, serta contoh aplikasi praktis.

**b) Klasifikasi dan Analisis Teknologi:**

Data yang dikumpulkan dari literatur kemudian diklasifikasikan berdasarkan prinsip kerja teknologi penyimpanan hidrogen. Klasifikasi ini mencakup elektrolisis air, reforming gas alam, gasifikasi batubara, pirolisis air panas, fotolisis air, dan biohidrogen. Setiap teknologi dianalisis untuk mengidentifikasi keunggulan dan tantangannya, serta potensi aplikasinya dalam konteks yang berbeda.

**c) Evaluasi Aplikasi Praktis:**

Penelitian ini juga mengevaluasi aplikasi praktis dari teknologi penyimpanan hidrogen yang sudah ada. Ini mencakup penggunaan dalam kendaraan berbahan bakar hidrogen, pembangkit listrik sel bahan bakar, dan industri kimia. Studi kasus dari aplikasi yang berhasil diterapkan menjadi fokus utama untuk memahami implementasi teknologi dalam skenario nyata.

**d) Analisis Tren dan Masa Depan Teknologi:**

Tren penggunaan teknologi penyimpanan hidrogen diidentifikasi dengan menganalisis laporan industri dan kebijakan pemerintah terkait

hidrogen. Perhatian khusus diberikan pada penurunan biaya hidrogen hijau, pengembangan infrastruktur pengisian hidrogen, serta kolaborasi antara sektor publik dan swasta. Prediksi dan proyeksi dari badan energi internasional, seperti IEA, digunakan untuk memberikan gambaran tentang potensi masa depan hidrogen sebagai sumber energi utama.

**e) Analisa dan Kesimpulan:**

Informasi yang diperoleh dari berbagai sumber kemudian disintesis untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang keadaan saat ini dan prospek masa depan teknologi penyimpanan hidrogen. Hasil analisis digunakan untuk menyusun kesimpulan dan rekomendasi tentang pengembangan dan implementasi teknologi penyimpanan hidrogen dalam upaya transisi menuju sistem energi yang berkelanjutan.

Metodologi penelitian ini memungkinkan pemahaman yang mendalam tentang teknologi penyimpanan hidrogen dan kontribusinya dalam mencapai tujuan keberlanjutan energi. Pendekatan yang sistematis dan komprehensif memastikan bahwa semua aspek

penting dari penyimpanan hidrogen dievaluasi dengan cermat, memberikan dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan dalam pengembangan dan adopsi teknologi ini.

### **C.Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Dari data dan literatur yang telah di paparkan sebelumnya maka dapat kita analisa bahwa hidrogen menjadi salah satu pilihan dalam mencapai transisi energi yang berkelanjutan dimana dengan berbagai kelebihan yang ada dan potensi kekurangan yang diberikan masih dapat di dapatkan solusi untuk menghadapi kendala-kendala yang ada sehingga menjadikan hal tersebut lebih memungkinkan di aplikasikan dalam keberlangsungan menuju zero emisi.

Dari pemaparan beberapa literasi diatas maka ada beberapa hal yang perlu menjadi konsen dalam menjadikan hydrogen sebagai energi berkelanjutan menuju transisi energi yakni :

- Pengembangan Teknologi Penyimpanan Hidrogen yang Lebih Efisien: Tren utama dalam pengembangan teknologi penyimpanan hidrogen adalah menciptakan sistem yang lebih

efisien, aman, dan ramah lingkungan. Ini meliputi pengembangan tangki penyimpanan tekanan tinggi yang lebih ringan dan kuat, penggunaan material hidrida logam dengan kapasitas penyimpanan yang lebih tinggi, dan peningkatan dalam teknologi elektrolisis untuk produksi hidrogen yang lebih murah dan bersih. Dikutip dari jurnal Energi baru dan terbarukan di paparkan potensi dari energi Surya dan Angin dengan kekurangan terhadap intermitensi dalam menghasilkan listrik dapat dikombinasikan dengan memanfaatkan energi tersebut menjadi Hydrogen yang tentunya dapat digunakan untuk bahan bakar saat intermitensi dari EBT tersebut berlebih. Dalam jurnal tersebut dijelaskan bahwa Indonesia memiliki potensi besar dalam memanfaatkan energi surya dan angin untuk menghasilkan listrik yang dapat digunakan dalam proses elektrolisis untuk produksi hidrogen. Selain itu, ketersediaan air laut yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi hidrogen.

Meskipun proses penguraian ikatan hidrogen dan oksigen di dalam air laut yang mengandung NaCl sebagai katalis alami belum optimal, efisiensi proses tersebut dapat ditingkatkan dengan penambahan katalis seperti  $H_2SO_4$ , KOH, dan NaOH. Beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah produksi hidrogen melalui elektrolisis meliputi penggunaan katalisator untuk memaksimalkan penguraian ikatan hidrogen dan oksigen, luas permukaan katoda dan anoda yang tercelup yang mempermudah transfer elektron, sifat logam bahan elektroda yang digunakan, konsentrasi pereaksi untuk mereduksi hambatan pada elektrolit, serta besar tegangan atau arus listrik yang digunakan. Dengan potensi besar energi surya dan air laut serta teknologi yang semakin efisien dan murah, produksi hidrogen melalui elektrolisis menjadi semakin layak untuk diterapkan. Ketersediaan hidrogen sebagai alternatif energi dapat dimanfaatkan di sektor transportasi, yang merupakan pengguna energi terbesar. Pemanfaatan hidrogen dengan

fuel cell dapat menjadi sumber energi listrik untuk alat transportasi seperti mobil listrik dan sepeda motor listrik yang kini mulai berkembang. [8]

- Integrasi Hidrogen dalam Sistem Energi Terbarukan: Dengan meningkatnya kapasitas energi terbarukan seperti surya dan angin, ada tren untuk mengintegrasikan hidrogen sebagai media penyimpanan energi yang dapat diandalkan. Sistem penyimpanan hidrogen skala besar dapat menjadi sebuah solusi untuk dikembangkan dalam menyimpan energi berlebih dari sumber energi terbarukan dan melepaskannya saat diperlukan, membantu mengatasi tantangan fluktuasi pasokan energi terbarukan.[9]
- Peningkatan Infrastruktur dan Jaringan Pengisian Hidrogen: Peningkatan infrastruktur dan jaringan pengisian hidrogen menjadi kunci untuk mendukung adopsi luas kendaraan berbahan bakar hidrogen. Saat ini, banyak negara sedang menginvestasikan sumber daya yang signifikan untuk membangun stasiun pengisian hidrogen yang lebih lengkap dan

efisien. Pembangunan infrastruktur ini bertujuan untuk mengatasi kekhawatiran utama terkait ketersediaan bahan bakar hidrogen dan memastikan bahwa pengemudi kendaraan hidrogen dapat melakukan perjalanan jarak jauh tanpa kesulitan. Dengan adanya jaringan pengisian yang luas, pengguna kendaraan berbahan bakar hidrogen dapat lebih percaya diri dalam menggunakan teknologi ini, yang pada gilirannya akan mendorong peningkatan adopsi kendaraan hidrogen.

Di sepanjang rute transportasi utama dan di pusat-pusat perkotaan, pembangunan jaringan pengisian hidrogen sedang gencar dilakukan. Negara-negara seperti Jerman, Jepang, dan Korea Selatan telah memulai proyek-proyek besar untuk membangun ratusan stasiun pengisian hidrogen. Jerman, misalnya, menargetkan untuk memiliki 400 stasiun pengisian hidrogen pada tahun 2025, sementara Jepang berencana membangun 1.000 stasiun pada tahun yang sama. Langkah ini tidak hanya memfasilitasi perjalanan antar kota

tetapi juga membantu mendukung pertumbuhan pasar kendaraan hidrogen di daerah perkotaan, di mana permintaan dan penggunaan kendaraan sangat tinggi.

Selain itu, investasi dalam teknologi pengisian hidrogen juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan stasiun pengisian. Teknologi pengisian cepat sedang dikembangkan untuk mengurangi waktu yang diperlukan untuk mengisi penuh tangki hidrogen kendaraan, sehingga waktu pengisian dapat bersaing dengan waktu pengisian bahan bakar konvensional. Keamanan juga menjadi fokus utama, dengan pengembangan sistem yang memastikan bahwa pengisian dilakukan dengan aman dan tanpa risiko kebocoran hidrogen. Upaya ini penting untuk membangun kepercayaan publik terhadap infrastruktur pengisian hidrogen dan memastikan bahwa penggunaan kendaraan hidrogen dapat diterima secara luas.

Dukungan kebijakan dan insentif dari pemerintah sangat penting dalam pembangunan infrastruktur ini. Banyak

pemerintah memberikan subsidi dan insentif pajak untuk pembangunan stasiun pengisian hidrogen serta untuk pembelian kendaraan berbahan bakar hidrogen. Hal ini memberikan dorongan tambahan bagi perusahaan dan individu untuk berinvestasi dalam teknologi hidrogen. "Pemerintah di berbagai negara telah mengakui pentingnya hidrogen sebagai bagian dari transisi energi dan telah memperkenalkan berbagai kebijakan untuk mendukung pengembangan infrastruktur hidrogen," kata sebuah laporan dari International Energy Agency (IEA) .

Dengan langkah-langkah ini, diharapkan bahwa adopsi kendaraan berbahan bakar hidrogen akan meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun ke depan, membantu mengurangi emisi dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Kolaborasi Antar industri dan Pemerintah: Tren penting lainnya adalah kolaborasi antara industri otomotif, energi, dan pemerintah untuk mempercepat pengembangan dan adopsi

teknologi penyimpanan hidrogen. Ini termasuk investasi dalam riset dan pengembangan, standarisasi infrastruktur, dan kebijakan dukungan untuk mendorong penggunaan hidrogen sebagai komponen utama dalam transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan.

Melalui Analisa dan pembahasan yang telah dipaparkan maka jelas dipahami bahwa penggunaan teknologi penyimpanan hidrogen akan terus berkembang dan menjadi bagian integral dari sistem energi masa depan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

#### **D. Kesimpulan**

Penyimpanan hidrogen menjadi topik yang sangat penting dalam konteks pengembangan teknologi energi terbarukan. Berbagai pendekatan telah dikaji untuk menyimpan hidrogen dengan efisien dan aman. Berdasarkan literatur yang disajikan, dapat diambil beberapa kesimpulan utama:

- Terdapat berbagai teknologi penyimpanan hidrogen yang sedang dikembangkan, termasuk penggunaan bahan padat, cair, dan bahkan senyawa organik.

- Setiap teknologi penyimpanan hidrogen memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Misalnya, bahan padat seperti logam hidrida dapat menyimpan hidrogen dalam kepadatan energi tinggi tetapi memerlukan suhu dan tekanan yang tinggi untuk penyimpanan dan pengeluarannya. Sementara itu, senyawa organik dapat menjadi alternatif yang lebih aman dan mudah diakses tetapi mungkin memiliki efisiensi penyimpanan yang lebih rendah.
  - Hidrogen menjadi salah satu energi penyimpanan yang paling fleksibel karena pengaplikasiannya yang dapat digunakan di segala bidang, baik industri, transportasi, energi dan lain sebagainya sehingga merupakan energi penyimpanan yang memiliki potensi besar menggantikan energi fosil
  - Aplikasi praktis dari teknologi penyimpanan hidrogen telah ada, termasuk penggunaan dalam kendaraan bertenaga hidrogen, penyimpanan energi skala besar, dan pengiriman energi jarak jauh melalui pipa.
  - Untuk memperluas penggunaan teknologi penyimpanan hidrogen, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan ketersediaan bahan baku. Selain itu, integrasi dengan infrastruktur energi yang sudah ada dan pengembangan regulasi yang mendukung juga merupakan hal penting.
- Dengan pemahaman yang lebih baik tentang berbagai pendekatan dan tantangan yang terkait dengan penyimpanan hidrogen, kita dapat terus maju menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- F. Kreith, D. W. Pepper, S. A. Sherif, D. Y. Goswami, E. K. Stefanakos, and A. Steinfeld, "EnErgy EfficiEncy and rEnEwable EnErgy H a n d b o o k S E c o n d E d i t i o n MECHANICAL and AEROSPACE ENGINEERING," 2016.
- Railway-News.com, "Hydrogen Colour Explained," <https://railway->

news.com/hydrogen-colour-explained/.

U.S. Department of Energy. (n.d.), "Hydrogen Storage. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.," <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> .pidjoe, "The Future of Hydrogen."

en.swissquote.lu/, "Green Hydrogen: The Fuel of the Future," <https://en.swissquote.lu/international-investing/investing-ideas/green-hydrogen-fuel-future>.

International Energy Agency, "Global Hydrogen Review 2023," 2023. [Online]. Available: [www.iea.org](http://www.iea.org)

<https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2023/11>, "Terbanyak di Asia Tenggara! PLN Resmikan 21 Unit Green Hydrogen Plant, Mampu Produksi Hingga 199 Ton Hidrogen Per Tahun," <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2023/11/terbanyak-di-asia-tenggara-pln-resmikan-21-unit-green-hydrogen-plant-mampu-produksi-hingga-199-ton-hidrogen-per-tahun/>.

M. S. Hasan and W. Widayat, "Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, Mar. 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13374.

Spencer Abraham, "Production• Delivery• Storage •Conversion• Application• Public Education and outreach," Washington, DC, Nov. 2002. Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: [https://www.energy.gov/sites/default/files/2014/03/f8/national\\_h2\\_roadmap.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2014/03/f8/national_h2_roadmap.pdf)