

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Landasan teori disusun untuk memberikan dasar ilmiah mengenai penggunaan material alternatif pada konstruksi perahu nelayan, khususnya *High Density Polyethylene* (HDPE). Kajian ini diperlukan untuk menjembatani hubungan antara karakteristik material, metode pengujian mekanik, dan kebutuhan struktur perahu dalam menerima beban operasional.

Perahu nelayan merupakan struktur apung yang bekerja di bawah kombinasi beban statis dan dinamis, seperti berat sendiri, muatan, gaya gelombang, dan gaya dorong mesin. Oleh karena itu, material konstruksi perahu harus memiliki kekuatan mekanik, kekakuan, dan ketangguhan yang memadai, serta ketahanan terhadap lingkungan laut (Rawson & Tupper, 2001). Pada perahu nelayan tradisional di Indonesia, perancangan struktur umumnya dilakukan menggunakan pendekatan empiris (*rule of thumb*), di mana dimensi dan konfigurasi struktur ditentukan berdasarkan pengalaman praktik pengrajin (Burningham, 1989).

Pendekatan empiris tersebut terbukti efektif ketika menggunakan kayu sebagai material utama, karena sifat mekanik kayu telah dipahami secara turun-temurun. Namun, ketika material digantikan dengan material termoplastik seperti HDPE, diperlukan pendekatan berbasis teori dan data eksperimen agar performa struktural perahu tetap terjamin. Beberapa penelitian terkini menunjukkan bahwa sifat mekanik HDPE sangat dipengaruhi oleh temperatur dan perlakuan panas, yang dapat mengubah struktur kristalin serta memengaruhi kekuatan dan keuletan material (Zurella et al., 2020; Yang et al., 2024).

Dalam konteks aplikasi maritim, HDPE mulai dikaji sebagai material konstruksi kapal dan perahu karena ketahanannya terhadap korosi, benturan, dan degradasi lingkungan laut. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa penggunaan HDPE pada struktur kapal kecil memerlukan evaluasi mekanik yang terukur untuk memastikan kesesuaian material terhadap tuntutan struktur dan stabilitas kapal (Kadhafi et al., 2021). Oleh karena itu, kajian teori mengenai HDPE, material konstruksi kapal, kekuatan material, pengujian mekanik, dan analisis struktur perahu menjadi landasan penting dalam penelitian ini.

2.1.1 *High Density Polyethylene* (HDPE)

High Density Polyethylene (HDPE) merupakan polimer termoplastik semi-kristalin dengan densitas sekitar 0,94 - 0,97 g/cm³ yang dikenal memiliki sifat ringan, tangguh, serta ketahanan kimia dan lingkungan yang sangat baik. Struktur semi-kristalin HDPE terdiri atas fase amorf dan kristalin, di mana tingkat kristalinitas dan keteraturan rantai molekul berpengaruh langsung terhadap sifat mekanik material, seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan keuletan.

Dalam konteks konstruksi kapal dan perahu berukuran kecil, HDPE menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan material konvensional seperti kayu. Material ini bersifat tahan terhadap korosi air laut, jamur, dan organisme perusak, serta memiliki ketangguhan yang baik terhadap beban benturan. Selain itu, HDPE tidak memerlukan perlakuan pelapisan atau

pengawetan seperti kayu, sehingga biaya perawatan jangka panjang relatif lebih rendah. Beberapa studi aplikatif menunjukkan bahwa HDPE telah digunakan secara nyata pada konstruksi kapal dan perahu nelayan, termasuk perahu pom-pong, dengan hasil stabilitas dan performa struktural yang memadai (Kadhafi et al., 2021; Siswandi & Aryawan, 2025).

Pemilihan HDPE sebagai material substitusi kayu pada perahu nelayan didorong oleh keterbatasan ketersediaan kayu konstruksi berkualitas serta meningkatnya biaya pembangunan dan perawatan perahu kayu. Dalam kondisi tersebut, HDPE dipandang sebagai material alternatif yang mampu memenuhi tuntutan kekuatan struktural sekaligus ketahanan lingkungan, khususnya untuk operasi di wilayah pesisir.

Sifat mekanik HDPE sangat dipengaruhi oleh morfologi kristal, berat molekul, serta riwayat proses pembentukannya, seperti metode pencetakan, kompresi, atau injeksi. Variasi proses tersebut dapat menghasilkan perbedaan yang signifikan pada kekuatan tarik, regangan putus, dan modulus elastisitas material (Zurella et al., 2020). Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa perlakuan panas (*annealing*) dapat memodifikasi struktur mikro HDPE melalui peningkatan atau perubahan tingkat kristalinitas, yang berdampak langsung pada peningkatan sifat mekanik dan kestabilan deformasi material (Yang et al., 2024).

Selain itu, pengaruh temperatur terhadap perilaku deformasi plastis HDPE menjadi aspek penting dalam aplikasi struktural. Studi terkini mengonfirmasi bahwa perubahan suhu dapat memengaruhi respons elastis-plastis HDPE secara signifikan, sehingga pemahaman hubungan antara suhu, struktur mikro, dan sifat mekanik menjadi krusial dalam perancangan struktur berbahan HDPE (Zhang et al., 2025). Dengan demikian, karakteristik HDPE sebagai material konstruksi perahu tidak dapat dilepaskan dari pengaruh perlakuan panas dan kondisi operasional, sehingga memerlukan evaluasi mekanik yang terukur sebelum diaplikasikan sebagai pengganti kayu pada perahu nelayan.

2.1.2 Material Konstruksi Kapal

Pemilihan material konstruksi kapal memegang peranan penting dalam menentukan kinerja struktural, daya tahan, serta biaya perawatan kapal selama masa operasional. Material yang umum digunakan dalam konstruksi kapal dan perahu meliputi kayu (*wood*), baja (*steel*), aluminium (*aluminium*), *fiberglass* (*fiber reinforced plastic/FRP*), serta material polimer seperti *High Density Polyethylene* (HDPE). Setiap material memiliki karakteristik mekanik, ketahanan lingkungan, dan implikasi biaya yang berbeda, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan ukuran kapal, kondisi operasi, dan kebutuhan pengguna.

Kriteria utama dalam pemilihan material konstruksi kapal meliputi kekuatan mekanik (seperti *tensile strength* dan *yield strength*), ketahanan terhadap korosi dan lingkungan laut, berat jenis (*density*) yang memengaruhi bobot kapal, kemudahan fabrikasi dan perbaikan, serta biaya material dan perawatan sepanjang umur pakai. Dalam konstruksi kapal kecil dan perahu nelayan, faktor kemudahan pengerjaan dan biaya operasional jangka panjang menjadi pertimbangan yang sangat penting.

Kayu masih banyak digunakan pada perahu nelayan tradisional karena ketersediaannya, kemudahan pembentukan, serta adanya keahlian lokal yang diwariskan secara turun-temurun.

Namun demikian, kayu memiliki kelemahan berupa kerentanan terhadap pembusukan, serangan organisme laut, degradasi akibat air laut, serta kebutuhan perawatan yang relatif tinggi. Selain itu, variasi sifat mekanik alami kayu menyebabkan ketidakseragaman kekuatan struktur kapal (Alamsyah et al., 2022).

Sebagai alternatif, material polimer dan komposit mulai banyak digunakan dalam konstruksi kapal modern. Material komposit seperti FRP menawarkan kekuatan dan durabilitas yang lebih baik dibanding kayu, dengan ketahanan lingkungan yang lebih tinggi serta umur layanan yang lebih panjang (Suryanto et al., 2025; Crupi, 2023). Di sisi lain, HDPE sebagai material polimer termoplastik juga telah digunakan secara luas pada struktur lambung kapal kecil, seperti kayak dan perahu nelayan, karena sifatnya yang tahan benturan, tahan korosi, dan relatif ekonomis (Padding Magazine, 2021).

Penggunaan HDPE pada konstruksi perahu menunjukkan potensi pengurangan biaya perawatan dibandingkan perahu kayu, karena material ini tidak mengalami pembusukan dan tidak memerlukan perlakuan pelindung khusus. Beberapa kajian industri dan aplikatif juga menunjukkan bahwa HDPE memiliki keunggulan dalam hal ketahanan lingkungan dan kemudahan pemeliharaan dibandingkan material tradisional, sehingga layak dipertimbangkan sebagai pengganti kayu pada perahu nelayan (Legacy HDPE, 2023). Oleh karena itu, pemahaman perbandingan karakteristik material kayu dan HDPE menjadi aspek penting dalam penelitian yang mengkaji substitusi kayu dengan HDPE pada konstruksi perahu nelayan.

2.1.3 Kekuatan Material dan Pengujian Mekanik

Kekuatan material merupakan kemampuan suatu material untuk menahan beban yang bekerja tanpa mengalami kegagalan struktural. Dalam konteks konstruksi perahu nelayan, material harus mampu menahan beban statis dan dinamis yang berasal dari berat sendiri perahu, muatan, gaya gelombang, serta gaya benturan selama operasi di laut. Oleh karena itu, evaluasi kekuatan material menjadi aspek penting dalam menentukan kelayakan suatu material sebagai elemen struktural perahu.

Pengujian mekanik dilakukan untuk memperoleh parameter kuantitatif yang menggambarkan perilaku material terhadap berbagai jenis pembebanan. Parameter-parameter tersebut menjadi dasar dalam membandingkan kinerja material alternatif, seperti HDPE, terhadap material konvensional seperti kayu. Beberapa jenis pengujian mekanik yang umum digunakan dan relevan dalam penelitian ini meliputi uji tarik, uji tekan, uji lentur, dan uji impak.

1. Uji tarik (*Tensile test*)

Uji tarik bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan gaya tarik hingga terjadi kegagalan. Pengujian ini menghasilkan parameter utama berupa kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), regangan putus (*elongation at break*), serta modulus elastisitas. Parameter tersebut mencerminkan kekuatan dan keuletan material dalam kondisi pembebanan tarik.

Pada material polimer seperti HDPE, uji tarik sangat penting karena sifat elastis-plastis material dipengaruhi oleh struktur kristalin, temperatur, dan riwayat proses. Penelitian terbaru

menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan regangan HDPE sangat dipengaruhi oleh suhu pengujian serta kondisi pemrosesan, sehingga uji tarik menjadi metode utama dalam mengevaluasi pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik HDPE (Zurella et al., 2020).

2. Uji tekan (*Compression test*)

Uji tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban tekan sebelum mengalami deformasi permanen atau kegagalan. Dalam konstruksi perahu, beban tekan dapat terjadi pada elemen struktur tertentu akibat distribusi muatan, tekanan hidrostatik, dan interaksi struktur dengan gelombang laut.

Pada material termoplastik seperti HDPE, perilaku tekan dapat berbeda dengan material logam atau kayu karena adanya deformasi plastis yang relatif besar sebelum kegagalan. Oleh karena itu, uji tekan diperlukan untuk memahami batas kekuatan tekan HDPE serta karakter deformasinya ketika digunakan sebagai elemen struktural perahu (Kadhafi et al., 2021).

3. Uji lentur (*Flexural test*)

Uji lentur bertujuan untuk mengetahui perilaku material terhadap pembebanan lentur yang menyebabkan kombinasi tegangan tarik dan tekan secara bersamaan. Pada perahu nelayan, pembebanan lentur sering terjadi pada lambung akibat pengaruh gelombang dan distribusi muatan.

Pengujian lentur memberikan informasi mengenai kekuatan lentur dan modulus lentur material, yang sangat relevan untuk mengevaluasi kekakuan struktur lambung. Studi mengenai material polimer menunjukkan bahwa sifat lentur HDPE dipengaruhi oleh tingkat kristalinitas dan perlakuan panas, sehingga uji lentur menjadi metode penting dalam menilai kesesuaian HDPE sebagai material pengganti kayu pada struktur perahu (Yang et al., 2024).

4. Uji dampak (*Impact test*)

Uji dampak digunakan untuk mengukur ketangguhan material terhadap beban kejut atau tumbukan secara tiba-tiba. Dalam operasi perahu nelayan, beban dampak dapat terjadi akibat benturan dengan benda terapung, dermaga, atau saat perahu menghantam gelombang.

Material HDPE dikenal memiliki ketangguhan dampak yang baik dibandingkan material rapuh, sehingga pengujian dampak menjadi salah satu indikator penting dalam menilai keamanan penggunaan HDPE pada perahu nelayan. Penelitian terkini menunjukkan bahwa perlakuan panas dan struktur mikro HDPE dapat memengaruhi kemampuan material dalam menyerap energi dampak sebelum mengalami kegagalan (da Silveira et al., 2024).

2.1.4 Analisis Struktur pada Perahu HDPE

Analisis struktur untuk kapal atau perahu mencakup penilaian gaya internal (*internal forces*) seperti momen lentur, gaya geser, tekanan dan regangan yang timbul akibat beban eksternal maupun beban operasional. Distribusi tegangan (*stress distribution*) dan deformasi (*deformation*) pada elemen struktural kapal (lunas, *girder*, *stringer*, *hull plating*) harus dianalisis untuk memastikan bahwa struktur kapal cukup kuat dan kaku. Metode analisis struktur dapat menggunakan pendekatan teori balok sederhana, teori pelat dan shell, atau metode elemen

hingga (*Finite Element Method, FEM*) untuk analisis kompleks. Sebagai referensi umum, buku karya Olav B. Faltinsen “*Seakeeping and Ship Behaviour in Waves*” memberikan kerangka analisis kapal terhadap gelombang dan beban dinamik (meskipun bukan spesifik HDPE).

Dalam aplikasinya terhadap perahu kecil berbahan HDPE, analisis struktur harus mempertimbangkan sifat termoplastik material (seperti visko-elastisitas, koefisien ekspansi termal), bagaimana pelat HDPE dilas atau disambung, dan bagaimana elemen penguat (*stringer; floor, deck beams*) terdistribusi. Sebagai contoh, Kafalı (2024) dalam studinya “*A Research on Design and Production of HDPE Boat Structural Elements*” menyebut bahwa struktur kapal HDPE memiliki elemen penguat seperti *girder centreline* dan *stringer* akan sangat membantu menahan beban lentur *bottom plate*. ResearchGate

Selain itu, faktor penting adalah faktor keamanan (*safety factor*) dalam desain perahu nelayan berbahan HDPE karena lingkungan operasional (gelombang, benturan, muatan nelayan) dapat memunculkan beban ekstrim. Perancangan harus memperhitungkan margin keamanan terhadap fatigue (kelelahan material) dan kerusakan sambungan las HDPE.

Dengan demikian, analisis struktur perahu berbahan HDPE harus menggabungkan teori struktur kapal umum dengan karakteristik khusus material HDPE, agar desain yang dihasilkan aman dan efektif.

2.2 Perbandingan HDPE dengan Kayu dan Kelayakan Pengganti

Secara mekanik, HDPE memiliki karakteristik yang berbeda dengan kayu keras (misalnya meranti) yang biasa dipakai sebagai bahan lambung perahu. Kayu meranti mempunyai kekuatan tarik (bending strength) dan modulus elastisitas jauh lebih tinggi sebagai contoh modulus elastisitas kayu meranti ~12,0 GPa dan kekuatan tekuk (*modulus of rupture*) sekitar 87,7 MPa. Sementara itu, HDPE hanya memiliki modulus elastisitas ~1,25 GPa dan kekuatan tarik ~32 MPa. Namun HDPE jauh lebih fleksibel (elongasi ~150%) dan lebih ringan. Tabel berikut merangkum perbandingan numerik beberapa sifat mekanik HDPE dan kayu meranti:

Table 2.1 Nilai Perbandingan Material Kayu Dengan Kayu Meranti

Sifat	HDPE (polietilena)	Kayu Meranti (Shorea spp.)
Densitas (kg/m ³)	~940	~675
Kekuatan Tarik (MPa)	~32	~87,7
Modulus Elastisitas (GPa)	~1,25	~12,0

2.3 Penelitian Terdahulu

Table 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Metode	Gap Penelitian	Sitasi
1.	<i>Analisis Struktur Kapal HDPE Berbasis Finite Element Method</i>	Simulasi FEM untuk analisis deformasi dan distribusi tegangan pada kapal HDPE.	Belum diuji pada model nyata dan belum mempertimbangkan kondisi lingkungan lokal Demak.	(Hidayat et al., 2023)
2.	<i>Uji Tarik dan Impak Material HDPE untuk Konstruksi Maritim</i>	Uji tarik dan impak HDPE pada suhu tropis untuk aplikasi laut.	Belum dilakukan uji struktur dan penerapan spesifik pada kapal nelayan kecil.	(Nuraini et al., 2023)
3.	<i>Aplikasi HDPE dalam Konstruksi Kapal Fiber Pengganti Kayu</i>	Uji tarik dan perbandingan sifat mekanik HDPE terhadap kayu ulin.	Belum dianalisis secara struktural dan belum dikaitkan dengan aspek ekonomis nelayan.	(Fauzan, 2022)
4.	<i>Analisis Ekonomi Pemeliharaan Kapal Nelayan di Pesisir Jawa Tengah</i>	Analisis biaya operasional dan pemeliharaan kapal nelayan kayu dan HDPE.	Tidak meneliti integrasi aspek ekonomi dengan kekuatan struktural material.	(Lestari et al., 2022)
5.	<i>Effect of Processing Temperature on the Mechanical Properties of HDPE</i>	Pengujian pengaruh suhu pemrosesan terhadap kekuatan tarik HDPE.	Tidak fokus pada penerapan material untuk kapal atau struktur maritim.	(Zhang et al., 2022)
6.	<i>Mechanical Characterization of HDPE for Small Boat Hulls</i>	Pengujian mekanik HDPE terhadap air laut, sinar UV, dan beban dinamis.	Perancangan dan perhitungan kekuatan struktur dengan material komposit (fiber & HDPE).	(Rahman et al., 2021)
7.	<i>Perancangan Struktur Perahu Fiber untuk Nelayan Kecil</i>	Perancangan dan perhitungan kekuatan struktur dengan material komposit (fiber & HDPE).	Belum mengaitkan hasil dengan kondisi operasional nelayan pesisir.	(Pratama, 2021)
8.	<i>Adaptasi Nelayan Desa Timbulsloko terhadap Perubahan Lingkungan Pesisir</i>	Studi kualitatif mengenai dampak abrasi dan perubahan lingkungan pesisir.	Belum mengkaji alternatif material perahu berbasis teknologi modern.	(Rohmat, 2021)
9.	<i>Analisis Struktur Perahu Tradisional di Pantai Utara Jawa</i>	Observasi dan analisis kegagalan struktur perahu kayu akibat gaya lentur dan kelembaban	Hanya fokus pada material kayu tanpa mempertimbangkan material alternatif.	(Sutanto, 2020)
10.	<i>Dinamika Sosial Ekonomi Nelayan di Pesisir Demak</i>	Studi deskriptif kualitatif kondisi ekonomi dan sosial nelayan Demak.	Tidak meneliti solusi material atau inovasi perahu.	(Kusnadi, 2019)

2.4 Gap Penelitian

Berdasarkan kajian pustaka di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai material HDPE untuk konstruksi kapal telah banyak dilakukan dan menunjukkan keunggulan dari segi kekuatan mekanik, ketahanan terhadap korosi, serta efisiensi biaya perawatan. Namun, hingga saat ini belum ada penelitian yang secara spesifik mengkaji penggunaan HDPE sebagai material pengganti kayu pada perahu nelayan di wilayah pesisir Demak, terutama dengan mempertimbangkan aspek struktur, kekuatan material, dan kemampuan ekonomi nelayan lokal.

Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada karakterisasi laboratorium atau analisis numerik tanpa mengaitkannya dengan kondisi sosial ekonomi nelayan yang berpengaruh terhadap penerapan material baru. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan menggabungkan analisis struktural dan pengujian kekuatan HDPE secara eksperimental, serta mempertimbangkan faktor ekonomis dan operasional nelayan Desa Timbulloko. Pendekatan multidisiplin ini diharapkan dapat menghasilkan model penerapan material alternatif yang tidak hanya kuat dan tahan lama, tetapi juga terjangkau dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat pesisir.