

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Manusia telah lama menggunakan biomassa sebagai sumber energi sebelum mengenal bahan bakar fosil. Pergeseran penggunaan biomassa sebagai sumber energi beralih menggunakan minyak, gas bumi dan batu bara untuk menghasilkan energi. Namun, penggunaan energi fosil untuk tenaga saat ini sudah mulai berkurang khususnya minyak bumi semenjak krisis energi yang pernah mencapai puncaknya pada tahun 1970-an. Hal ini, dunia telah menghadapi kenyataan bahwa persediaan minyak bumi sebagai energi telah berkurang dengan rentannya pasokan minyak bumi di pasar global [1]. Energi dunia akan terancam dengan semakin sulit untuk menemukan sumber energi dari fosil namun tidak diimbangi dengan adanya solusi baru untuk penemuan energi baru sebagai pengganti. Eksplorasi yang telah dilakukan, konsumsi dalam jumlah besar serta pertambahan penduduk yang tinggi di masa depan, akan membuat persediaan energi fosil khususnya minyak bumi tidak dapat mengimbangi permintaan terhadap kebutuhan energi. Para ahli berpendapat, dengan pola konsumsi seperti sekarang diperkirakan energi fosil akan segera habis. Minyak bumi habis 30 tahun lagi pada tahun 2052, gas bumi habis 40 tahun lagi pada tahun 2060 dan batubara habis 70 tahun lagi pada tahun 2090 [2]. Kondisi ini menegaskan perlunya transisi menuju sumber energi alternatif yang berkelanjutan untuk menjamin keamanan energi dimasa depan.

Penurunan ketersediaan energi fosil sejalan dengan peningkatan permintaan dan kebutuhan masyarakat akan bahan bakar setiap harinya. Di Indonesia, penggunaan bahan bakar fosil masih mendominasi sebagai sumber energi utama meskipun ada upaya global untuk beralih ke energi terbarukan. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) mencatat bahwa penggunaan energi terbarukan di Indonesia pada tahun 2023 tidak mencapai target sebesar 17,87%[3]. Penggunaan energi terbarukan hanya mencapai di angka 13,09. Dari data tersebut maka diperlukan energi alternatif yang bersifat *renewable* untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap energi fosil. Selain keterbatasan pasokan, penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan dampak lingkungan yang serius, termasuk emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global[4]. Untuk mengatasi krisis energi masa depan perlu beberapa alternatif sumber energi dikembangkan dimana salah satunya adalah energi biomassa. Biomassa di Indonesia yang dapat digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah an berpotensi diolah menjadi berbagai produk bernilai tambah, baik dalam bentuk cair, padat, maupun gas. Produk tersebut antara lain etanol, biodiesel, minyak

nabati, biogas, pengganti gas alam, dan arang, yang dapat digunakan untuk kebutuhan industri, pembangkitan listrik, hingga bahan bakar transportasi[5]. Biomassa memiliki potensi untuk diolah menjadi berbagai produk bernilai tambah yang manfaatnya dapat dirasakan baik secara langsung maupun tidak langsung. Produk yang dihasilkan sangat beragam, mencakup bentuk cair, padat, hingga gas. Biomassa dapat diolah menjadi etanol, biodiesel, minyak nabati, biogas, pengganti gas alam, serta arang. Berdasarkan jenis bahan tersebut, produk akhir biomassa meliputi:

- a. Bahan kimia, yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan transportasi, pangan, tekstil, dan lain-lain.
- b. Energi dan listrik, yang digunakan sebagai sumber energi panas maupun pembangkit listrik.
- c. Bahan bakar transportasi, yang berfungsi sebagai alternatif pengganti bahan bakar berbasis minyak bumi dan gas alam, seperti biodiesel.

Pemanfaatan biomassa sebagai bagian dari transisi energi memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan sumber energi berbasis fosil. Salah satu kelebihanannya adalah ketersediaannya yang tidak akan habis meskipun terus digunakan. Selain itu, biomassa dianggap lebih ramah lingkungan karena dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada pemanasan global, sehingga disebut sebagai sumber energi yang bersifat karbon-netral[6]. Dari sisi ekonomi, biomassa juga memberikan manfaat dengan mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil. Sebaliknya, penggunaan bahan bakar fosil dianggap sebagai penyebab utama pemanasan global akibat efek rumah kaca, serta persediaannya yang semakin menipis membuatnya kurang efisien secara ekonomi karena meningkatkan kebutuhan dan biaya impor bahan bakar fosil.

Proses Gasifikasi mengubah bahan baku berbasis karbon menjadi syngas, dengan menggunakan udara, uap air, atau oksigen. Uap air dalam proses ini memfasilitasi reaksi pergeseran air-gas yang mengubah karbon monoksida dan hidrogen[7]. Dengan menerapkan teknik gasifikasi, beragam bahan mentah dan limbah, seperti batu bara, ban mobil, lumpur limbah, serbuk gergaji, kayu, arang tempurung kelapa dan sampah plastik, dapat diubah dengan mudah dan efektif menjadi output yang berguna. Pada tahap akhir proses gasifikasi, gas produk tersebut dapat mengandung berbagai komponen, termasuk CO, H₂, CH₄, ash, tar. Oleh karena itu, gas produk tersebut perlu dimurnikan dari kontaminan, partikel, dan zat-zat lain yang dapat menurunkan nilai kalorinya dengan menerapkan berbagai proses pembersihan gas. Selanjutnya, gas seperti CO, H₂, dan CH₄, dipisahkan sesuai kebutuhan. Kelebihan dari proses gasifikasi biomassa ini adalah dapat memanfaatkan biomassa seperti limbah hasil

pengolahan perkebunan atau pertanian untuk dikonversi menjadi syngas.

Biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah dipergunakan yang dikenal sebagai konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan.

Melihat keberadaan potensi limbah yang belum dimanfaatkan, maka muncul pemikiran untuk menggunakan bahan tersebut menjadi bahan bakar yang merupakan salah satu energi alternatif yang bersifat *renewable* melalui proses Gasifikasi mengubah bahan baku berbasis karbon menjadi syngas, dengan menggunakan uap air, atau oksigen[8]. Dengan menerapkan teknik gasifikasi, arang tempurung kelapa dapat diubah dengan mudah dan efektif menjadi output yang berguna. Pada tahap akhir proses gasifikasi, gas produk tersebut dapat mengandung berbagai komponen, termasuk CO, H₂, CH₄, ash, tar. Oleh karena itu, gas produk tersebut perlu dimurnikan dari kontaminan, partikel, dan zat-zat lain yang dapat menurunkan nilai kalorinya dengan menerapkan berbagai proses pembersihan gas. Selanjutnya, gas seperti CO, H₂, dan CH₄, dipisahkan sesuai kebutuhan. Kelebihan dari proses gasifikasi biomassa ini adalah dapat memanfaatkan biomassa seperti limbah hasil pengolahan perkebunan atau pertanian untuk dikonversi menjadi syngas.

Syngas berbahaya bagi lingkungan karena komposisinya dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca serta mengganggu proses fotosintesis tanaman. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang mampu memisahkan hidrogen dari campuran gas tersebut dan meningkatkan kadar hidrogen. Peningkatan kadar hidrogen dalam syngas dapat dicapai melalui penggunaan biomassa dengan kandungan karbon yang tinggi serta penambahan uap air dalam proses gasifikasi. Uap air berperan penting dalam memfasilitasi reaksi *water-gas shift* (WGSR), di mana karbon monoksida (CO) bereaksi dengan uap air (H₂O) untuk membentuk karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen (H₂). Reaksi ini bersifat eksotermik dan efektivitasnya meningkat pada suhu rendah karena kesetimbangan kimia bergeser sesuai prinsip Le Chatelier [9][10]. WGSR merupakan salah satu metode industri utama untuk produksi hidrogen, yang digunakan secara luas pada industri amonia dan metanol[11].

Hidrogen yang dihasilkan memiliki keunggulan sebagai sumber energi bersih. Gas ini tidak ditemukan secara bebas di alam dan memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Hidrogen dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar bersih, salah satunya melalui teknologi *fuel cell* untuk pembangkitan listrik, sehingga memberikan solusi energi berkelanjutan dengan emisi minimal[12].

Berbagai metode dapat digunakan untuk menghasilkan hidrogen, seperti elektrolisis air,

steam reforming dari hidrokarbon, dan gasifikasi biomassa. Dalam penelitian ini, fokus diarahkan pada produksi hidrogen melalui gasifikasi biomassa, khususnya arang tempurung kelapa. Gasifikasi merupakan proses konversi termokimia yang melibatkan pembakaran parsial biomassa dengan agen gasifikasi seperti udara, CO₂, atau uap air [13]. Penelitian menunjukkan bahwa gasifikasi tempurung kelapa dapat menghasilkan fraksi mol hidrogen yang relatif tinggi, yakni sekitar 18,85 vol.% [14], bahkan dapat mencapai 36,14 mol% pada kondisi termodinamika tertentu [15].

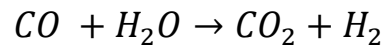
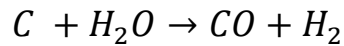
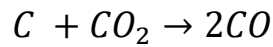
Hidrogen menghasilkan energi bersih yang tidak terdapat secara bebas di alam. Sebagai elemen paling ringan, hidrogen memiliki karakteristik seperti gas yang tidak berasa, tidak berbau, serta tidak berwarna. Hidrogen adalah bahan bakar bersih yang dapat diaplikasikan dalam *Fuel Cell* untuk pembangkit listrik. Tidak hanya itu, penggunaan hidrogen yang dapat menghasilkan energi listrik dianggap menjadi kemajuan dalam sistem energi. Hidrogen biasanya diperoleh dari proses elektrolisis air, steam reforming senyawa hidrokarbon, konversi termokimia, dan gasifikasi. Fokus penelitian ini yaitu produksi hidrogen yang memanfaatkan sumber energi terbarukan, termasuk biomassa, untuk mengurangi dampak lingkungan.

Untuk mengubah arang tempurung kelapa menjadi hidrogen menjadi sumber energi dapat digunakan metode gasifikasi. Proses yang berlangsung melalui beberapa tahapan pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi.

Pengeringan: Pada tahap ini, arang tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan baku akan dikeringkan untuk mengurangi kadar airnya di bawah 25%. Pengeringan penting untuk meningkatkan efisiensi gasifikasi, karena kadar air yang tinggi dapat mengganggu proses pembakaran dan menghasilkan gas yang berkualitas rendah.

- a. Pirolisis: Setelah pengeringan, arang tempurung kelapa dipanaskan dalam kondisi tanpa oksigen. Proses ini memecah senyawa organik dalam arang tempurung kelapa menjadi gas, uap, dan tar. Pirolisis menghasilkan produk awal yang penting untuk tahap selanjutnya, yaitu gas sintetis (syngas) yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄). Pada tahap ini, biomassa diubah menjadi arang, gas, dan tar. Pirolisis menghasilkan produk gas seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄), serta tar dan arang sebagai produk padat.
- b. Oksidasi: Pada tahap ini, arang yang tersisa dibakar dengan pasokan oksigen terbatas pada suhu tinggi. Oksidasi ini bersifat eksotermik dan memberikan energi yang diperlukan untuk mendukung reaksi berikutnya. Gas hasil dari proses oksidasi akan

berinteraksi dengan uap air dan karbon dioksida untuk menghasilkan syngas. Reaksi oksidasi sebagai berikut:



Ketika karbon (C) bereaksi dengan karbon dioksida (CO₂) untuk menghasilkan karbon monoksida (CO) yang berguna untuk membantu meningkatkan kandungan karbon monoksida dalam syngas yang sangat penting untuk pembakaran. Lalu Karbon bereaksi dengan uap air (H₂O) membentuk karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) yang biasanya terjadi di suhu 800-1000 derajat celcius, disini hidrogen yang dihasilkan adalah salah satu komponen syngas yang dibutuhkan. Karbon monoksida (CO) bereaksi dengan uap air (H₂O) menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen (H₂) yang berguna untuk meningkatkan produksi hidrogen.

- c. Reduksi: Dalam tahap ini, syngas terbentuk melalui reaksi antara arang dan uap air pada suhu tinggi. Proses reduksi ini menghasilkan gas-gas mudah terbakar seperti CO dan H₂, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik atau sebagai bahan bakar kendaraan . Hasil dari proses reduksi adalah syngas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik atau sebagai bahan baku dalam produksi bahan kimia.

Kelebihan gasifikasi arang tempurung kelapa adalah dapat mengubah arang tempurung kelapa menjadi energi dengan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan metode pembakaran langsung, ramah lingkungan: Proses ini menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran konvensional karena meminimalkan jumlah material padat dan gas berbahaya, syngas yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi energi, termasuk pembangkit listrik dan pemanas rumah.

Dengan demikian, proses gasifikasi pada arang tempurung kelapa tidak hanya menawarkan solusi efisien dalam memanfaatkan sumber daya biomassa tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon dan pengembangan energi terbarukan

1.2 Analisis Umum

Pada bagian ini, dilakukan analisis terkait masalah produksi syngas melalui proses gasifikasi biomassa, dengan fokus khusus pada penggunaan arang tempurung kelapa sebagai bahan baku utama. Beberapa aspek dianalisa secara mendalam untuk memahami tantangan teknis, ekonomi, serta keberlanjutan dari proyek ini.

1.2.1 Aspek Teknis

Secara teknis, gasifikasi arang tempurung kelapa untuk menghasilkan syngas adalah teknologi yang sudah terbukti mampu menghasilkan gas yang kaya akan hidrogen, karbon monoksida, dan metana. Proses gasifikasi memanfaatkan reaksi kimia pada suhu tinggi dengan kehadiran agen gasifikasi seperti udara atau uap air, di mana arang tempurung kelapa diubah menjadi syngas. Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi efisiensi produksi syngas, termasuk rasio kesetaraan (*equivalence ratio*), suhu gasifikasi, dan jenis biomassa yang digunakan. Arang tempurung kelapa menghasilkan kadar hidrogen yang lebih tinggi dalam syngas dibandingkan biomassa lain seperti limbah pertanian atau hutan[16]. Penggunaan uap air dalam proses gasifikasi juga meningkatkan reaksi water-gas shift, di mana karbon monoksida diubah menjadi karbon dioksida dan hidrogen.

Namun, salah satu tantangan teknis utama adalah pengelolaan tar atau kondensat yang terbentuk selama gasifikasi, yang dapat merusak peralatan dan menurunkan nilai kalor syngas jika tidak dibersihkan dengan baik. Oleh karena itu, teknik penghilangan tar menjadi penting dalam memastikan kualitas syngas yang diproduksi. Parameter seperti suhu operasi, agen gasifikasi, dan jenis reaktor sangat mempengaruhi kualitas syngas yang dihasilkan [17].

1.2.2 Aspek Ekonomi

Dari aspek ekonomi, biaya operasi dalam produksi syngas dari arang tempurung kelapa sangat dipengaruhi oleh harga bahan baku, efisiensi konversi gasifikasi, dan biaya perawatan reaktor. Penggunaan arang tempurung kelapa sebagai bahan baku gasifikasi cenderung lebih ekonomis dibandingkan biomassa basah seperti limbah pertanian, karena kandungan energi yang lebih tinggi dan pengurangan kebutuhan pengeringan bahan baku[18]. Namun, biaya investasi awal untuk pembangunan reaktor gasifikasi yang efisien cukup tinggi, terutama jika menggunakan teknologi yang lebih maju seperti reaktor *downdraft* atau *fluidized bed*.

Tantangan lainnya dalam aspek ekonomi adalah fluktuasi harga arang tempurung kelapa, terutama di daerah pedesaan. Pasokan arang tempurung kelapa yang stabil penting untuk menjamin kontinuitas produksi syngas. Untuk mengatasi ketidakpastian pasokan ini, pengelolaan rantai pasokan bahan baku dan optimasi logistik menjadi penting dalam meminimalkan biaya [19].

1.2.3 Aspek Keberlanjutan

Aspek keberlanjutan dalam produksi syngas dari arang tempurung kelapa menyoroti isu lingkungan dan ketersediaan bahan baku. Proses gasifikasi arang tempurung kelapa menghasilkan emisi gas buang yang relatif lebih rendah dibandingkan pembakaran langsung bahan bakar fosil, menjadikannya opsi yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, keberlanjutan bahan baku dapat dikelola dengan memanfaatkan limbah dari industri kehutanan, limbah pertanian seperti sisa kelapa sawit, serta limbah kayu rumah tangga yang tidak terpakai.

Dengan memanfaatkan arang tempurung kelapa, produksi syngas tak lagi bergantung pada penebangan pohon, sehingga meminimalkan deforestasi dan kerusakan ekosistem. Sebagai tambahan, arang tempurung kelapa dapat dibuat dalam bentuk briket dari bahan-bahan seperti jerami atau limbah organik lainnya. Briket ini memiliki karakteristik yang mirip dengan tempurung kelapa. Tetapi lebih praktis karena diproses dan dipadatkan untuk kemudahan penggunaan. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keberlanjutan tetapi juga memperluas cakupan bahan baku yang dapat digunakan untuk produksi syngas.

1.3 Solusi Produksi Hidrogen

1.3.1 Produksi Gas Hidrogen dari Biomassa Jerami Padi Menggunakan Metode *Biomass Electrolysis* untuk menghasilkan Hidrogen *Fuel Cell* Ramah Lingkungan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan tentang produksi hidrogen menggunakan jerami padi melalui metode elektrolisis biomassa yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh massa jerami padi terhadap waktu reaksi dan arus yang dihasilkan selama proses elektrolisis untuk memproduksi hidrogen yang lebih ramah lingkungan dan efisien[20].

Produksi hidrogen dari jerami padi memiliki beberapa keunggulan, terutama dalam hal keberlanjutan dan aspek ramah lingkungan. Sebagai limbah pertanian yang melimpah di Indonesia, jerami padi memiliki potensi besar sebagai sumber biomassa. Selain itu

metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan beberapa tahap seperti persiapan sampel, proses penguraian biomassa melalui refluks, pengukuran densitas daya dan elektrolisis untuk memproduksi hidrogen. Pada penelitian ini juga memiliki beberapa kelemahan, seperti proses elektrolisis biomassa yang memerlukan waktu cukup lama agar dapat menghasilkan hidrogen, terutama tergantung pada perbandingan campuran air dan biomassa. Pada proses produksi hidrogen yang menggunakan jerami padi memerlukan waktu dengan kisaran dua puluh lima menit untuk mencapai volume gas yang signifikan. Dalam beberapa kasus, proses berlangsung bahkan lebih dari satu jam.

1.3.2 Produksi Hidrogen dari Campuran Air dan Minyak Kelapa Murni (VCO) Melalui Proses Media Tembaga Menggunakan Prinsip *Hydrogen Reformer*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana variasi perbandingan air dan VCO yang akan mempengaruhi produktivitas hidrogen dengan menggunakan metode prinsip *Hydrogen Reformer*, yaitu pembentukan hidrogen melalui reaksi antara reaktan (air dan minyak kelapa murni) dengan katalis tembaga, yang dipanaskan pada suhu 310 °C. Secara keseluruhan, metode produksi hidrogen yang mencampur air dengan minyak kelapa menggunakan katalis berpori menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai alternatif produksi hidrogen. Meskipun metode ini memerlukan energi dan suhu yang tinggi, penggunaan bahan baku yang terbarukan seperti air dan minyak kelapa menjadikan pilihan yang lebih berkelanjutan. Pengaruh rasio campuran terhadap produktivitas hidrogen sangat signifikan dengan rasio 1:5 menghasilkan hidrogen paling banyak.

Air dan minyak kelapa yang menjadi bahan baku utama pada penelitian ini dapat ditemukan dimana saja. Selain itu, penggunaan tembaga sebagai katalis menunjukkan efisiensi yang baik dalam mereaksikan campuran air dan minyak kelapa untuk menghasilkan hidrogen, dengan kemampuan meningkatkan laju produksi hidrogen seiring dengan peningkatan jumlah minyak kelapa dalam campuran. Produksi hidrogen sangat dipengaruhi oleh porositas yang digunakan. Katalis dengan porositas lebih rendah akan menghasilkan volume hidrogen yang lebih tinggi, namun memerlukan energi dan waktu yang lebih lama untuk pemanasan.

1.3.3 Inovasi Produksi Hidrogen Dari Limbah Kayu Menggunakan Metode Gasifikasi Dengan Kapasitas 3,300 Ton/Tahun.

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat, cair, atau gas menjadi gas yang lebih sederhana dan berguna, terutama gas sintetis (syngas) yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan karbon dioksida (CO₂). Proses ini biasanya dilakukan dengan cara pemanasan bahan bakar dalam kondisi terbatas oksigen atau udara, yang memungkinkan reaksi kimia tertentu berlangsung tanpa pembakaran sempurna. Inovasi dengan menggunakan limbah kelapa sebagai bahan baku produksi hidrogen memiliki beberapa keunggulan. Penggunaan biomassa seperti serbuk gergaji sebagai bahan baku yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Gasifikasi menawarkan efisiensi tinggi dalam konversi bahan baku menjadi energi, dengan emisi yang lebih rendah dibandingkan pembakaran langsung atau metode konversi lain. Proses gasifikasi mampu mengubah limbah organik menjadi syngas yang memiliki hidrogen tinggi dengan tingkat efisiensi signifikan.

Namun proses gasifikasi membutuhkan teknologi yang kompleks seperti reaktor gasifikasi tipe *downdraft* yang membutuhkan kontrol suhu dan tekanan yang ketat. Selain itu, untuk mencapai hasil yang optimal, kadar air dalam limbah kelapa harus dikurangi terlebih dahulu melalui proses pengeringan, yang menambah biaya dan waktu dalam produksi. Keakuratan dalam memproduksi hidrogen dengan metode gasifikasi dipengaruhi oleh suhu dan tekanan. Menggunakan katalis tembaga, reaksi dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan gas hidrogen dengan kandungan tinggi. Dari setiap kilogram tempurung kelapa yang digunakan, sekitar 10,5% massa diubah menjadi hidrogen. Penelitian ini menunjukkan bahwa gasifikasi limbah kelapa merupakan metode yang efektif dalam menghasilkan hidrogen dengan memanfaatkan kayu sebagai bahan utamanya.

1.4 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Pada dokumen ini terdapat beberapa inovasi untuk sistem gasifikasi biomassa. Yang pertama yaitu produksi hidrogen dari biomassa jerami padi, metode ini menggunakan bahan baku utamanya yaitu jerami padi. Jerami padi sendiri merupakan limbah pertanian yang banyak ditemukan di Indonesia. Proses dari metode ini yaitu persiapan sampel, penguraian biomassa melalui refluks dan terakhir proses elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen. Terdapat beberapa keunggulan dan kelemahan dari proses ini. Untuk keunggulannya yaitu ramah lingkungan dan memanfaatkan limbah pertanian yang mudah didapatkan sedangkan untuk

kelemahannya yaitu membutuhkan proses yang cukup lama sekitar 25 menit hingga 1 jam dan efisiensi dari metode ini bergantung pada perbandingan dari campuran air dan biomasanya.

Yang kedua yaitu Produksi hidrogen dari campuran air dan minyak kelapa murni (VCO). Pada metode ini menggunakan prinsip kerja hydrogen reformer yang dimana campuran air dan minyak kelapa murni (VCO) akan direaksikan menggunakan katalis tembaga pada rentang suhu tinggi sekitar 310 derajat celcius. Keunggulan dari metode ini yaitu menggunakan bahan baku terbarukan (air dan VCO) dan metode ini lebih berkelanjutan daripada bahan bakar fosil. Sedangkan untuk kelemahannya membutuhkan energi yang tinggi dan suhu yang besar dan juga pada penggunaan katalis memerlukan waktu dan energi yang lebih banyak.

Terakhir yaitu Produksi hidrogen dari limbah kayu, metode tersebut memanfaatkan limbah kayu seperti serbuk gergaji sebagai bahan utama untuk menghasilkan hidrogen. Keunggulannya sendiri yaitu memiliki efisiensi yang tinggi dalam konversi bahan baku menjadi sumber energi, emisinya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode dengan pembakaran secara langsung dan setiap kilogram kayu dapat menghasilkan sekitar 10,5% hidrogen. Untuk kelemahannya sendiri yaitu membutuhkan teknologi yang kompleks seperti reaktor gasifikasi tipe downdraft dan pada proses pengeringan limbah kayu dapat menambah biaya dan waktu produksi.

Dari ketiga inovasi yang didapatkan bahwa masing-masing dari inovasi menunjukkan potensi yang besar dalam produksi hidrogen yang ramah lingkungan dengan cara fokus pada pemanfaatan sumber daya terbarukan. Akan tetapi pada masing-masing inovasi memiliki tantangan yang perlu diatasi untuk meningkatkan efisiensinya.