

Kajian Penciptaan “Green Jobs” melalui Pengelolaan Limbah Biomassa Menjadi Arang dan Asap Cair dengan Teknik Pirolisis

Study on Creation of "Green Jobs" through Management of Biomass Waste into Charcoal and Liquid Smoke with Pyrolysis Techniques

Imas Aisyah

Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi (BBPPMPV) Pertanian
ims.aisyah0607@gmail.com

Naskah diterima tanggal 16/01/2023, direvisi akhir tanggal 28/02/2023, disetujui tanggal 15 Mei 2023

Abstrak

Teknik pirolisis merupakan salah satu teknik konversi yang bisa direkomendasikan untuk mengolah limbah biomassa. Teknik ini juga merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah biomas yang dipandang cukup prospektif untuk dikembangkan. Teknik pirolisis adalah teknik pengelolaan terpadu, dimana dalam satu alat pirolisis yang sama akan dihasilkan beberapa macam produk yaitu arang, asap cair, tar, dan gas-gas yang tidak terkondensasi yang semuanya memiliki multimanfaat dan dapat digunakan untuk mengatasi berbagai permasalahan di segala bidang. Pengelolaan limbah dengan teknik pirolisis termasuk kedalam salah satu aktivitas “Green Jobs” atau pekerjaan yang layak dan memiliki kontribusi melestarikan atau memulihkan lingkungan, dapat membantu meningkatkan efisiensi energi, membatasi emisi gas rumah kaca, meminimalkan limbah dan polusi, melindungi serta memulihkan ekosistem serta mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim, juga mnstimulasi perekonomian hijau, sehingga aktivitas ini perlu di support oleh masyarakat lokal, pemerintah daerah/setempat dan pemerintah pusat.

Kata Kunci: biomassa, green jobs, pirolisis

Abstract

Pyrolysis technique is a conversion technique that can be recommended for processing biomass waste. This technique is also an alternative for biomass waste processing which is considered quite prospective to be developed. The pyrolysis technique is an integrated management technique, wherein the same pyrolysis device will produce several kinds of products, namely charcoal, liquid smoke, tar, and non-condensable gases which all have multiple benefits and can be used to overcome various problems in all fields. Waste management with pyrolysis techniques is included in one of the "Green Jobs" activities or decent work and has a contribution to preserving or restoring the environment, can help increase energy efficiency, limit greenhouse gas emissions, minimize waste and pollution, protect and restore ecosystems and support adaptation to climate change, as well as stimulating a green economy, so that this activity needs to be supported by the local community, regional/local government and the central government.

Keywords: biomass, green jobs, pyrolysis

How to cite (APA Style) : Aisyah, I., (2023). Kajian Penciptaan “Green Jobs” melalui Pengelolaan Limbah Biomassa Menjadi Arang dan Asap Cair dengan Teknik Pirolisis. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 23 (1), 83-91. doi: <https://doi.org/10.17509/jpp.v23i1.56991>

PENDAHULUAN

Pemanasan Global kembali menjadi topik penting dalam laporan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada Minggu (22/9/2019). Laporan tersebut menunjukkan bahwa 2019 merupakan tahun yang mengalami suhu terpanas sejak 2015. Hal tersebut menjadi pengingat dunia untuk menjaga bumi dari perubahan iklim. Akibat hal tersebut, PBB mengeluarkan sebuah peringatan kepada penduduk bumi bahwa manusia hanya memiliki kurang dari 10 tahun untuk mitigasi bencana terbesar akibat pemanasan global saat ini dan para anggota PBB akan mendorong negara-negara untuk meningkatkan target pengurangan gas rumah kaca. Jika tidak segera diperbaiki, hal tersebut akan lebih buruk karena dampak perubahan

iklim yang sudah mulai dirasakan oleh beberapa negara dan berdampak langsung pada kegiatan sosial dan ekonomi di berbagai sektor di dunia (Devi, 2019).

Kita kerap terjebak dalam paradigma sesat bahwa perubahan iklim merupakan efek global, sehingga hanya mereka yang punya kekuatan besar bisa menghentikan dan mengatasi dampaknya. Siapa itu? Jawabannya bisa saja pemerintah, bahkan ada yang bilang PBB harus duluan maju dan mengambil tindakan. Akibatnya apa? Kita mengalami difusi tanggung jawab. Kita cenderung lengah, tidak bertindak apa-apa jika dampak negatifnya terlihat di depan mata. Contoh sederhana, sewaktu jalan-jalan ke taman kota, kita lihat ada sampah bungkus plastik, kemudian kita cuek aja karena berpikir nanti pasti ada petugas kebersihan atau tukang sampah yang memungutnya. Setiap orang berasumsi tak perlu melakukan apa-apa karena pasti ada orang lain atau pihak yang bergerak dan bertindak. Sikap inilah yang akhirnya mengantar kita hidup dalam kondisi lingkungan semakin rusak seperti sekarang ini. Bumi adalah korban perubahan iklim yang gagal kita selamatkan secara kolektif. Bumi juga korban utama yang gagal kita bantu secara individu.

Pembangunan yang lebih luas dan tidak berkelanjutan memberikan ancaman terhadap penurunan mutu lingkungan dan berkurangnya sumber daya alam. Di masa mendatang, persoalan ini dapat menjadi lebih buruk akibat dampak dari perubahan iklim yang sudah mulai dirasakan. Dalam jangka menengah dan panjang, dampak ini dapat menimbulkan gangguan yang lebih serius terhadap kegiatan sosial ekonomi berbagai sektor di dunia.

Salah satu upaya untuk menciptakan perekonomian rendah karbon dan berkelanjutan adalah dengan memperbanyak “*Green Jobs*”. Untuk itu pada tahun 2007 ILO (*International Labour Organization*), Program Lingkungan PBB (*United Nations Environment Programme*, UNEP), dan Konfederasi Serikat Pekerja Internasional (*International Trade Union Confederation*) mendorong pemerintah, pengusaha dan pekerja berperan aktif dalam menciptakan perekonomian yang hijau melalui “*Green Jobs*”. Berdasarkan definisi dari ILO, *Green Jobs* adalah aktivitas atau pekerjaan yang layak dan memiliki kontribusi melestarikan atau memulihkan lingkungan. Lebih jauh ILO juga menyebutkan bahwa “*Green Jobs*” akan membantu meningkatkan efisiensi energi, membatasi emisi gas rumah kaca, meminimalkan limbah dan polusi, melindungi serta memulihkan ekosistem serta mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim (Anonim, 2019a; Anonim 2023).

Melihat peluang dan arah pembangunan maupun industri yang berupaya mengurangi emisi gas rumah kaca, menciptakan perekonomian hijau, menstimulus pekerjaan ramah lingkungan, melindungi serta memulihkan lingkungan serta mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim, pengelolaan limbah kayu (biomassa) menjadi produk bermanfaat seperti arang dan asap cair merupakan salah satu “*Green Jobs*” yang dapat menjadi pilihan pekerjaan ramah lingkungan dan perekonomian hijau yang layak untuk dilakukan dan berkelanjutan untuk saat ini dan di masa depan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk pengambilan data dalam pengembaraan ini ialah Studi Literatur. Studi Literatur ialah studi yang dilakukan dengan cara menelaah, menggali, dan mengkaji konsep dan formulasi yang mendukung dalam kajian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Limbah Biomassa di Indonesia

Potensi energi biomassa Indonesia, secara teori diperkirakan mencapai sekitar 49.810 MW. Angka ini diasumsikan dengan dasar kadar energi dari produksi tahunan sekitar 200 juta ton biomassa dari residu pertanian, kehutanan, perkebunan dan limbah padat perkotaan (KESDM 2008) dalam (Pranoto *et al.* 2013). Berdasarkan peta distribusi potensi energi limbah biomassa di Indonesia, potensi limbah biomassa terbesar ada di Pulau Jawa, Sumatera,

dan Kalimantan. Dari sektor Perkebunan, Limbah kelapa sawit banyak dijumpai dipulau Sumatera dan Kalimantan wilayah barat dan selatan. Sedangkan limbah kelapa lebih merata diseluruh wilayah Indonesia. Dari sektor kehutanan, pulau jawa memiliki limbah hutan terkecil dibanding pulau-pulau besar di Indonesia. Limbah hutan produksi paling besar dijumpai di wilayah Kalimantan dan Papua (Pranoto *et al.* 2013). Sebagai contoh jenis biomas dan ketersediaan bahan baku dari limbah pertanian di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis biomasa dan ketersediaan bahan baku di Indonesia tahun 2013

Jenis Biomassa	Ketersediaan Bahan Baku (ton)
Kelapa Sawit	
Serat (fiber)	12.830.950
Cangkang (shell)	6.136.541
Tandan kosong (EFB)	23.988.298
Pelepah	
Tebu	
Ampas tebu (bagasse)	9.559.395
Kelapa	
Sabut kelapa	1.119.301
Tempurung	383.760
Padi	
Sekam	13.016.712
Jerami	90.370.365
Jagung	
Tongkol	4.263.116
Batang dan daun	14.920.906

Sumber: ESDM 2015 dalam Syamsiro 2016

Volume limbah biomassa sangat besar, namun hingga saat ini belum diperoleh solusi yang tepat untuk menanganinya dan hal ini menjadi permasalahan yang cukup serius baik bagi pemerintah maupun masyarakat. Menurut Murtadho dan Sa'id (1988), limbah biomassa termasuk kedalam sampah organik padat (sukar membusuk), dan sampah organik padat hingga saat ini di beberapa kota di Indonesia masih ditangani dengan cara membakarnya di dalam *incinerator*. *Incinerator* merupakan alat yang digunakan untuk membakar limbah dalam bentuk padat dan dioperasikan dengan memanfaatkan teknologi pembakaran pada suhu tertentu, dan hasilnya berupa abu, gas sisa hasil pembakaran, partikulat, dan panas. Di beberapa negara maju, cara ini sudah dilarang karena dapat menimbulkan pencemaran udara.

Sampai saat ini, limbah biomassa yang dihasilkan tiap hari belum diiringi dengan teknologi pengolahan limbah yang tepat, jika dibiarkan membusuk dan menumpuk dapat meningkatkan emisi gas CH_4 di udara, jika limbah tersebut dibuang ke sungai dapat menyebabkan terjadinya proses pendangkalan dan pengecilan ruas sungai, dan jika dibakar secara langsung dapat menambah emisi gas CO_2 di atmosfer. Aktivitas usaha pembuatan arang kayu dianggap seperti uang logam yang memiliki dua sisi yang saling berlawanan, yaitu sebagai sumber kemakmuran sekaligus sebagai penyebab pencemaran lingkungan yang sangat potensial karena asap yang dihasilkan pada saat proses pembakaran arang kayu (tobong) dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Masyarakat mengeluh akan asap yang ditimbulkan dari proses pembakaran arang kayu (tobong) mengganggu pernafasan mereka, bahkan ada beberapa masyarakat yang terkena penyakit Infeksi Saluran Pernafasan (ISPA) karena usaha arang kayu (tobong) beroperasi sangat dekat dengan pemukiman masyarakat. Usaha arang kayu (tobong) mengakibatkan munculnya bahan berbahaya dan beracun yang selanjutnya disingkat B3. B3 adalah zat, energi, atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan atau merusak lingkungan dan membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta

kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain (Undang-Undang RI Nomor 32 tahun 2009). Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicari solusi salah satunya dengan mengedepankan peran inovasi teknologi yang lebih berpihak kepada masyarakat khususnya industri kecil, dan memaksimalkan pemanfaatan kayu dan limbah biomassa yang mengarah kepada zero waste.

Teknologi pengolahan limbah biomassa

Limbah biomassa adalah bahan organik yang terbentuk dari senyawa-senyawa karbon seperti holo selulosa (selulosa dan hemi selulosa), lignin dan sedikit senyawa karbohidrat sehingga sangat berpotensi dijadikan sumber energi (Setiyono 2004). Ada beberapa alternatif yang sudah dilakukan untuk menangani limbah biomas ini, diantaranya:

1. Limbah biomassa tidak diolah sama sekali, cukup dijual dengan harga murah kepada para tukang sate, ayam bakar atau ikan bakar untuk dijadikan bahan bakar alternatif pengganti kayu bakar, atau limbah kayu tersebut dibuang begitu saja ke lingkungan perairan (sungai, laut, dan danau), atau dibiarkan menumpuk sampai menggenangi dan membusuk di lapangan. Usaha tersebut, tentu saja tidak akan meningkatkan nilai ekonomi sama sekali, bahkan mungkin akan mendatangkan masalah dan bencana baru. Limbah kayu yang dibakar langsung akan mengeluarkan asap yang banyak sehingga menimbulkan polusi udara, gangguan pernapasan dan pencemaran udara. Limbah kayu yang dibuang begitu saja ke lingkungan perairan, juga akan menimbulkan gangguan kesehatan, keseimbangan ekosistem perairan menjadi terganggu, dan terjadi pencemaran baik di air, darat maupun udara
2. Limbah biomassa diolah, namun pengolahannya masih terbatas, misalnya dijadikan produk kerajinan tangan yang unik dan memiliki nilai seni tinggi, seperti tempat pensil, celengan, gayung, tempat lilin, gelas, sendok, garpu, kancing, asbak, tas, vas bunga, dll. Namun bila dibandingkan dengan no 1, pengolahan limbah ini memang cukup dapat meningkatkan ekonomi dan penghasilan pengolahnya, namun dari segi nilai guna produk masih terbatas
3. Limbah biomassa diolah, tapi pengolahannya dilakukan dengan teknik dan alat yang kurang tepat, misalnya diolah menjadi arang kayu dengan teknik pengarangan yang masih tradisional/konvensional (asap yang dikeluarkan selama pengarangan semuanya dilepaskan/dibuang ke udara). Produk yang dihasilkan dari pengolahan ini sangat terbatas, yaitu hanya produk arang saja.

Dilihat dari sifat fisik dan kimianya, kandungan zat dan energinya, limbah biomassa merupakan salah satu limbah padat yang keras, banyak mengandung zat kayu (senyawa organik seperti lignin, selulosa dan hemiselulosa), dengan demikian, cukup potensial untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi atau bahan bakar alternatif.

Pada dasarnya, di dalam limbah biomas terkandung energi kimia dalam bentuk karbohidrat, energi tersebut bersumber dari energi matahari yang diikat oleh tanaman ataupun limbahnya melalui proses fotosintesis. Energi kimia yang terdapat dalam limbah kayu, bisa dikonversi atau diubah kembali menjadi energi cahaya, listrik, panas, gerak, dan energi lainnya, melalui teknologi konversi. Oleh karena itu, ada beberapa alternatif teknologi konversi energi yang bisa dilakukan adalah:

- a. Teknologi pembuatan arang secara konvensional.** Pembuatan arang secara konvensional tersebut banyak dilakukan oleh masyarakat di pedesaan dan tidak memerlukan biaya produksi tinggi. Pembuatan arang secara konvensional dapat dilakukan dengan metode *kiln*. Metode *kiln* yang sangat sederhana adalah pembuatan arang dengan timbunan tanah. Keuntungan pembuatan arang dengan cara timbun

diperoleh kemudahan dalam penetapan lokasi pengarangan, penyesuaian timbunan dengan jumlah bahan baku yang tersedia dan dalam memproduksi arang dapat dilakukan dengan modal yang kecil, sedangkan kelemahannya yaitu asap yang dilepaskan selama karbonisasi ini berkontribusi dalam meningkatkan kadar CO₂ di udara, proses karbonisasi tidak dapat diamati secara cermat atau sulit dikontrol dan proses pengarangan memerlukan waktu lama serta rendemen arang umumnya rendah (Anonim 2014). Arang yang dihasilkan umumnya hanya digunakan sebagai sumber energi

- b. **Teknologi fermentasi.** Teknologi fermentasi adalah proses penguraian bahan organik dengan bantuan mikroorganisme. Teknik ini dapat menghasilkan energi yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia seperti bioetanol dan biogas. Kelemahannya, optimasi proses fermentasi harus diperhatikan agar proses fermentasi berjalan dengan lancar dan sempurna, dan biasanya memerlukan waktu fermentasi yang cukup lama sampai diperoleh energi yang dibutuhkan (umumnya memakan waktu selama lebih dari sehari). Rendemen yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis bahan baku, jumlah mikroorganisme yang ditambahkan, dan waktu fermentasi. Hasil penelitian Nasrun *et al.* (2015) menunjukkan bahwa rendemen bioetanol tertinggi yang dihasilkan dari fermentasi kulit papaya diperoleh pada penambahan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) sebanyak 15 gr dengan waktu fermentasi 4 hari yaitu sebesar 6,23%. Sementara hasil penelitian Arif *et al.* (2017) menunjukkan bahwa pembuatan rendemen bioetanol tertinggi dari fermentasi dedak sorgum manis varietas Numbu diperoleh dari penambahan urea dan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) masing-masing sebanyak 2 gr, waktu fermentasi optimum selama 48 jam dan penambahan konsentrasi enzim α -amilase:glukoamilase (0,5:1,5) mL/kg yaitu sebesar 20,88%.
- c. **Gasifikasi biomassa.** Gasifikasi biomassa merupakan proses konversi secara termokimia bahan biomassa padat menjadi bahan gas. Menurut Rajvanshi (1986) gasifikasi biomassa adalah pembakaran biomassa tidak selesai yang menghasilkan gas bakar yang terdiri dari karbon monoksida (CO), Hidrogen (H₂) dan sedikit metana (CH₄). Proses gasifikasi pada dasarnya merupakan proses pirolisa pada suhu sekitar 150 – 900°C, diikuti oleh proses oksidasi gas hasil pirolisa pada suhu 900 – 1400°C, serta proses reduksi pada suhu 600 – 900°C (Abdullah *et al.* 1998). Gas biomassa dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain untuk:
- 1) Memasak. Semula, penggunaan gas biomassa untuk memasak, baik di tingkat rumah tangga maupun industri kecil tidak banyak dikembangkan, karena di negara maju dan di perkotaan, masyarakat lebih memilih kompor gas LPG yang cara penggunaannya lebih mudah. Sedangkan untuk pedesaan, masyarakat lebih memilih cara pembakaran biomassa secara langsung, karena peralatan yang dibutuhkan pada teknologi gasifikasi masih dianggap terlalu rumit dibanding dengan teknologi tungku pembakaran biasa. Baru pada beberapa tahun terakhir ini, orang mulai tertarik untuk mengembangkan penggunaan gas biomas untuk keperluan memasak. Hal tersebut terpicu oleh adanya krisis energi serta makin mahalnya harga bahan bakar fosil. Di samping itu juga terbantu oleh adanya kampanye cara hidup yang lebih sehat dan lebih ramah lingkungan. Penggunaan teknologi gasifikasi biomas dalam hal ini dianggap sebagai teknologi yang lebih ramah bagi pengguna dan lingkungannya.
 - 2) Menggerakkan turbin dan motor bakar,
 - 3) Bahan bakar pada ketel uap, serta untuk penerangan.

Negara yang cukup maju dalam hal pemanfaatan teknologi gasifikasi biomasa adalah India dan China. Terdapat cukup banyak laporan tentang penerapan teknologi gasifikasi biomasa di kedua negara tersebut. Palit dan Mande (2007) melaporkan bahwa TERI (*The Energy and Resources Institute*), sebuah lembaga yang mengembangkan teknologi gasifikasi biomas di India, sampai tahun 2007 telah berhasil memasang lebih dari 350 sistem gasifikasi biomas di berbagai wilayah di India dengan total kapasitas lebih dari 13 MW termal. Beberapa pemanfaatan teknologi gasifikasi disebutkan dalam laporan tersebut antara lain untuk memasak, pengolahan kapulaga, dan pengolahan biji aren. Sedangkan Mande & Kishore (2007) menyebutkan penggunaan teknologi gasifikasi biomas untuk pembuatan benang sutera, pengolahan kapulaga, pembuatan garam, pengeringan bata, memasak untuk upacara keagamaan, pemanasan air hotel, memasak untuk sekolahan, pembakaran mayat, dan untuk pengolahan karet alam. Penerapan termal gas biomas adalah suatu alternatif yang cukup menarik dibanding teknologi pembakaran langsung, karena tingkat efisiensinya lebih bagus dan polusi yang dihasilkan lebih rendah meskipun biaya investasi yang diperlukan umumnya lebih tinggi. Berkembangnya teknologi kompor gas biomas pada beberapa tahun terakhir ini cukup menunjukkan keunggulan teknologi gasifikasi dibanding metode pembakaran langsung.

Sementara itu IISc (*Indian Institute of Science*) telah membuat sistem gasifikasi biomas untuk berbagai keperluan antara lain pelistrikan pedesaan di India (Dassapa *et al.* 2003). Pemanfaatan potensi biomassa sebagai sumber energi listrik, telah mulai dikembangkan di beberapa negara di dunia. Seperti halnya di Negara Cina, dengan potensi biomassa yang tersedia, memungkinkan untuk menghasilkan energi listrik dengan kapasitas sebesar 30 GW (Xingang *et al.*, 2013). Begitu pula halnya dengan di wilayah Uni Eropa, bahkan permintaan bahan baku biomassa melebihi kemampuan pasokan yang dapat disediakan untuk kebutuhan pembangkit listrik (Bertrand *et al.*, 2014).

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber daya listrik merupakan salah satu solusi yang dapat dikembangkan dalam rangka meningkatkan rasio elektrifikasi dan mewujudkan ketahanan energi nasional. Untuk itu sebagai langkah awal bagi menguji kelayakan pengembangan biomassa sebagai sumber pembangkit tenaga listrik, diperlukan analisis tentang potensi sumber daya, terutama dari beberapa komoditas unggulan, baik dari sisa hasil pertanian maupun perkebunan. Berdasarkan hasil penelitian Papilo *et al.* (2015), bahwa potensi biomassa yang dapat dihasilkan dari residu primer pertanian, secara teoritis berpotensi menghasilkan energi sebesar 17,06 juta Gj, sedangkan potensi biomassa sekunder dari pertanian, berpotensi menghasilkan energy sebesar 4,5 juta Gj. Dari empat sumber daya yang dinilai, Padi Sawah merupakan yang paling potensial dibandingkan dengan sumber daya pertanian lainnya. Dari biomassa padi sawah yang terdiri dari jerami dan sekam, secara teoritis berpotensi menghasilkan energi sebesar 16,09 juta Gj, sedangkan potensi biomassa yang dapat dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit, secara teoritis berpotensi menghasilkan energi sebesar energi sebesar 55,89 juta Gj.

- d. **Teknik pirolisis.** Menurut Choi *et al.* (2014), pirolisis adalah proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen. Selama pirolisis berlangsung komponen kimia bahan organik tersebut akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis dapat menyebabkan terjadinya karbonisasi, hal ini akan terjadi pada pirolisis ekstrim yang hanya meninggalkan karbon (arang) sebagai residu. Asap cair akan diperoleh jika dalam pirolisator dilengkapi dengan pipa kondensor, sehingga fase gas yang terkondensasi akan berubah wujudnya menjadi cair.

Teknik pirolisis dalam sebuah pirolisator yang dilengkapi dengan pipa kondensor, memiliki beberapa kelebihan di antaranya:

- 1) Proses pengolahannya jauh lebih sederhana yaitu tidak membutuhkan keahlian yang tinggi dalam mengolahnya.
- 2) Dapat menerapkan prinsip-prinsip dasar optimasi proses, sehingga selain kelemahan pada proses pengarangan konvensional tersebut dapat diminimalisir, juga dapat meningkatkan nilai tempurung kelapa ke arah yang jauh lebih baik dari sebelumnya, baik dilihat dari segi ilmiah, ekonomi, kesehatan maupun lingkungan.
- 3) Teknik pirolisis juga dapat mengeliminasi senyawa karsinogenik seperti *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) yang mungkin terbentuk (Soldera *et al.* 2008).
- 4) Kelebihan lainnya dari teknologi pirolisis adalah hanya satu kali proses dengan alat pirolisis yang sama, dapat dihasilkan tiga produk yang berbeda. Menurut Paris *et al.* (2005), tiga produk tersebut adalah arang sebagai produk utama, dan hasil sampingnya berupa asap cair, tar, dan gas-gas yang tidak terkondensasi berupa CO, CO₂, CH₄ dan H₂ yang mudah terbakar
- 5) Semakin banyak limbah biomasa hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan yang diolah dengan teknik pirolisis yang dikombinasikan dengan teknik kondensasi, dapat mereduksi emisi CO₂ di atmosfer, sehingga diharapkan dapat menjaga kelestarian bumi dari dampak pemanasan global (Lehmann *et al.* 2006)
- 6) Teknologi inovatif berbasis asap cair dapat menanggulangi masalah pengasapan ikan/daging secara tradisional. Pengasapan tradisional memerlukan waktu yang lama, keseragaman produk untuk mendapatkan warna dan citrasa yang diinginkan sulit dikontrol serta menimbulkan pencemaran lingkungan dan bahaya kebakaran. pemberian asap cair pada makanan akan lebih praktis karena hanya dengan mencelupkan atau merendam produk makanan tersebut ke dalam asap cair. Dengan demikian pengasapan ikan/daging dapat berlangsung dengan cepat, mudah dan terkontrol (Darmadji *et al.* 1999).
- 7) Dibandingkan dengan teknik pengasapan langsung (TPL), penggunaan asap cair hasil pirolisis lebih efektif, efisien, aplikatif, dan lebih luas dalam penggunaan dan pemanfaatannya, yaitu tidak hanya digunakan di bidang pertanian juga di bidang perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, dan kesehatan
- 8) Secara tidak langsung inovasi ini akan menciptakan lapangan kerja baru, mengurangi pengangguran, meningkatkan pendapatan masyarakat, serta meningkatkan devisa bagi negara

KESIMPULAN

Teknik pirolisis merupakan salah satu teknik konversi yang bisa direkomendasikan untuk mengolah limbah biomasa. Teknik ini juga merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah biomas yang dipandang cukup prospektif untuk dikembangkan. Teknik pirolisis adalah teknik pengelolaan terpadu, dimana dalam satu alat pirolisis yang sama akan dihasilkan beberapa macam produk yaitu arang, asap cair, tar, dan gas-gas yang tidak terkondensasi yang semuanya memiliki multimanfaat dan dapat digunakan untuk mengatasi berbagai permasalahan di segala bidang. Pengelolaan limbah dengan teknik pirolisis termasuk kedalam salah satu aktivitas “*Green Jobs*” atau pekerjaan yang layak dan memiliki kontribusi melestarikan atau memulihkan lingkungan, dapat membantu meningkatkan efisiensi energi, membatasi emisi gas rumah kaca, meminimalkan limbah dan polusi, melindungi serta memulihkan ekosistem serta mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim, juga mnstimulasi perekonomian hijau, sehingga aktivitas ini perlu di support oleh masyarakat lokal, pemerintah daerah/setempat dan pemerintah pusat.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah K, Irwanto Ak, Siregar N, Agustina E, Tambunan AH, Yamin M, Hartulistiyoso E, Purwanto YA, Wulandari D, Nelwan LO. 1998. Energi dan Listrik Pertanian; JICA–DGHE / IPB Project / ADAET
- Amrullah, A. 2020. Pabrik arang Cilincing sebabkan polusi udara Jakarta. Diakses pada tanggal 14 Februari 2023 pada <https://www.republika.co.id/berita/qg18s6396/pabrik-arang-cilincing-sebabkan-polusi-udara-jakarta>
- Anonim 2014. Metode-metode pembuatan arang. [internet]. [diacu 26 Juni 2018]. Tersedia dari: <http://hutanbaubau.blogspot.com/2014/07/metode-metode-pembuatan-arang.html>
- Anonim. 2019a. Green Jobs: Pekerjaan Ramah Lingkungan. Diakses pada tanggal 7 Januari 2022 dalam <https://coaction.id/green-jobs-pekerjaan-ramah-lingkungan/>
- Anonim. 2023. Green Jobs. Diakses tanggal 02 Februari 2023 dalam <https://coaction.id/green-jobs/>
- Arif BA, Budiyanto A, Diyono W, Richana N. 2017. Optimasi waktu fermentasi produksi bioetanol dari dedak sorgum manis (*Sorghum bicolor* L) melalui proses enzimatik. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*. 14(2): 67-78
- Bertrand V, Dequiedt B, Cadre EL. 2014. Biomass for electricity in the EU-27: Potential demand CO₂ abatements and break even prices for co-firing. *Journal of Energy Policy*. 73: 631-644
- Dassapa S, Mukunda HS, Paul PJ, Rajan NKS. 2003. Biomass to Energy; Indian Institute of Science
- Choi GG, Jung SH, Oh SJ, Kim JS. 2014. Total utilization of waste tire rubber through pyrolysis to obtain oils and CO₂ activation of pyrolysis char. *Fuel Processing Technology*. 123: 57. doi:[10.1016/j.fuproc.2014.02.007](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.02.007)
- Darmaji P. 2002. Optimasi proses pembuatan tepung asap. *Agritech*. 22 (4):172-177.
- Devi. 2019. "Tentang Pemanasan Global dan Fakta-fakta Menariknya". Diakses tanggal 02 Februari 2023 dalam <https://news.detik.com/berita/d-4718212/tentang-pemanasan-global-dan-fakta-fakta-menariknya>
- Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystem. A review, mitigation and adaptation strategies for global change, 11:403-427.
- Mande S, Kishore VVN. 2007. Towards Cleaner Technologies: A Process Story on Biomass Gasifiers for Heat Applications in Small and Micro Enterprises; TERI Press, The Energy and Resources Institute; New Delhi.
- Murtadho D, Sa'id EG. 1988. Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Padat. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta
- Nasrun, Jalaluddin, Mahfuddhah. 2015. Pengaruh jumlah ragi dan waktu fermentasi terhadap kadar bioethanol yang dihasilkan dari fermentasi kulit pepaya. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 4(2): 1-10.
- Papilo P, Kunaifi, hambali E, Nurmiati, Pati RF. 2015. Penilaian potensi biomassa sebagai alternatif energi kelistrikan. *Jurnal PASTI*. 2: 164-176
- Palit D, Mande S. 2007. Biomass Gasifier Systems for Thermal Applications in Rural Areas. *Boiling Point*. 53
- Paris O, Zollfrank C, Zickler AG. 2005. Decomposition and carbonization of wood biopolymer microstructural study of wood pyrolysis. *Carbon* 43:53-66. doi:[10.1016/j.carbon.2004.08.034](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2004.08.034)
- Pranoto B, Pandin M, Fithri SR, Nasution S. 2013. Peta potensi limbah biomassa pertanian dan kehutanan sebagai basis data pengembangan energi terbarukan. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*. 12(2): 123-130

- Rajvanshi AK, Joshi MS. 1989. Development and operational experience with topless wood gasifier running a 3.75 kW diesel engine pumpset; *Biomass* 19: 47 – 56.
- Setiyono 2004. Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Industri Kecil. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Soldera S, Sebastianutto N, Bortokmenzzi R. 2008. Composition of phenolic compound and antioxidant activity of commercial aqueous smoke flavorings. *J. Agric Food Chem.* 56: 2727-2734. doi: 10.1021/jf072117d.
- Syamsiro M. 2016. Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torrefaksi. *J. Mek. Sist. Termal.* 1 (1): 7-13.
- Undang-Undang RI Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal 21 Ayat (21)
- Xingang Z, Zhongfu T, Pingkuo L. 2013. Development goal of 30 GW for China's biomass power generation: Will it be achieved?. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 25: 10-317.