

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/psnp.20044>

Penggunaan Fast Pyrolysis Sebagai Upaya Transformasi Limbah Jaring Menjadi Sumber Energi Bagi Nelayan di Indonesia

Application Of Fast Pyrolysis As An Endeavor To Transform Fishing Net Waste Into An Energy Source For Fisherman in Indonesia

Herliand Putra Octaviansya Tandayu^{1*}, Rifqi Muhammad Yofatama²

¹Universitas Pertahanan Republik Indonesia

²Universitas Pertahanan Republik Indonesia

*E-mail: herliandp@gmail.com

ABSTRAK

Problematika limbah bekas jaring nelayan di pesisir Indonesia berdampak ganda: mencemari ekosistem laut dan menekan kesejahteraan masyarakat pesisir. Jaring berbahan polietilena dan polipropilena yang sulit terurai menyumbang mikroplastik, menurunkan kualitas perairan, merusak habitat ikan, dan mengancam keberlanjutan perikanan tangkap. Di banyak kawasan pesisir, termasuk Pangandaran, pengelolaan sampah plastik dan alat tangkap belum memadai sehingga limbah jaring kerap berakhir sebagai ghost gear di laut atau dibakar terbuka. Penelitian ini menganalisis potensi pemanfaatan teknologi *Fast pyrolysis* untuk mengonversi limbah jaring menjadi sumber energi alternatif bagi nelayan kecil yang rentan terhadap fluktuasi harga bahan bakar fosil. Metode yang digunakan adalah studi literatur terarah dan analisis kualitatif deskriptif-estimatif dengan studi kasus Pangandaran, Jawa Barat. Data sekunder tentang timbulan ghost gear, karakter teknis fast pyrolysis, dan kebijakan sampah laut disintesis menjadi skenario potensi energi. Hasil sintesis menunjukkan timbulan ghost gear sekitar 7,74 ton per tahun berpotensi dikonversi melalui *Fast pyrolysis* dengan rendemen minyak 45–80 persen dan nilai kalor bio-oil 35–40 MJ/kg, mendekati bahan bakar minyak ringan. Dengan asumsi rendemen 80 persen dan densitas 0,81 kg/L, diperoleh potensi sekitar 6,2 ton atau kurang lebih 7.645 liter bio-oil per tahun. Jika dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian kebutuhan solar, bio-oil ini berpotensi menurunkan biaya bahan bakar nelayan sekitar seperlima sekaligus mendukung ekonomi sirkular serta pengurangan sampah plastik laut di kawasan pesisir Indonesia.

Kata kunci: Bio-oil, Ekonomi sirkular, Energi alternatif, *Fast pyrolysis*, Limbah jaring,

ABSTRACT

The problem of discarded fishing nets on the Indonesian coast has a double impact: it pollutes the marine ecosystem and undermines the welfare of coastal communities. Nets made of polyethylene and polypropylene, which are difficult to break down, contribute to microplastics, reduce water quality, damage fish habitats and threaten the sustainability of capture fisheries. In many coastal areas, including Pangandaran, the management of plastic waste and fishing gear is inadequate, so that discarded nets often end up as ghost gear in the sea or are burned in the open. This study analyses the potential of Fast pyrolysis technology to convert net waste into

an alternative energy source for small-scale fishers who are vulnerable to fluctuations in fossil fuel prices. The methods used are a targeted literature study and descriptive-estimative qualitative analysis with a case study of Pangandaran, West Java. Secondary data on ghost gear accumulation, Fast pyrolysis technical characteristics, and marine debris policies were synthesised into potential energy scenarios. The synthesis results showed that approximately 7.74 tonnes of ghost gear per year could potentially be converted through Fast pyrolysis with an oil yield of 45–80 per cent and a bio-oil calorific value of 35–40 MJ/kg, which is close to light fuel oil. Assuming an 80 per cent yield and a density of 0.81 kg/L, the potential is approximately 6.2 tonnes or approximately 7,645 litres of bio-oil per year. If used as a partial substitute for diesel fuel, this bio-oil has the potential to reduce fishermen's fuel costs by about one-fifth while supporting the circular economy and reducing marine plastic waste in Indonesia's coastal areas.

Keywords: Fast pyrolysis, Net waste, Bio-oil, Alternative energy, Circular economy.

PENDAHULUAN

Indonesia didaulat sebagai negara kepulauan (*archipelagic state*) yang memiliki jumlah pulau 17.504 serta garis pantai yang membentang sepanjang 108.00 km, menjadikan laut sebagai ruang hidup (*living space*) sekaligus ruang ekonomi bagi jutaan penduduk pesisir yang bergantung pada sektor perikanan tangkap. Menurut data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia menunjukkan bahwa jumlah nelayan Indonesia pada tahun 2024 mencapai lebih dari 3,2 orang, yang mayoritas merupakan nelayan kecil dengan ketergantungan tinggi pada sumber daya ikan serta stabilitas biaya operasional, terutama bahan bakar (Kementerian Perikanan dan Kelautan, n.d.). ditengah upaya menuju ekonomi biru, tantangan yang dihadapi nelayan kecil bukan hanya fluktuasi stok ikan dan perubahan iklim, namun juga tekanan biaya energi serta degradasi lingkungan laut akibat pencemaran, termasuk sampah plastik dan limbah alat tangkap. Sampah plastik di laut telah menjadi isu kritis di Indonesia, secara estimasi menunjukkan bahwa sampah plastik yang dihasilkan sekitar 64 juta ton/tahun, 3,2 juta ton masuk ke laut, presentase sebesar 60-90% sampah laut berupa plastik (Lestari & Trihadiningrum, 2019). Salah satu komponen penting dari sampah plastik laut merupakan alat tangkap yang ditinggalkan, hilang, atau dibuang (*abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear*) atau yang sering disebut dengan “*ghost gear*” menyumbang sekitar 10% dari total debris laut secara global serta berimplikasi pada kerusakan ekologis serta ekonomi yang signifikan (*Global Ghost Net Initiative, 2019*). Kendatipun di laut Jawa diperkirakan sekitar 640.000 Kg jaring bekas masuk ke laut setiap tahun, nelayan dengan skala tangkapan kecil berpotensi menjadi aktor sekaligus korban *ghost gear* karena kehilangan alat tangkap, terganggunya operasi penangkapan, dan berkurangnya hasil tangkapan (Adlina et al., 2023). Penelitian lain di perairan Jakarta menunjukkan bahwa sampah plastik di laut menunjukkan penurunan efisiensi penangkapan dan

kerugian ekonomi bagi nelayan kecil. Dengan kata lain, limbah jaring bukan hanya masalah lingkungan, namun berimplikasi langsung terhadap keberlanjutan ekonomi rumah tangga nelayan (Sagita et al., 2022).

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen mengurangi sampah plastik laut hingga 70% pada tahun 2025 melalui kebijakan Peraturan Presiden Nomor 83 Tahun 2018 tentang Penanganan Sampah Laut dan Rencana Aksi Nasional Sampah Laut (Fardah Assegaf, 2022). Agenda ini menempatkan pendekatan 3R (*reduce, reuse, recycle*) dan ekonomi sirkular sebagai pilar utama. Namun, pada level operasional dibanyak desa wilayah pesisir dan pelabuhan perikanan, pengelolaan limbah alat tangkap masih menghadapi limitasi infrastruktur, insentif ekonomi, juga skema bisnis yang jelas. Berbagai studi menunjukkan bahwa limbah jaring dan plastik dari kegiatan perikanan kerap dibuang ke laut atau dibakar melalui ruang terbuka, sehingga menambah beban polusi dan efek gas rumah kaca serta bertentangan dengan target pengurangan sampah laut nasional (*1647 IND Plastic Waste in Snapper Fishery Final Report*[27], n.d.). Kondisi tersebut mengindiasikan kebutuhan akan solusi yang tidak hanya mengurangi limbah, sekaligus memberikan nilai tambah nyata bagi nelayan. Di sisi lain, perkembangan teknologi termokimia menawarkan peluang baru dalam pemanfaatan limbah plastik, termasuk limbah jaring, sebagai sumber energi alternatif. Sejumlah penelitian internasional menunjukkan bahwa jaring yang berbahan dasar jenis plastik *poliamida* dan *polietilena* dapat dikonversi melalui pyrolisis menjadi produk minyak pyrolisis (*pyrolysis oil*), gas, dan char dengan kualitas energi yang kompetitif. Studi awal tentang pyrolisis termal jaring nylon-6 dari limbah jaring menunjukkan potensi perolehan monomer seperti kaprolaktam dan produk energi bervalu tinggi (Kim et al., 2005). Minyak hasil pyrolisis jaring berbahan dasar *poliamida* dan *polietilena* memiliki nilai kalor sekitar 44.450 kJ/Kg, sedikit lebih tinggi dibandingkan solar, serta dapat digunakan pada mesin diesel dengan modifikasi minimal. Penelitian saat ini mengenai teknologi pyrolisis katalitik dan konversi termal limbah jaring tidak dapat didaur ulang juga menegaskan bahwa teknologi ini layak sebagai skema pemulihan sumber daya dan energi dalam kerangka ekonomi sirkular (Eimontas et al., 2023).

Secara khusus, *fast pyrolysis* dengan laju pemanasan tinggi dan waktu tinggal uap (*residence time*) yang singkat dirancang untuk memaksimalkan produksi pyrolisis oil. Konfigurasi ini menarik bagi konteks pesisir karena secara teori memungkinkan guna pengembangan unit skala kecil-menengah yang modular, bisa ditempatkan di area pelabuhan perikanan atau sentra nelayan. Penelitian tentang pyrolisis limbah alat tangkap nelayan di Indonesia mulai bermunculan, misalnya studi terbaru menunjukkan variasi waktu proses dan

rendemen minyak yang cukup tinggi untuk berbagai jenis plastik alat tangkap yang berbahan *poliamida* dan *polietilena* (Nugroho et al., 2024). Namun, sebagian besar riset masih terfokus pada aspek teknis-laboratoris, belum secara eksplisit mengkaitkan keuntungan teknis tersebut dengan model pemanfaatan energi bagi nelayan kecil di Indonesia, sebagai contoh guna menyuplai kebutuhan bahan bakar kapal, genset es, atau kebutuhan listrik fundamental permukiman pesisir. Dari sinilah *research gap* yang ingin dijawab oleh studi penelitian ini. Disisi lain, Indonesia telah menghadapi problematika struktural berupa akumulasi *ghost gear* yang berimplikasi pada kerugian lingkungan dan ekonomi nelayan kecil. Dengan menggunakan *fast pyrolysis* menjadi daya tawar peluang konversi limbah *ghost gear* menjadi sumber energi yang potensial dalam mengurangi biaya bahan bakar serta mendukung transisi menuju ekonomi biru dan ekonomi sirkular pada sektor perikanan. Kendatipun demikian, hingga kini belum banyak riset yang (1) mengkaji secara eksplisit potensi penggunaan *fast pyrolysis* sebagai transformasi energi dari limbah *ghost gear* menjadi *pyrolysis oil* bagi nelayan Indonesia; (2) estimasi potensi energi yang dapat dihasilkan relatif terhadap energi yang dibutuhkan oleh nelayan Indonesia; (3) mengkorelasikan dengan kerangka kebijakan nasional pengurangan sampah laut serta upaya mensejahterakan nelayan Indonesia. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan guna menganalisis potensi *Fast pyrolysis* dalam mengonversi limbah *ghost gear* menjadi bahan bakar cair dengan nilai ekonomis tinggi, mengidentifikasi dan menilai karakteristik alat tangkap ikan yang berpotensi menjadi *ghost net* di lingkungan laut, serta mengevaluasi dampak holistik (ekonomi, sosial, dan lingkungan) dari implementasi teknologi *Fast pyrolysis* untuk mendukung ketahanan energi dan kesejahteraan nelayan dalam kerangka kebijakan pengurangan sampah laut nasional.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan model studi literatur terarah dengan menggunakan analisis kualitatif deskriptif-estimatif, peneliti memilih sumber yang relevan dengan arah penelitian, berfokus terhadap empat kelompok: a. Limbah jaring; b. Kondisi nelayan kecil di Indonesia; teknologi pirolisis dengan penekanan *fast pyrolysis*; serta d. Kebijakan mengenai sampah laut dan pengelolaan pesisir. Analisis kualitatif deskriptif-estimatif peneliti interpretasi membaca, mengelompokkan serta menafsirkan isi literatur. Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh (M Riyanto, et.al, 2021) menyatakan bahwa rata-rata limbah jaring yang dihasilkan oleh Nelayan pangkajene sejak 2015-2019 menghasilkan 7.740 Kg/tahun, data tersebut peneliti gunakan untuk memberi gambaran besaran dan potensi. Peneliti tidak melakukan uji statistik inferensial.

Lokasi studi Penelitian menempatkan Pangandaran, Jawa Barat, sebagai lokasi studi kasus. Fokus utama berada di wilayah pesisir sekitar Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Cikidang Pangandaran. Daerah ini dikenal sebagai sentra perikanan gillnet skala kecil di pesisir selatan Jawa. Peneliti memilih Pangandaran karena beberapa alasan. Nelayan banyak menggunakan gillnet. Tersedia data sekunder tentang jumlah jaring yang hilang, panjang jaring, dan berat jaring yang menjadi limbah. Kondisi nelayan di sana juga menunjukkan ketergantungan pada bahan bakar fosil dan ketiadaan skema pengelolaan limbah jaring yang jelas. Jenis dan sumber data Penelitian memakai data sekunder. Sumber utama adalah: 1. Artikel jurnal dan prosiding tentang *ghost gear*, limbah jaring di Laut Jawa, dan studi rinci di Pangandaran. 2. Artikel jurnal dan laporan teknis tentang pirolisis dan *Fast pyrolysis* limbah plastik atau jaring ikan. 3. Dokumen kebijakan dan laporan resmi lembaga nasional maupun internasional yang membahas sampah laut, ekonomi biru, dan pengelolaan pesisir.

Teknik pengumpulan data Peneliti mengumpulkan data melalui beberapa langkah. Pertama, peneliti menelusuri literatur di basis data ilmiah dan situs resmi lembaga. Kata kunci yang digunakan misalnya *ghost gear*, lost gillnet, fishing net waste, pyrolysis of fishing nets, *Fast pyrolysis* plastic, nelayan kecil, Pangandaran, dan sampah plastik laut Indonesia. Kedua, peneliti menyaring literatur. Sumber harus relevan dengan tema limbah jaring, Laut Jawa atau Pangandaran, fast pyrolysis, atau kebijakan sampah laut. Sumber juga harus dapat dipertanggungjawabkan secara akademik. Ketiga, peneliti mengekstrak informasi kunci dari setiap sumber. Untuk konteks Laut Jawa dan Pangandaran, peneliti mencatat jumlah jaring yang hilang per tahun, dan berat jaring. Untuk *fast pyrolysis*, peneliti mencatat jenis material jaring, rendemen minyak, gas, dan char, serta nilai kalor minyak. Untuk kebijakan, peneliti mencatat target pengurangan sampah laut dan program terkait pengelolaan limbah alat tangkap. Teknik analisis data Analisis memakai pendekatan kualitatif deskriptif-estimatif. Pertama, peneliti mengelompokkan literatur ke dalam beberapa tema. Tema utama adalah limbah jaring dan *ghost gear*, kondisi Laut Jawa dan Pangandaran, teknologi *fast pyrolysis*, serta kebijakan dan ekonomi nelayan. Kedua, peneliti menyusun narasi deskriptif untuk setiap tema. Peneliti menjelaskan skala timbulan limbah jaring, dampak yang tercatat bagi nelayan, karakter teknis *fast pyrolysis*, dan isi pokok kebijakan. Ketiga, peneliti melakukan analisis estimatif. Peneliti memakai angka dari literatur, seperti estimasi 640.000 kg jaring bekas di Laut Jawa dan sekitar 7.740 kg jaring hilang per tahun di Pangandaran, untuk menggambarkan besaran limbah jaring yang berpotensi menjadi bahan baku energi. Peneliti lalu mengaitkan angka ini dengan kisaran rendemen dan nilai kalor minyak *Fast pyrolysis* yang dilaporkan dalam studi laboratorium. Hasil yang muncul berupa

rentang potensi, bukan angka tunggal yang pasti. Keempat, peneliti menarik kesimpulan kualitatif. Peneliti menilai sejauh mana limbah jaring di Pangandaran dapat dilihat sebagai stok energi potensial, bagaimana kecocokan *Fast pyrolysis* untuk konteks nelayan kecil, dan apa implikasi awal bagi pengembangan program pengelolaan limbah jaring dan ketahanan energi nelayan di wilayah studi.

HASIL DAN BAHASAN

Hasil

Data ghost gear yang terkumpul di perairan Pangandaran menunjukkan potensi bahan baku yang signifikan untuk proses konversi termokimia. Rata-rata 7.740 kg (7,74 ton) ghost gear per tahun, dengan komposisi material didominasi oleh Nylon/Polyamide (PA) sebesar 70-80%, dan campuran Polyethylene (PE) serta Polypropylene (PP) sebesar 20-30%, menjadi basis perhitungan potensi produksi. Data jumlah *ghost gear* di Pangandaran bukan hanya sekadar statistik lingkungan yang memprihatinkan, tetapi juga dapat dilihat sebagai potensi sumber daya (*resource*) yang terbuang. Melalui teknologi pirolisis, limbah jaring nilon ini dapat dikonversi menjadi produk-produk bernilai ekonomi, sekaligus menyelesaikan masalah pencemaran. Rata-rata 7.740 kg (7,74 ton) ghost gear yang masuk ke perairan Pangandaran setiap tahunnya merupakan bahan baku potensial untuk pirolisis.

Ghost Gear mengandung bahan plastic Nylon atau Polyamide (PA) besarnya sekitar 70-80%, dan gabungan bahan Polyethylene (PE) beserta Polypropylene PP besarnya sekitar 20-30%. Proses pirolisis dapat berpotensi dapat menghasilkan minyak pirolisis dengan yield antara 85-89%. Untuk perhitungan dapat diambil nilai konservatif 80% untuk mengakomodir kemungkinan kontaminasi pada *ghost net real-world* (seperti pasir, garam, atau biota laut yang menempel).

Perhitungan Potensi Produksi Minyak Pirolisis:

Bahan Baku = ± 7.740 kg/tahun

Yield Minyak = 80% = 0,8

Potensi Minyak Pirolisis = Massa Bahan Baku x Yield Minyak
= $7.740 \times 0,8$
= ± 6.192 kg/tahun (atau $\pm 6,2$ ton/tahun).

Dengan asumsi densitas minyak pirolisis sekitar 0,81 kg/liter, maka potensi volume minyak yang dihasilkan setara dengan

$$\begin{aligned}\text{Volume Minyak Pirolisis} &= \text{Massa Minyak} / \text{Berat Jenis Minyak} \\ &= 6.192 / 0,81 \\ &= \pm 7.645 \text{ liter/tahun}\end{aligned}$$

Pembahasan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa timbulan ghost gear di perairan Pangandaran yang mencapai sekitar 7,74 ton per tahun bukan hanya angka pencemaran, tetapi sekaligus menggambarkan besarnya stok bahan baku energi yang selama ini terbuang. Kandungan utama berupa Nylon/Polyamide (PA) dan campuran poliolefin (PE/PP) merupakan jenis plastik yang dalam berbagai penelitian sebelumnya terbukti memiliki potensi konversi energi yang tinggi melalui proses pirolisis cepat pada suhu menengah-tinggi. Dengan asumsi rendemen minyak 80% dan densitas 0,81 kg/L, potensi 6,2 ton atau sekitar 7.645 liter minyak pirolisis per tahun masih berada dalam rentang yang dilaporkan oleh studi-studi terdahulu dan dapat dipandang sebagai skenario optimistis namun realistis untuk bahan baku yang telah melalui tahap pra-pengolahan sederhana.

Dari sisi teknis, karakteristik minyak pirolisis yang dihasilkan dari plastik PA, PE, dan PP umumnya berada pada kisaran nilai kalor 35–40 MJ/kg, mendekati bahan bakar minyak ringan yang lazim digunakan pada mesin diesel berukuran kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa, dengan pengendalian proses yang memadai, produk minyak pirolisis dari limbah jaring berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar campuran atau substitusi parsial solar untuk kapal nelayan dan generator listrik skala kecil di pesisir. Namun, kualitas minyak tetap sangat dipengaruhi oleh tingkat kontaminasi lapangan seperti keberadaan pasir, garam, dan organisme laut yang menempel pada jaring bekas. Oleh karena itu, tahapan pra-pengolahan berupa pembersihan, pengeringan, dan pemotongan ukuran menjadi krusial untuk menjaga kestabilan kualitas minyak dan mengurangi gangguan pada sistem pembakaran mesin.

Dalam perspektif energi dan operasional, volume 7.645 liter per tahun tidak serta- merta menggantikan seluruh kebutuhan BBM nelayan di Pangandaran, tetapi dapat dibaca sebagai sumber energi komplementer yang strategis. Untuk satu atau beberapa unit kapal gillnet skala kecil, jumlah tersebut sudah cukup untuk menopang sebagian signifikan kebutuhan bahan bakar tahunan, terutama jika minyak pirolisis digunakan sebagai campuran dengan solar pada rasio tertentu. Dengan kata lain, *Fast pyrolysis* lebih tepat diposisikan sebagai instrumen peningkat kemandirian energi di tingkat komunitas, bukan sebagai pengganti total jaringan distribusi BBM

yang sudah ada.

Dari perspektif sosial-ekonomi, kemampuan mengonversi ghost gear menjadi minyak pirolisis mempunyai dua dampak penting sekaligus. Pertama, mengurangi beban biaya bahan bakar nelayan melalui substitusi sebagian konsumsi solar. Dalam kondisi harga BBM yang fluktuatif dan margin keuntungan nelayan kecil yang tipis, penghematan sekitar seperlima hingga seperempat biaya bahan bakar berpotensi berkontribusi langsung pada stabilitas pendapatan rumah tangga nelayan. Kedua, menciptakan sumber nilai tambah baru dari limbah jaring yang sebelumnya hanya menimbulkan biaya: nelayan yang menyetor jaring bekas ke unit pirolisis dapat menerima insentif, baik dalam bentuk pembayaran langsung maupun potongan harga bahan bakar hasil pirolisis. Hal ini dapat mengubah cara pandang nelayan terhadap limbah jaring, dari sekadar beban dan sumber kerugian menjadi aset ekonomi yang dapat dikelola.

Dari sisi lingkungan dan tata kelola pesisir, model pemanfaatan *Fast pyrolysis* mendukung paradigma ekonomi sirkular di sektor perikanan. Ghost gear yang selama ini berkontribusi pada kerusakan habitat, gangguan operasi penangkapan, hingga potensi kematian biota laut secara non-target, diarahkan kembali ke darat untuk dijadikan bahan baku energi. Hal ini membantu mengurangi praktik pembuangan jaring ke laut maupun pembakaran terbuka di darat yang menimbulkan emisi dan risiko kesehatan. Jika diintegrasikan dengan program pengurangan sampah plastik laut dan pengelolaan pesisir yang sudah ada, unit pirolisis dapat menjadi simpul teknologis yang menghubungkan agenda pengurangan limbah, pemulihan ekosistem, dan penguatan ketahanan energi komunitas nelayan.

Pada tataran implementasi, hasil studi ini juga mengindikasikan pentingnya desain kelembagaan yang tepat. Penempatan unit *Fast pyrolysis* di sekitar Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Cikidang atau sentra pendaratan lain memungkinkan rantai pasok limbah jaring berlangsung lebih efisien: nelayan menyetor jaring bekas setelah melaut, kelompok atau koperasi nelayan mengelola proses pra-pengolahan dan pengumpanan reaktor, sementara produk minyak didistribusikan kembali ke nelayan anggota. Skema seperti ini membuka peluang integrasi dengan dukungan pemerintah daerah maupun pusat, baik dalam bentuk bantuan peralatan, subsidi awal investasi, maupun pelatihan pengoperasian dan pemeliharaan unit pirolisis.

Walaupun demikian, pembahasan juga menegaskan bahwa keberhasilan implementasi tidak hanya bergantung pada parameter teknis dan potensi volume, tetapi juga pada aspek keselamatan, regulasi, dan penerimaan sosial. Pengoperasian reaktor termokimia menuntut standar keselamatan tertentu, pengelolaan residu padat (char dan abu), serta pengendalian emisi

gas buang agar tidak menimbulkan masalah lingkungan baru. Di sisi lain, nelayan perlu diyakinkan bahwa minyak pirolisis aman dan tidak merusak mesin dalam jangka panjang, sehingga diperlukan uji performa dan uji emisi yang terukur serta sosialisasi hasil uji secara transparan.

Secara keseluruhan, pembahasan menunjukkan bahwa hasil perhitungan potensi minyak pirolisis dari limbah jaring Pangandaran bukan hanya layak secara teknis, tetapi juga relevan secara sosial-ekonomi dan lingkungan bila ditempatkan dalam kerangka ekonomi sirkular dan kebijakan pengurangan sampah laut. *Fast pyrolysis* muncul sebagai salah satu opsi teknologi yang menjembatani kepentingan pengurangan ghost gear, penguatan ketahanan energi nelayan kecil, dan dukungan terhadap komitmen nasional pengelolaan sampah plastik laut.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah jaring nelayan (*ghost gear*) di perairan Pangandaran, sekitar 7,74 ton per tahun, bukan hanya sumber pencemaran tetapi juga stok energi potensial. Berdasarkan sintesis literatur, teknologi *Fast pyrolysis* secara teknis layak diterapkan pada campuran Nylon/PA dan poliolefin (PE/PP), dengan asumsi rendemen minyak sekitar 80% dan densitas 0,81 kg/L, sehingga berpotensi menghasilkan kurang lebih 6,2 ton atau ± 7.645 liter minyak pirolisis per tahun. Dengan nilai kalor 35–40 MJ/kg, minyak ini dapat diposisikan sebagai bahan bakar campuran atau substitusi parsial solar untuk kapal dan kebutuhan energi skala kecil nelayan. Dari sisi sosial-ekonomi dan lingkungan, pemanfaatan minyak pirolisis berpeluang menurunkan biaya bahan bakar nelayan sekitar 20–25%, sekaligus mengubah limbah jaring dari beban menjadi aset ekonomi dalam skema ekonomi sirkular yang sejalan dengan agenda pengurangan sampah plastik laut nasional. Namun, temuan ini masih bersifat estimatif berbasis data sekunder, sehingga diperlukan penelitian lanjutan (uji pirolisis langsung *ghost gear* lokal, analisis tekno-ekonomi dan daur hidup, serta kajian kelembagaan dan penerimaan sosial) sebelum model ini diimplementasikan secara luas di komunitas nelayan pesisir Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlina, A., Wijayanti, P., Ratnasari, D., & Kodiran, T. (2023). Kerugian Ekonomi Ghost Gear Perikanan Kecil Di Laut Jawa (Studi Kasus: Tegal, Jawa Tengah). *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 18(2), 141.
- Czernik, S., Elam, C. C., Evans, R. J., Meglen, R. R., Moens, L., & Tatsumoto, K. (1998). Catalytic pyrolysis of nylon-6 to recover caprolactam. In *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (Vol. 46).

- Eimontas, J., Striūgas, N., Zakarauskas, K., & Kiminaitė, I. (2023). Catalytical thermal conversion of waste fishing nets for a higher added value energy products generation and caprolactam recovery. *Fuel*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126735>
- Fardah Assegaf. (2022, November 3). Indonesia commits to 70-percent reduction in marine debris by 2025. *ANTARA* 2022.
- Faussone, G. C., Kržan, A., & Grilc, M. (2021). Conversion of marine litter from venice lagoon into marine fuels via thermochemical route: The overview of products, their yield, quality and environmental impact. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16).
- GEAR MARKING IN INDONESIAN SMALL-SCALE FISHERIES: A Pilot Project Case Study. (n.d.).
- Kementerian Perikanan dan Kelautan. (n.d.). *Jumlah Nelayan Perikanan Tangkap di Laut Menurut Provinsi*.
- Kim, S. S., Jeon, J. K., Park, Y. K., & Kim, S. (2005a). Thermal pyrolysis of fresh and waste fishing nets. *Waste Management*, 25(8), 811–817.
- Kim, S. S., Jeon, J. K., Park, Y. K., & Kim, S. (2005b). Thermal pyrolysis of fresh and waste fishing nets. *Waste Management*, 25(8), 811–817.
- Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The impact of improper solid waste management to plastic pollution in Indonesian coast and marine environment. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 149). Elsevier Ltd.
- Nugroho, A., Fatwa, M. A., Hurip, P. D., Murtado, H., & Kurniasari, L. (2024). Pyrolysis of plastic fishing gear waste for liquid fuel production: Characterization and engine performance analysis. *BIS Energy and Engineering*, 1, V124040.
- Pannase, A. M., Singh, R. K., Ruj, B., & Gupta, P. (2020). Decomposition of polyamide via slow pyrolysis: Effect of heating rate and operating temperature on product yield and composition. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 151.
- Riyanto, M., Wahju, R. I., & Komarudin, G. S. (2022). Rate and causes of lost gillnets in the Pangandaran Waters of Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1033(1). Sagita, A., Sianggaputra, M. D., & Pratama, C. D. (2022). Analisis Dampak Sampah Plastik di Laut terhadap Aktivitas Nelayan Skala Kecil di Jakarta. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 8(1), 1.