

STUDI LITERATUR : MUNGKINKAH AIR BISA MENJADI BAHAN BAKAR KENDARAAN BERMOTOR?

Fatimatus Zahro¹, Sudarti², Yushardi³

230210102069@mail.unej.ac.id¹, sudarti.fkip@unej.ac.id², yushardi.fkip@unej.ac.id³

Universitas Jember

ABSTRACT

This journal discusses the potential for using air as fuel for motorized vehicles. Various technologies and methods in the literature have been evaluated, including the water electrolysis process, which is used as a fuel source, namely hydrogen resulting from the water electrolysis process. This research considers the desirability, efficiency, and environmental impact of the water electrolysis process. Experimental and analytical results show that technical, economic, and infrastructure challenges still need to be overcome before mass implementation can be achieved. Further research is needed to overcome these obstacles and develop solutions that can provide environmentally friendly and sustainable alternatives in the transportation sector.

Keywords: *water electrolysis, process mass implementation.*

PENDAHULUAN

Pemanasan global dan kekhawatiran atas peningkatan emisi gas rumah kaca telah mendorong pencarian terus-menerus akan alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan untuk kendaraan bermotor. Di tengah upaya ini, air telah muncul sebagai salah satu kandidat yang menarik untuk menggantikan bahan bakar konvensional. Secara umum, air merupakan sumber kehidupan yang paling penting dan sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup di alam semesta. Sedangkan secara ilmiah, air merupakan suatu senyawa kimia yang terdiri dari dua unsur, yaitu unsur H₂ (hidrogen) yang berkaitan dengan unsur O₂ (oksigen) yang kemudian menghasilkan senyawa air atau yang biasa kita kenal dengan H₂O. Air dapat diaplikasikan dalam berbagai hal. Terutama pada saat ini air banyak digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Namun, menurut (Rebelo et al, 2020), Meningkatnya permintaan akan sumber daya air untuk berbagai keperluan seperti pasokan air publik, pertanian, industri, keperluan rekreasi dan lain-lain menyebabkan kelangkaan air dan penurunan kualitas. Oleh karena itu, setelah kita mengetahui adanya resiko tersebut, kita harus pandai dalam mengelola sumber daya air di sekitar kita.

Sel bahan bakar merupakan suatu alat konversi energi yang berfungsi untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan juga panas (Sazali et al, 2020). Pemodelan sistem sel bahan bakar layak dilakukan karena merupakan alat yang mudah digunakan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang proses operasi internal guna menyempurnakan desain sel bahan bakar. Sel bahan bakar digunakan sebagai sumber tenaga utama untuk menggerakkan motor.

Pembuatan makalah ini bertujuan untuk menelusuri sekaligus membuktikan ada atau tidaknya kemungkinan air bisa menjadi bahan bakar kendaraan bermotor. Melalui tinjauan literatur yang komprehensif, kami akan mengidentifikasi perkembangan terbaru dalam teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah air menjadi bahan bakar kendaraan bermotor. Selain itu, kami akan mengevaluasi tantangan teknis dan ekonomis yang perlu diatasi untuk mewujudkan visi penggunaan air sebagai bahan bakar kendaraan yang berkelanjutan. Hasil penelitian yang melalui review beberapa artikel ini diharapkan dapat menambah wawasan bagi para pembaca.

METODE PENELITIAN

Dalam Pembuatan jurnal ilmiah, terdapat banyak jenis penelitian yang dilakukan, antara lain, yaitu penelitian eksperimental yang melibatkan desain eksperimen untuk menguji hipotesis dan mengeksplorasi hubungan sebab akibat antar variabel, penelitian kuantitatif yang mengumpulkan dan menganalisis data numerik untuk mendapatkan pemahaman terhadap objek yang diteliti, dan penelitian kualitatif yang lebih memfokuskan pada pemahaman tentang fenomena dengan mengumpulkan data deskriptif.

Metode penelitian yang dilakukan merupakan penelitian berbasis literatur. Penemuan berbasis literatur (Literature-Based Discovery atau LBD) bertujuan untuk menemukan hubungan laten yang berharga antara kumpulan literatur yang berbeda (Kastrin dan Hristovski, 2021). Kami menggunakan literatur berupa kumpulan jurnal internasional yang didapat dari google scholar dengan menerjemahkan kalimat yang dikutip dari bahasa inggris menjadi bahasa indonesia. Kami menelusuri berbagai jurnal yang membahas tentang hubungan antara air dengan sel bahan bakar, pengertian air itu sendiri, pengertian sel bahan bakar, dan proses yang memungkinkan air dapat diolah menjadi bahan bakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan beberapa jurnal yang kami jadikan acuan dalam pembuatan artikel ini.

Tabel 1. Jurnal Terpilih

Author	Result
Shusheng <i>et al</i> , 2020.	Sel bahan bakar pada akhirnya mengkonsumsi hidrogen, jadi apa pun sumber hidrogennya, sel bahan bakar itu sendiri tidak menghasilkan emisi apa pun. Dalam skema desain, kendaraan listrik sel bahan bakar adalah jenis pembangkit hidrogen terpasang, dan metode reformasi pemanasan sendiri yang menggabungkan reformasi uap metanol dan reformasi oksidasi parsial digunakan untuk menghasilkan hidrogen guna mencapai pasokan hidrogen instan. Ada tiga jenis utama mode penggerak sistem tenaga hibrida sel bahan bakar: baterai tambahan dengan penggerak hibrida sistem sel bahan bakar (FC + B), kapasitor super dengan penggerak hibrida sistem sel bahan bakar (FC + C), dan baterai tambahan dan superkapasitor, yaitu dipadukan dengan sistem sel bahan bakar penggerak hybrid (FC+B+C). Reformer metanol tipe auto-reformer, sistem sel bahan bakar membran penukar proton, konverter daya DC/DC dua arah buck-boost, motor DC magnet permanen, dan baterai litium dipilih sebagai komponen utama.
Fan <i>et al</i> , 2021.	Hidrogen, pembawa energi ramah lingkungan, adalah unsur kimia paling melimpah di alam semesta, mencakup 75% materi normal berdasarkan massa dan lebih dari 90% berdasarkan jumlah atom. Teknologi sel bahan bakar dan hidrogen (FCH) dapat menjadi

	<p>pendorong utama untuk mengurangi emisi dan mewujudkan transisi energi ramah lingkungan. Sistem hibrida yang mensinergikan hidrogen fototermokimia dan fotovoltaik telah dirancang untuk memanfaatkan sinar matahari spektrum penuh secara efisien untuk menyerap energi ultraviolet-tampak dan inframerah untuk produksi hidrogen foto-termokimia secara cepat dengan Au-TiO₂ berfungsi sebagai pemilih spektrum. Teknologi sel bahan bakar dan hidrogen (FCH) dapat menjadi pendorong utama untuk mengurangi emisi dan mewujudkan transisi energi ramah lingkungan.</p> <p>.</p>
Yang et al, 2020.	<p>Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa penilaian siklus hidup sepenuhnya mempertimbangkan metode produksi hidrogen yang berbeda dan penggunaan AC serta sistem pemanas dalam mode mengemudi dan jarak tempuh berkendara yang berbeda. Siklus hidup bahan bakar mengacu pada konsumsi energi dan emisi GRK yang disebabkan oleh konsumsi bahan bakar selama penggunaan kendaraan</p>
Li et al, 2021.	<p>Dalam menggemparkan sektor transportasi, FCEV bertenaga hidrogen memiliki sejumlah keunggulan penting dibandingkan kendaraan listrik bertenaga baterai. menurut (Li dan Chang, 2019), karena tingginya pangsa bahan bakar fosil dalam bauran energi ASEAN, emisi karbon mungkin tidak dapat dikurangi secara signifikan. Oleh karena itu, pengembangan energi hidrogen, yang mungkin merupakan pilihan penting dan tambahan untuk memperdalam integrasi energi bersih (termasuk energi terbarukan) dan memadukan energi bersih dengan sektor transportasi,</p>
Chatenet et al, 2022.	<p>Pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen dengan memanfaatkan energi matahari yang mengubah air menjadi sumber bahan bakar yang tidak ada habisnya dan ramah lingkungan.11–16 Di antara strategi yang diketahui, elektrolisis air adalah teknologi yang paling mudah untuk ditransfer ke industri skala besar. Pemisahan air yang digerakkan oleh listrik terdiri dari dua reaksi setengah sel, reaksi evolusi hidrogen (HER) dan reaksi evolusi oksigen(O₂) (OER). Elektroda yang berevolusi dengan oksigen berkontribusi terutama terhadap kelebihan tegangan sel yang harus diterapkan selain tegangan dekomposisi teoritis (1,229 V dalam kondisi standar) elektrolisis air.</p>
Qureshi et al, 2023.	<p>H₂ tampaknya menjadi pilihan logis untuk aplikasi</p>

	<p>transportasi di tiga bidang: pengendalian karbon GRK, konservasi energi, dan pengurangan polusi udara [7]. Meningkatnya penggunaan H₂, terutama untuk aplikasi transportasi, disebabkan oleh kemajuan teknologi berbasis sel bahan bakar pada akhir tahun 1990-an dan penggunaan H₂ pada mesin pembakaran internal (ICE) tanpa investasi yang signifikan. H₂ memiliki suhu penyalaan otomatis yang lebih tinggi dibandingkan metana dan memiliki efisiensi pembakaran yang lebih cepat dibandingkan bensin. tampaknya masa depan H₂ terletak pada wilayah warna hijau, biru, dan pirus sesuai skenario terbaru. Hal ini disebabkan oleh karakteristik produksi H₂ yang bersih dan berkurangnya jejak karbon dalam metodologi produksi.</p>
Shadidi <i>et al</i> , 2021.	<p>Menurut penulis yang membandingkan antara bahan bakar hidrokarbon seperti gas alam, bensin, dan solar, dengan hidrogen, penggunaan hidrogen lebih efisien, dikarenakan hidrogen digunakan sebagai bahan bakar pada mesin pembakaran internal yang dapat meningkatkan efisiensi termal sekaligus mengurangi emisi karbon. Hidrogen memasuki ruang bakar mesin melalui sistem injeksi atau karburator dari kompleks yang telah dicampur sebelumnya. Mesin tradisional tidak dapat digunakan secara langsung dengan hidrogen, kecuali sistem pembakarannya dimodifikasi. Untuk dapat menggabungkan berbagai bentuk listrik dan hidrogen, beberapa ide baru harus diciptakan. Saat ini, teknik yang paling banyak digunakan untuk menghasilkan hidrogen adalah reformasi uap-metana.</p>
Petrucci <i>et al</i> , 2022.	<p>Penelitian ini mengidentifikasi ciri-ciri khas di lokasi yang berhubungan dengan kendaraan di Australia: (a) daerah tangkapan air di hulu yang kecil dengan air banjir yang naik dengan cepat, (b) tidak adanya barikade di tepi jalan, (c) air banjir yang dalam yang berbatasan langsung dengan jalan raya, (d) tidak adanya penerangan jalan, (e) kemiringan jalan yang menurun sehingga menyebabkan banjir dan semakin meningkat ketika kendaraan memasukinya, dan (f) tidak adanya tepi jalan atau parit.</p>
Wang <i>et al</i> , 2021.	<p>Sel bahan bakar hidrogen diklasifikasikan berdasarkan prinsip kerjanya. Tergantung pada elektrolitnya, sel bahan bakar hidrogen dapat dibagi menjadi sel bahan bakar membran penukar proton (PEMFC) dengan membran penukar proton sebagai elektrolitnya, sel bahan bakar oksida padat (SOFC) dengan elektrolit oksida padat, sel bahan bakar alkali (AFC) sel bahan</p>

	<p>bakar asam fosfat (PAFC) dengan elektrolit asam fosfat, dan sel bahan bakar karbonat cair (MCFC) dengan elektrolit karbonat. Visualisasi air dalam sel bahan bakar telah menjadi metode yang dapat diandalkan untuk mengamati keadaan air. Metode untuk memvisualisasikan transportasi air umumnya mencakup penggunaan PEMFC transparan untuk membuat air terlihat secara langsung, pencitraan pemindaian neutron, pencitraan resonansi magnetik nuklir, dan sinar-X. Pengelolaan air sangat mempengaruhi kinerja dan masa pakai PEMFC secara keseluruhan.</p>
<p>Grigoriev et al, 2020.</p>	<p>Dalam kasus elektrolisis suhu tinggi, tidak ada masalah nyata dengan elektrokatalisis karena pada suhu yang sangat tinggi tidak ada batasan kinetik pada sebagian besar bahan yang sesuai (komposisi elektroda). Komposisi elektroda tersebut harus memberikan konduktivitas campuran ion/elektron dan memiliki koefisien muai panas yang serupa dengan elektrolit padat. Tentu saja, interdifusi komponen komposisi elektroda dan elektrolit harus rendah. Di masa depan, pabrik elektrolisis air diharapkan dapat berkontribusi pada penyimpanan sumber energi terbarukan sementara dalam skala besar. Oleh karena itu, hidrogen dengan tingkat elektrolitik yang diperoleh melalui elektrolisis air berpotensi menjadi vektor energi yang mengubah permainan.</p>
<p>Han et al, 2022.</p>	<p>Sel bahan bakar adalah perangkat yang menggunakan hidrogen dan oksigen untuk reaksi elektrokimia guna menghasilkan listrik dan air tanpa mengeluarkan gas berbahaya atau gas rumah kaca memiliki beberapa temuan penting yang sama. Saat ini, hanya ada sedikit penelitian tentang pemisah gas-air di bidang sel bahan bakar. Hal ini tidak berarti bahwa penelitian dan pengembangan pemisah gas-air telah berkembang pesat. Sebaliknya, terdapat perilaku aliran multifase yang kompleks di dalam separator, dan desain separator air berkinerja tinggi menjadi rumit. Air cair yang tidak dipisahkan oleh pemisah gas-air mungkin tetap berada di ruang volume pompa mekanis. Air cair akan menempati volume kerja efektif pompa hidrogen dan mengurangi efisiensi volumetrik pompa. Selain itu, air cair yang terkumpul di pompa mekanis.</p>
<p>Simoes et al, 2021.</p>	<p>Karena H₂ memiliki kandungan energi per unit berat yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar</p>

	<p>konvensional (menurut Abidin dkk., 2020, tiga kali lipat dari bensin), dan dapat diproduksi melalui elektrolisis air dengan dampak lingkungan yang lebih rendah, H₂ merupakan pilihan yang sangat menarik. menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan. Namun, penting untuk mengeksplorasi dan mengevaluasi berbagai sumber air untuk produksi H₂, karena air tawar merupakan sumber daya yang langka (Postel, 2000) dan kemungkinan akan semakin langka karena perubahan iklim (IPCC, 2018). Faktanya, Petunjuk Kerangka Air UE menyatakan bahwa negara-negara anggota harus mengambil tindakan untuk melindungi semua badan air dengan mempertimbangkan tujuan lingkungan serta perlindungan badan air untuk penggunaan air yang berbeda (Komisi Eropa, 2000). Ketika pemilihan sumber air dipengaruhi oleh berbagai faktor kuantitatif dan kualitatif, pendekatan Nilai Berkelanjutan (Catarino et al., 2010), yang mengintegrasikan isu-isu ekonomi dengan lingkungan dan sosial, telah digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan.</p>
<p>Christianto, dan Smarandache. 2022.</p>	<p>Akhir-akhir ini, terdapat berbagai perdebatan di dunia online saluran pada versi bahasa Indonesia penelitian bahan bakar alternatif untuk sepeda motor yang menjadi salah satu topik hangat, dari temuan H. Aryanto Misel dari Lemahabang, Cirebon (Indonesia), yang beliau panggilan Nikuba (menurut dia dari Ungkapan Jawa, "niku banyu"; trans. Itu air). Ada kontroversi mengenai temuan ini, dan ini cukup masuk akal, mengingat metode elektrolisis telah lama dikenal dalam bidang kimia.</p>
<p>Bethoux et al, 2020.</p>	<p>FCV sudah mencapai kematangan dan karenanya sudah dapat berperan dalam tren kendaraan tanpa emisi. Pasar alami adalah kendaraan berat jarak jauh dan armada taksi atau kendaraan pengiriman. Karena FCS masih mahal, pasar ini akan berkembang berdasarkan arsitektur range extender atau hybrid ringan. Implementasi pertama ini akan memungkinkan kami untuk mematangkan teknologi dari pasar khusus ke pasar berskala besar. Hal ini juga akan mengidentifikasi model bisnis yang tepat di seluruh rantai nilai. Hidrogen akan memainkan peran kunci baik dalam hal masalah lingkungan dan ekonomi.</p>

<p>Salek et al, 2021.</p>	<p>Baru-baru ini, hidrogen telah diusulkan sebagai bahan bakar ramah lingkungan di masa depan. Oksidasi hidrogen tidak akan menghasilkan polutan kimia apa pun, dan oleh karena itu merupakan alternatif yang layak untuk bahan bakar fosil pada kendaraan. Namun, ada beberapa masalah konseptual untuk menjalankan mesin IC dengan 100% hidrogen dan diperlukan modifikasi besar pada mesinnya. Sebaliknya, sebagai solusi perantara, hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar tambahan pada kendaraan dengan tujuan mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi.</p>
<p>Sharma et al, 2021.</p>	<p>Hidrogen adalah unsur paling melimpah dan paling ringan, tersedia dalam bentuk senyawa tetapi tidak dalam bentuk bebas. Itu dapat disimpan, diangkut, dan dapat diproduksi dengan mudah dari air. Dibandingkan dengan bahan bakar lainnya, bahan bakar ini kaya akan energi per satuan massa. Energi ini merupakan pembawa energi, bukan sumber utama, yang dapat dihasilkan dari sumber lain seperti air, biomassa, dan bahan bakar fosil. Dibandingkan dengan bahan bakar konvensional, kandungan energi gravimetrinya 2 hingga 3 kali lebih tinggi dibandingkan sumber tradisional, namun memiliki kepadatan energi volumetrik yang rendah. Hal ini berguna, misalnya, dalam industri bertenaga hidrogen, desa hidrogen, dan pesawat jet. Dapat menghasilkan listrik dan berguna untuk segala kebutuhan energi rumah tangga. Dengan menggunakan sel bahan bakar, hidrogen dapat menyimpan energi dalam bentuk listrik.</p>
<p>Ahmadi et al, 2022.</p>	<p>Tujuan utama perancangan kendaraan listrik dan hidrogen adalah untuk mengurangi polusi di sektor transportasi. Oleh karena itu, jumlah polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan ini harus dibandingkan dengan jumlah polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermesin pembakaran internal untuk mengembangkan kebijakan komprehensif guna mengurangi polutan yang dikeluarkan oleh transportasi di masa depan. Meskipun tidak ada polutan yang dikeluarkan saat mengendarai kendaraan hidrogen, emisi siklus hidup kendaraan ini mungkin lebih tinggi dibandingkan emisi kendaraan dengan pembakaran internal, tergantung pada metode yang digunakan untuk memproduksi hidrogen.</p>
<p>Liu et al, 2021.</p>	<p>Beberapa penelitian berfokus pada siklus bahan bakar</p>

	<p>dan membandingkan kendaraan sel bahan bakar dengan kendaraan powertrain lainnya. Wang dkk. (2013) menganalisis siklus hidup emisi GRK dari mesin pembakaran internal, baterai listrik, dan kendaraan sel bahan bakar di Tiongkok. Berbagai jalur untuk menghasilkan hidrogen telah dipertimbangkan (misalnya hidrogen dari: elektrolisis air yang ditenagai oleh jaringan listrik Tiongkok, dari reformasi gas alam di pembangkit listrik pusat, dari reformasi gas alam di stasiun pengisian bahan bakar, dan dari elektrolisis air yang ditenagai oleh energi nuklir). Di sini kami menyajikan evolusi stok kendaraan di Tiongkok berdasarkan skenario penerapan HDT sel bahan bakar yang berbeda, intensitas karbon hidrogen (berdasarkan proyeksi masa depan dalam Buku Putih pengembangan hidrogen CHA), dan emisi GRK dari seluruh armada HDT dengan berbagai penetrasi bahan bakar pembangkit listrik sel.</p>
Dahlgren <i>et al</i> , 2022.	<p>Hidrogen, metanol, DME dan diesel FT sangat jarang dihasilkan dari biogas. Di antara keempat bahan bakar tersebut, hidrogen adalah pilihan yang paling mungkin untuk dikembangkan lebih lanjut, karena kemungkinan besar hidrogen akan menjadi bagian dari sistem transportasi masa depan karena penggunaannya dalam kendaraan sel bahan bakar bebas polusi. Namun, metanol terbarukan dan solar FT dapat digunakan pada mesin bensin atau diesel biasa, dengan campuran rendah (metanol) atau campuran tinggi (diesel FT).</p>
Rood <i>et al</i> , 2020.	<p>Dalam studi ini, dua versi knalpot sintetis digunakan satu tanpa H₂O dan CO₂, seperti yang sering dilaporkan dalam literatur, dan satu lagi dengan masing-masing 10% H₂O dan CO₂ untuk menyimulasikan knalpot “dunia nyata” yang lebih realistis. Untuk percobaan yang mencakup H₂O dan CO₂, katalis Pt/AlCeZrLa yang disintesis menunjukkan kinerja suhu rendah yang lebih baik dibandingkan katalis komersial, meskipun kandungan logamnya jauh lebih rendah. Namun, hal sebaliknya terjadi pada eksperimen tanpa H₂O dan CO₂ dalam aliran gas buang, sehingga perlu dilakukan eksperimen yang sedekat mungkin dengan kondisi dunia nyata.</p>
Vigneswaran <i>et al</i> , 2021.	<p>TiO₂ yang menyertai biodiesel selalu meningkatkan emisi NO_x jika dibandingkan dengan solar atau bahan bakar dasarnya. Selain itu, dari literatur di atas, dapat</p>

	<p>diketahui bahwa TiO₂ hanya dicampur dengan bahan bakar biodiesel dan bukan dengan bahan bakar diesel/emulsi air. Dari survei lain, diketahui bahwa bahan bakar emulsi dapat mengurangi emisi NO_x secara signifikan namun meningkatkan emisi BSFC dan HC, CO. Kekosongan besar telah diidentifikasi dan diisi dengan mencampurkan TiO₂ dengan air hingga batas maksimum dan melakukan eksperimen untuk mengevaluasi bahan bakar nano emulsi pada strategi pemuatan rendah, sebagian, dan penuh.</p>
Ikhwan <i>et al</i> , 2024.	<p>Menurut [1], berdasarkan temuan penemuan mini hydrofuel generator Nikuba, untuk digunakan sebagai bahan bakar, air harus melalui proses pemisahan molekul air menjadi hidrogen dan oksigen. bahwa proses ini memakan banyak listrik..Sedangkan pada penelitian (Wahyudi <i>et al</i>, 2023), didapatkan hasil penelitian yaitu dengan penambahan elektroliser berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar berdasarkan pengujian statis dan dinamis, dan berpengaruh terhadap emisi gas buang sepeda motor tersebut, serta dapat disimpulkan bahwa elektroliser dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Tetapi menurut penelitian ini salah satu kelemahan dari kendaraan bahan bakar air adalah yaitumembutuhkan energi yang lebih besar dan boros terhadap arus listrik</p>
Vidas <i>et al</i> , 2021.	<p>Meskipun ada banyak metode berbeda untuk memproduksi hidrogen, saat ini sebagian besar produksi hidrogen global berasal dari bahan bakar fosil yang tidak terbarukan—khususnya, steam reforming metana—terutama karena biayanya yang rendah dan efisiensinya yang tinggi. Namun, proses ini juga cenderung menghasilkan hidrogen yang kurang murni, selain melepaskan gas rumah kaca yang berbahaya ke atmosfer. Maka saat ini diupayakan strategi energi baru yang ramah lingkungan untuk menggantikan sistem yang ada saat ini, yaitu melalui elektrolisis air; metode ini memungkinkan produksi hidrogen yang ramah lingkungan dengan kemurnian tinggi, selain tetap melepaskan oksigen sebagai produk sampingan seperti terlihat pada Persamaan.</p>
Cunanan <i>et al</i> , 2021.	<p>Kisaran HDV sel bahan bakar bergantung pada muatannya tetapi juga jumlah hidrogen yang disimpan di dalam kendaraan. HDV sel bahan bakar tipikal akan mampu mencapai jangkauan 500–1000 mil dengan satu sesi pengisian bahan bakar dan dua tangki</p>

	hidrogen yang masing-masing membawa 40–60 kg hidrogen pada tekanan 350 bar. Beberapa data siklus penggerak agregat menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar hidrogen untuk kendaraan kelas 8 dapat berkisar antara 5,5 hingga 9,2 mil per kg hidrogen
--	---

PEMBAHASAN

Berdasarkan beberapa literatur yang kami tinjau berupa jurnal yang kami telusuri melalui google scholar, kami tidak menemukan adanya penelitian atau sekedar analisis yang menyatakan bahwa air dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor. Hal tersebut dikarenakan air berdampak negatif terhadap bahan bakar kendaraan bermotor. Seperti suatu pernyataan menurut (Petrucci, 2022) dalam jurnalnya yang ia kutip dari (Gissing et al, 2019), dimana ia mengidentifikasi salah satu ciri khas di lokasi yang berhubungan dengan kendaraan di Australia adalah kendaraan berada di jalan yang tergenang air, yang dapat mengakibatkan mesin mati. Namun, dari sebagian jurnal ada yang menyatakan bahwa kita dapat menggunakan hidrogen yang diperoleh dari proses elektrolisis air untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Elektrolisis air untuk kendaraan bermotor adalah proses pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen menggunakan listrik. Hidrogen adalah pembawa energi yang ideal, sangat efisien, terbarukan, bersih, dan berkelanjutan yang dihasilkan melalui elektrolisis air dan pemisahan air termokimia (Fan et al, 2021). Hidrogen yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor, terutama dalam kendaraan bertenaga sel bahan bakar (fuel cell). Proses ini dapat dijalankan menggunakan energi listrik dari sumber terbarukan untuk mengurangi emisi karbon dioksida. Namun, menurut (Ikhwan et al, 2024), pada penelitian (Wahyudi et al, 2023), dengan penambahan elektroliser berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar berdasarkan pengujian statis dan dinamis, dan berpengaruh terhadap emisi gas buang sepeda motor tersebut, serta dapat disimpulkan bahwa elektroliser dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Tetapi menurut penelitian ini salah satu kelemahan dari kendaraan bahan bakar air yaitu membutuhkan energi yang lebih besar dan boros terhadap arus listrik.

Sel bahan bakar adalah perangkat yang memungkinkan konversi langsung energi kimia menjadi bentuk listrik. Sel bahan bakar biasanya didukung oleh hidrogen sebagai bahan bakar dan udara sebagai oksidan. Sel bahan bakar pada akhirnya mengkonsumsi hidrogen, jadi apapun sumber hidrogennya, sel bahan bakar itu sendiri tidak menghasilkan emisi apa pun. Mengingat proses produksi hidrogen, emisinya juga sangat rendah (Shuseng et al, 2020). Pesatnya perkembangan teknologi hidrogen dan meningkatnya kebutuhan energi mendorong banyak negara untuk menetapkan peta jalan hidrogen dalam negeri. Jelas sekali bahwa hidrogen dan sel bahan bakar dapat memenuhi meningkatnya permintaan pembangunan masyarakat dan memberikan kemungkinan untuk mencakup sebagian besar bidang energi. Oleh karena itu, banyak negara memasukkan pengembangan hidrogen ke dalam strategi nasional mereka dan menerapkan langkah-langkah untuk mempromosikan industri sel bahan bakar. Ketika gas hidrogen dioksidasi secara elektrokimia dalam sistem sel bahan bakar, gas ini menghasilkan air murni sebagai produk sampingan, dan tidak mengeluarkan karbon dioksida (Fan et al, 2021). Menurut (Ogungbemi, 2021), konversi hidrogen yang dihasilkan dari energi terbarukan menjadi listrik dengan menggunakan sel bahan bakar Proton Exchange Membrane (PEMFC) merupakan Sumber energi yang sedang diselidiki dan diteliti, dimana gas hidrogen dan gas oksigen diubah secara kimia menjadi energi listrik, air dan panas. Salah satu contoh

penerapan hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar yaitu motor listrik atau yang kerap dinamakan Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV).

Sel bahan bakar adalah perangkat konversi energi yang secara terus menerus mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik, selama bahan bakar dan oksidan tersedia (Fan et al, 2021). Berdasarkan metode penelitian yang telah dijelaskan diatas, kita mengetahui bahwa air tidak dapat dijadikan sebagai bahan bakar secara langsung, melainkan kita harus melalui proses elektrolisis air terlebih dahulu. Proses elektrolisis air adalah suatu proses dimana air diuraikan menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) menggunakan arus listrik. Proses ini terjadi dalam sebuah sel elektrolisis, di mana air direaksikan dalam dua elektroda yang terhubung ke sumber listrik. Menurut (Fan et al, 2021) dalam jurnal yang ia kutip dari (Lattin and Utgikar, 2006) menyatakan bahwa hidrogen adalah pembawa energi yang ideal, sangat efisien, terbarukan, bersih, dan berkelanjutan yang dihasilkan melalui elektrolisis air dan pemisahan air termokimia.

Hidrogen dihasilkan dari dua sumber energi utama: sumber tak terbarukan seperti bahan bakar fosil dan sumber daya terbarukan seperti fotovoltaik surya (PV) atau angin. Berdasarkan jenis sumber energinya, hidrogen yang dihasilkan diklasifikasikan ke dalam berbagai corak kode warna. Bahan bakar hidrogen dikenal sebagai sumber energi alternatif dan merupakan upaya untuk mengatasi permasalahan seperti menipisnya bahan bakar fosil seiring dengan tingginya penggunaan bahan bakar fosil. Selain itu, bahan bakar fosil juga merugikan lingkungan karena hasil pembakaran gas berupa karbon oksida, nitrogen, belerang, dan lainnya merupakan salah satu penyebab utama pemanasan global. Oleh karena itu, bahan bakar hidrogen dianggap sebagai bahan bakar dan sumber energi alternatif dan dapat diproduksi dari bahan yang ramah lingkungan karena hidrogen tampaknya memiliki lebih sedikit gas rumah kaca. Sel bahan bakar kini dianggap sebagai sumber energi yang efisien dan tidak menimbulkan polusi dengan efisiensi dan kepadatan energi yang jauh lebih tinggi. Akibatnya, sel bahan bakar dipandang sebagai teknologi yang layak untuk sektor tertentu, seperti transportasi.



Gambar 1. Nikuba sebagai alat pengubah air menjadi bahan bakar kendaraan.

(Sumber : <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20230709154407-579-971285/ sederet-kontroversi-nikuba-yang-disebut-alat-pengubah-air-jadi-bbm>)

Gambar. 1 menunjukkan gambar suatu alat yang dirangkai oleh H. Aryanto Misel yang merupakan pria asal Cirebon. Ia menciptakan nikuba yang berfungsi untuk mengkonversi air menjadi sebuah hidrogen melalui proses elektrolisis air yang nantinya

dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Aryanto bahkan telah mengenalkan alat buaatannya ke Negera pizza, yaitu Italia. Namun, keberadaan Nikuba ini masih menjadi objek perdebatan di tengah kalangan masyarakat. Meskipun kami menemukan artikel yang mengatakan bahwasanya penggunaan nikuba masuk akal, namun kenyataannya masih banyak orang-orang yang meragukan alat ini.

Menurut (Li dan Kimura, 2021) dalam jurnal yang ia kutip dari jurnal yang dibuat oleh (Li dan Kochhan, 2017) menyatakan bahwa dalam menggemparkan sektor transportasi, FCEV bertenaga hidrogen memiliki sejumlah keunggulan penting dibandingkan kendaraan listrik bertenaga baterai. Antara lain, yaitu dapat mengisi bahan bakar dengan cepat dalam beberapa menit dan memiliki mobilitas jarak jauh yang serupa dengan kendaraan berbahan bakar bensin atau solar. Selanjutnya mereka dapat bekerja dengan baik dalam cuaca yang sangat dingin dan sangat panas tanpa kehilangan kapasitas penyimpanan energi atau kapasitas daya; dan dengan masa pakai rata-rata 5.000 jam atau lebih,1 tumpukan sel bahan bakar pada kendaraan tidak akan mengalami penyusutan kapasitas yang parah selama masa pakai kendaraan, sedangkan kendaraan berbasis baterai litium biasanya perlu mengganti baterai setidaknya sekali selama masa pakai kendaraan.

FCEV bertenaga hidrogen mempunyai potensi untuk mendekarbonisasi sektor transportasi dibandingkan dengan teknologi transportasi rendah karbon lainnya. Teknologi hidrogen dan sel bahan bakar bukanlah hal baru di sektor transportasi. Ini memiliki sejarah jangka panjang sejak Sir William Robert Grove menemukan sel bahan bakar hidrogen pertama, diikuti oleh penemuan balon udara hidrogen pertama di dunia oleh Zeppelin pada tahun 1900 (Mohideen et al, 2023). Menurut (Qureshi et al, 2021), Permasalahan saat ini di sektor energi adalah pemenuhan GED tanpa merusak lingkungan untuk seluruh operasi rumah dan industri. Banyak negara telah memutuskan bahwa “Ekonomi Hidrogen” adalah cara paling signifikan untuk memenuhi GED sekaligus mengurangi ketergantungan mereka pada bahan bakar fosil. Permintaan H₂ terus meningkat seiring dengan peningkatan populasi, industrialisasi, dan kebutuhan energi yang terkait. H₂ banyak digunakan dalam berbagai proses, seperti sekitar 51 % H₂ yang dihasilkan digunakan untuk memproduksi amonia, 10 % untuk produksi metanol, sekitar 31 % dari produksi H₂ di kilang minyak dan 8 % untuk keperluan lainnya. Meskipun injeksi langsung hidrogen pada mesin pembakaran internal memiliki keuntungan penting, seperti efisiensi volumetrik yang tinggi, dan kemungkinan adanya serangan balik.

Penyimpanan hidrogen di dalam kendaraan merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi para konstruktor mobil ketika mempopulerkan kendaraan FC (Bui et al, 2021). Peningkatan pembentukan NO_x dari penyalaan awal campuran hidrogen-udara pada beban tinggi adalah beberapa dari beberapa tantangan yang perlu diatasi. Oleh karena itu, pada akhir tahun 2018, Tiongkok menetapkan Spesifikasi Bahan Bakar GB/T 37244-2018 untuk Kendaraan Sel Bahan Bakar Membran Proton Exchange—standar Hidrogen, yang sejalan dengan standar ISO 14687-2:2012 dan SAE J2719-201511, yang mengatur konsentrasi empat belas pengotor: air (H₂O), hidrokarbon total (HC) (oleh metana), oksigen (O₂), helium (He), nitrogen (N₂), argon (Ar), karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), total sulfida (oleh H₂S), formaldehida (HCHO), asam format (HCOOH), amonia (NH₃), total halida (oleh ion halida), dan materi partikulat maksimum. Teknologi PEMFC telah ditingkatkan secara signifikan

KESIMPULAN

Air merupakan unsur yang paling penting dalam kehidupan semua makhluk hidup di alam semesta ini. Sel bahan bakar merupakan suatu alat konversi energi yang berfungsi untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan juga panas. Air tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Namun, ketika air diproses melalui elektrolisis air, yaitu suatu proses dimana air diuraikan menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) menggunakan arus listrik memecahkan air menjadi dua unsur (hidrogen dan oksigen) yang memanfaatkan energi matahari, kita dapat mengolah hidrogen menjadi bahan bakar kendaraan bermotor. Salah satu contohnya yaitu pada kendaraan listrik.

Setiap sesuatu pasti memiliki kelebihan dan kekurangan, begitupun dengan bahan bakar yang dihasilkan dari uap air atau yang kita sebut sebagai hidrogen. Hidrogen merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, sehingga dapat dijadikan sumber energi untuk masa depan. Penggunaan bahan bakar hidrogen yang didapatkan dari proses elektrolisis air lebih baik daripada bahan bakar fosil yang terbentuk dari sisa-sisa organisme. Penggunaan bahan bakar hidrogen juga dapat mengurangi efek rumah kaca. Proses penggunaan hidrogen yang dijadikan bahan bakar, yaitu awalnya hidrogen memasuki ruang bakar mesin melalui sistem injeksi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar sehingga dapat meningkatkan kinerja mesin. Namun, penggunaan bahan bakar hidrogen membutuhkan energi yang lebih banyak dan boros terhadap arus listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, P., dan A. Khoshnevisan. Dynamic simulation and lifecycle assessment of hydrogen fuel cell electric vehicles considering various hydrogen production methods. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 47, Issue 62. Pages 26758-26769. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922028506#preview-section-abstract>.
- Alaswad, A., A. Omran, J. R. Sodre, T. Wilberforce, G. Pignatelli, M. Dassisti, A. Baroutaji, dan A. Gha. 2021. Technical and Commercial Challenges of Proton-Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 14(1) : 144. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/1/144>.
- Aminudin, M.A., S.K. Kamarudin, B.H. Lim, E.H. Majilan, M.S. Masdar, N. Shaari. 2023. An overview: Current progress on hydrogen fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 48, Issue 11, 5 February 2023, Pages 4371-4388. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922048534>.
- Bethoux, O. Hydrogen Fuel Cell Road Vehicles: State of the Art and Perspectives. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 13(21), 5843. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5843>.
- Bui, V.G., T. M.T. Bui, A. T. Hoang, S. Nižetić, R. Sakthivel, V. N. Tran, V. H. Bui, D. Engel, dan H. Hadiyanto. 2021. Energy storage onboard zero-emission two-wheelers: Challenges and technical solutions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* Volume 47. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138821004458>.
- Chatenet, M., B. G Pollet, D. R Dekel, F. Dionigi, J. Deseure, P. Millet, R. D. Braatz, M. Z. Bazant, M. Eikerling, I. Staffell, P. Balcombe, Y. S. Horn, dan H. Schäfer. 2022. Water electrolysis: from textbook knowledge to the latest scientific strategies and industrial developments. *Royal Society of Chemistry*. 51, 4583-4762. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/cs/d0cs01079k>.
- Christianto, V., dan F. Smarandache. 2022. A Short Communication on Progress and Problems of ITER Fusion Project. *Bulletin of Pure and Applied Science Physics*. Vol.41D No.2. P.111-115. <https://philpapers.org/rec/CHRASC>.

- Cunanan, S., M. K. Tran, Y. Lee, S. Kwok, V. Leung., dan M. Fowler. 2021. A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 3(2), 474-489. <https://www.mdpi.com/2571-8797/3/2/28>.
- Dahlgren, S. 2022. Biogas-based fuels as renewable energy in the transport sector: an overview of the potential of using CBG, LBG and other vehicle fuels produced from biogas. *Biofuels*. 13(5) : Pages 587-599 . <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17597269.2020.1821571>.
- Du,Z., C Liu, J Zhai, X Guo, Y Xiong, W Su, G He. 2021. A Review of Hydrogen Purification Technologies for Fuel Cell Vehicles. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 11(3), 393. <https://www.mdpi.com/2073-4344/11/3/393>.
- Fan, L., Z. Teu, dan S. H. Chan. 2021. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. *Energy Reports*. Volume 7, November 2021, Pages 8421-8446. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721006053>.
- Grigoriev, S. S., V. N. Fateev, D.G. Bessarabov, dan P. Millet. 2020. Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 45, Issue 49, 2 October 2020, Pages 26036-26058. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920310715#preview-section-abstract>.
- Han, J., J. Feng, P. Chen, Y. Liu, dan X. Peng. A review of key components of hydrogen recirculation subsystem for fuel cell vehicles. *Energy Conversion and Management: X*. Volume 15, 100265. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174522000885#ab005>.
- Ikhwan, A. W. Purwanto, D. S. Putra1, dan Milana1. 2024. Pengaruh Pengaplikasian Gear Pada Sisi Alternator Turbin Angin Terhadap Tegangan Arus Listrik Yang Dihasilkan Sepeda Motor 4 Langkah. *Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*. E-ISSN:2985-8399 Volume: 02 Nomor: 02. <https://jtpvi.ppj.unp.ac.id/index.php/jtpvi/article/view/168/81>.
- Kastrin, A., dan D. Hristovski. 2021. Scientometric analysis and knowledge mapping of literature-based discovery (1986–2020). *Scientometrics*. Volume 126, pages 1415-1451. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-020-03811-z>.
- Li, Y. dan S. Kimura. 2021. Economic competitiveness and environmental implications of hydrogen energy and fuel cell electric vehicles in ASEAN countries: The current and future scenarios. *Energy Policy* Volume 148, Part B, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421520306911>.
- Liu, F., D. L. Mauzerall, F. Zhao, dan H. Hao. 2021. Deployment of fuel cell vehicles in China: Greenhouse gas emission reductions from converting the heavy-duty truck fleet from diesel and natural gas to hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 46, Issue 34, Pages 17982-17997. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921007916>.
- Mohideen, M.M., B. Subramanian, J. Sun, J. Ge, H. Guo, A.V. Radhamani, S. Ramakrishna, dan Y. Liu. 2023. Techno-economic analysis of different shades of renewable and non-renewable energy-based hydrogen for fuel cell electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 174. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032123000096>.
- Ogungbemi, B., T. Wilberforce, O. Ijaodola, J. Thompson, dan A.G. Olabi. 2021. Selection of proton exchange membrane fuel cell for transportation. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 46, Issue 59, 26 August 2021, Pages 30625-30640. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920323028>.
- Olabi, A.G., T. Wilberforce, dan M. A. Abdelkareem. Fuel cell application in the automotive industry and future perspective. *ELSEVIER Energy* Volume 214. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220320624>.
- Petrucci, O. 2022. Review article: Factors leading to the occurrence of flood fatalities: a systematic review of research papers published between 2010 and 2020. *Natural Hazards and Earth*

- System Sciences. Volume 22, issue 1. NHESS, 22, 71–83. <https://nhess.copernicus.org/articles/22/71/2022/>.
- Qureshi, F. A. M. Yusuf, H. Kamyab, S. Zaidi, M. J. Khalil, M. A. Khan, M. A. Alam, F. Masood, L. Bazli, S. Chelliapan, dan B. Abdullah, 2022. Current trends in hydrogen production, storage and applications in India: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Volume 53, Part C. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822007263>.
- Qureshi, F., M. Yusuf, M. A. Khan, H. Ibrahim, B. C. Ekeoma, H. Kamyab, M. M. Rahman, A. K. Nadda, S. Chelliapan. 2023. A State-of-The-Art Review on the Latest trends in Hydrogen production, storage, and transportation techniques. *The Science and Technology of Fuel and Energy*. Volume 340. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236123001874>.
- Rebelo, A., M. Quadrado, A. Franco, N. Lacasta, P. Machado. 2020. Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*. Volume 1, Pages 41-53. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666445320300076#abs0015>.
- Rood, S., S. Eslava, A. Manigrasso, dan C. Bannister. 2020. Recent advances in gasoline three-way catalyst formulation: A review. *Journal of Automobile Engineering*. Volume 234, Issue 4. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0954407019859822>.
- Salek, F., M. Babaie, S. V. Hosseini, O. A. Beg. 2021. Multi-objective optimization of the engine performance and emissions for a hydrogen/gasoline dual-fuel engine equipped with the port water injection system. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 46, Issue 17, Pages 10535-10547. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920347534>.
- Sazali, N., W. N. W. Salleh, A. S. Jamaluddin, dan M.N. M. Razali. 2020. New Perspectives on Fuel Cell Technology: A Brief Review. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 10 (5) : 99. <https://www.mdpi.com/2077-0375/10/5/99>.
- Shadidi, B., G. Najafi, dan T. Yusaf. 2021. A Review of Hydrogen as a Fuel in Internal Combustion Engines. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 14(19), 6209. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6209>.
- Sharma, S., S. Agarwal, dan A. Jain. 2021. Significance of Hydrogen as Economic and Environmentally Friendly Fuel. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 14(21), 7389. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7389>.
- Shusheng, X., S. Qiujie, G. Baosheng, Z. Encong, dan W. Zhankuan. 2020. Research and development of on-board hydrogen-producing fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 45, Issue 35, 10 July 2020, Pages 17844-17857. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920316475>.
- Simoes, S.G., J. C. A. Picado, T.F. Lopes, S. di Bernardino, F. Amorim, F.C. Gírio, C.M. Rangel, dan T. P. de Leão. Water availability and water usage solutions for electrolysis in hydrogen production. *Journal of Cleaner Production*. Volume 315. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621023428#preview-section-abstract>.
- Vidas, L., R. Castro. 2021. Recent Developments on Hydrogen Production Technologies: State-of-the-Art Review with a Focus on Green-Electrolysis. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 11(23), 11363. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/23/11363>.
- Vigneswaran, R., D. Balasubramanian, dan B.D. Sabari Sastha. 2021. Performance, emission and combustion characteristics of unmodified diesel engine with titanium dioxide (TiO₂) nano particle along with water-in-diesel emulsion fuel. *Fuel*. Volume 285, 1. 119115. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236120321116#preview-section-abstract>.
- Wang, X. R., Y. Ma, J. Gao, T. Li, G. Z. Jiang, Z. Y. Sun. 2021. Review on water management methods for proton exchange membrane fuel cells. [Author links open overlay panel](#).

- International Journal of Hydrogen MEnergy. Volume 46, Issue 22, Pages 12206-12229.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036031992032396X>.
- Yang, Z., B. Wang, K. Jiao. 2020. Life cycle assessment of fuel cell, electric and internal combustion engine vehicles under different fuel scenarios and driving mileages in China. Energy. Volume 198.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220304722#preview-section-snippets>.
- Zikri, A., Derisman, Muslim, W. Purwanto, A. I. Imran. 2022. Study on the production of hydrogen gas from water electrolysis on motorcycle engine. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology. Vol 13, No 1 : 88-94.
<https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20230709154407-579-971285/sederet-kontroversi-nikuba-yang-disebut-alat-pengubah-air-jadi-bbm>).