

DESIGN ENGINEERING & PRELIMINARY TECHNICAL EVALUATION OF THREE ENTRANCE HEXAGONAL TRAP

Rancang Bangun dan Evaluasi Teknis Awal Bubu Heksagonal Tiga Pintu Masuk

Oleh:

Eko Sulkhani Yulianto*, Sunardi, Surya Trisnady As Shadiqin

Program Studi Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan,
Departemen Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan dan
Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas
Brawijaya, Jalan Veteran, Malang 65145, Indonesia

*Korespondensi penulis: ekosulkhaniy@ub.ac.id

ABSTRACT

Entrance orientation, hydrodynamic loading, and bottom sliding are critical constraints in trap development. This study developed a three-entrance hexagonal trap, audited its component-level hydrodynamic resistance, evaluated sliding sensitivity under alternative bottom-contact assumptions, and conducted preliminary field trials. Prototype development was undertaken from December 2024 to February 2025 at “Balai Besar Penangkapan Ikan’s” workshop and at north of Semarang waters. The rigid hexagonal prism had 0.75 m sides and height, a maximum span of 1.50 m, an 8 mm steel frame, 2 inch polyethylene netting, a mass of 6 kg, and material costs of IDR 680,000. At a design current of 1.5 m s^{-1} , consistently recalculated drag was 26.73 N for the netting and 12.87 N for the frame, giving 39.60 N total drag; the netting contributed 67.5%. Depending on the assumed bottom coefficient (0.61-0.75), the sliding safety factor was 0.78-0.96 for the original mass and 0.97-1.20 after adding 1.5 kg of ballast. Catch was recorded in three of eight settings and comprised 31 unidentified individuals consisting of crabs and fish. The prototype was constructible and deployable, but the absence of a control trap, standardized soak time and bait, species and size identification, and near-bottom current measurements prevents conclusions about comparative catch efficiency, selectivity, and field stability. The design should therefore be regarded as a proof of concept requiring controlled experimental validation.

Key words: *bottom stability, drag force, hexagonal trap, prototype design, three entrances*

ABSTRAK

Orientasi pintu masuk, beban hidrodinamika, dan risiko pergeseran di dasar merupakan kendala penting dalam pengembangan bubu. Penelitian ini merancang bubu heksagonal tiga pintu masuk, mengaudit tahanan hidrodinamika setiap kelompok komponen, mengevaluasi sensitivitas pergeseran berdasarkan alternatif asumsi kontak dasar, dan melakukan uji lapangan pendahuluan. Pengembangan prototipe dilaksanakan pada Desember 2024–Februari 2025 di workshop Balai Besar Penangkapan Ikan Semarang dan perairan utara Kota Semarang. Bubu berbentuk prisma heksagonal kaku dengan panjang sisi dan tinggi 0,75 m, rentang maksimum 1,50 m, rangka besi 8 mm, jaring polietilena 2 inci, massa 6 kg, dan biaya bahan Rp680.000. Pada skenario arus $1,5 \text{ m s}^{-1}$, hasil perhitungan ulang menghasilkan tahanan jaring 26,73 N dan rangka 12,87 N, sehingga tahanan total 39,60 N; jaring menyumbang 67,5%. Bergantung pada koefisien kontak dasar 0,61-0,75, faktor keamanan terhadap pergeseran sebesar 0,78-0,96 pada massa awal dan 0,97-1,20 setelah penambahan pemberat 1,5 kg. Tangkapan tercatat pada tiga dari delapan setting dan terdiri atas 31 individu kepiting dan ikan yang belum diidentifikasi. Prototipe dapat dibuat dan dioperasikan, tetapi ketiadaan bubu kontrol, standarisasi lama perendaman dan umpan, identifikasi spesies dan ukuran, serta pengukuran arus dekat dasar menghalangi penarikan kesimpulan mengenai efisiensi tangkap komparatif, selektivitas, dan kestabilan lapangan. Desain ini

karena itu harus diposisikan sebagai bukti konsep yang masih memerlukan validasi eksperimental terkontrol.

Kata kunci: bubu heksagonal, gaya hambat, kestabilan dasar, prototipe, tiga pintu masuk

PENDAHULUAN

Bubu merupakan alat tangkap pasif yang memanfaatkan respon organisme terhadap umpan atau struktur perangkap, sehingga tidak memerlukan penarikan aktif selama operasi. Karakter tersebut dapat menurunkan konsumsi bahan bakar dan gangguan fisik terhadap dasar dibandingkan dengan alat tangkap tarik; gangguan utama bubu terhadap substrat umumnya terjadi ketika alat diangkat (Kopp *et al.*, 2020; Petetta *et al.*, 2020). Namun, predikat ramah lingkungan tidak dapat ditentukan hanya dari sifat pasifnya. Selektivitas ukuran dan spesies, tangkapan sampingan, kebutuhan ruang operasi, kehilangan alat, serta *ghost fishing* tetap dipengaruhi oleh desain, bahan, dan tata kelola (Petetta *et al.*, 2021; Vadziutsina & Riera, 2020). Karena itu, inovasi bubu perlu menilai kinerja tangkap bersama risiko ekologis dan kebutuhan operasional, bukan hanya keberhasilan alat menangkap organisme (Lucchetti *et al.*, 2023; Virgili *et al.*, 2024).

Kinerja bubu merupakan hasil interaksi antara geometri kerangka, jumlah dan orientasi pintu masuk, kemiringan lintasan, posisi umpan, ukuran mata jaring, lama perendaman, arus, dan perilaku target. Bukti empiris menunjukkan bahwa pengaruh jumlah pintu tidak bersifat linier. Dua pintu meningkatkan hasil ikan karang dibandingkan satu pintu pada kondisi tertentu (Sidik *et al.*, 2023), dan enam *funnel* menghasilkan tangkapan rajungan lebih banyak daripada dua *funnel* di perairan Rembang (Jayanto *et al.*, 2018). Sebaliknya, bubu kod satu pintu mengurangi peluang pelolosan dan meningkatkan hasil dibandingkan dengan dua pintu (Jørgensen *et al.*, 2017), sedangkan bubu rajungan dua pintu tidak selalu berbeda nyata dari bubu kontrol (Utami *et al.*, 2021). Temuan tersebut menegaskan bahwa jumlah pintu harus dievaluasi bersama bentuk bukaan, mekanisme retensi, spesies target, dan kondisi operasi (Tran *et al.*, 2020; Zulkarnain *et al.*, 2020).

Geometri pintu masuk juga harus sesuai dengan kemampuan bergerak organisme. Pada rajungan, kombinasi ukuran mata jaring lintasan dan sudut kemiringan menentukan keberhasilan merayap melewati *funnel*; sudut 40° memberikan respons terbaik pada kondisi eksperimen tertentu (Susanto *et al.*, 2021). Pola serupa dilaporkan pada perangkap lobster air tawar, yang menunjukkan bahwa luas bukaan saja tidak cukup untuk menjelaskan keberhasilan masuk (Vemilia *et al.*, 2022). Setelah organisme berada di dalam bubu, ukuran mata jaring dan celah pelolosan menentukan struktur ukuran tangkapan. Mata jaring yang lebih besar dapat meningkatkan proporsi rajungan berukuran layak tangkap (Mahiswara *et al.*, 2018), sedangkan celah pelolosan dan modifikasi dinding dapat mengurangi retensi individu yang belum layak tangkap (Maulina *et al.*, 2021; Susanto *et al.*, 2024).

Aspek hidrodinamika menjadi kritis ketika bubu ditempatkan pada dasar berarus. Gaya hambat meningkat terhadap kuadrat kecepatan aliran dan dipengaruhi oleh luas proyeksi efektif, solidity, material benang, jenis simpul, pola anyaman, ketegangan panel, serta sudut datang arus (Tang *et al.*, 2018, 2019). *Biofouling* dapat menutup bukaan jaring dan meningkatkan tahanan selama pemakaian (Gansel *et al.*, 2015). Oleh sebab itu, massa alat di udara tidak cukup untuk menyatakan bubu stabil; berat terendam, material yang benar-benar bersentuhan dengan substrat, distribusi pemberat, gaya angkat, dan momen pengguling (*overturning moment*) juga perlu diperhitungkan. Kajian yang ada lebih sering menilai jumlah pintu, ukuran mata jaring, atau hasil tangkapan secara terpisah. Integrasi geometri heksagonal, tiga pintu masuk, fabrikasi, audit tahanan komponen, sensitivitas kestabilan dasar, biaya bahan, dan uji fungsi awal masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat prototipe bubu heksagonal tiga pintu masuk, menghitung tahanan hidrodinamika seluruh kelompok komponen secara konsisten dalam satuan SI, mengevaluasi sensitivitas faktor keamanan terhadap alternatif asumsi kontak dasar, serta

mendeskripsikan fungsi operasional awal di perairan utara Kota Semarang. Penelitian diposisikan sebagai pengembangan bukti konsep dan tidak dimaksudkan untuk membuktikan keunggulan tangkapan, selektivitas, atau kestabilan dibandingkan dengan bubu konvensional.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Desember 2024-Februari 2025. Perancangan dan fabrikasi dilakukan di workshop Balai Besar Penangkapan Ikan (BBPI) Semarang, sedangkan uji operasional dilaksanakan di perairan utara Kota Semarang pada kedalaman sekitar 7 m. Penelitian menggunakan pendekatan pengembangan prototipe dan analisis kuantitatif deskriptif. Unit teknis yang diuji adalah satu prototipe tanpa bubu kontrol. Oleh karena itu, hasil lapangan hanya digunakan untuk menilai keterlaksanaan operasi awal dan tidak dianalisis secara inferensial untuk menyatakan efektivitas relatif.

Tahap pengembangan meliputi identifikasi kebutuhan teknis, penyusunan gambar kerja, penentuan geometri, pemilihan bahan, fabrikasi rangka, pemasangan jaring dan pintu masuk, pemeriksaan mutu, perhitungan hidrodinamika, serta uji lapangan. Kerangka dibentuk sebagai prisma heksagonal reguler dengan panjang sisi 0,75 m, rentang maksimum 1,50 m, dan tinggi 0,75 m. Rangka menggunakan besi berdiameter 8 mm, sedangkan badan menggunakan jaring polietilena (PE) bermata 2 inci. Tiga *funnel* memiliki panjang sekitar 0,34 m dan menggunakan dua geometri bukaan, yaitu lingkaran berdiameter 0,15 m dan elips bersumbu 0,20 x 0,10 m. Pemilihan mata jaring 2 inci merupakan keputusan konstruksi prototipe, bukan hasil optimasi selektivitas terhadap spesies atau ukuran target. Pemeriksaan mutu mencakup kesesuaian dimensi, kualitas sambungan, ketegangan jaring, keterbukaan *funnel*, fungsi pintu pengambilan hasil, massa, dan distribusi pemberat.

Audit dilakukan terhadap lembar kerja hidrodinamika agar seluruh komponen jaring R1-R7 dan kelompok batang rangka masuk ke dalam penjumlahan. Tekanan dinamis dihitung dengan massa jenis air laut $1,025 \text{ kg m}^{-3}$ dan kecepatan arus desain $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Nilai kecepatan tersebut digunakan sebagai skenario evaluasi teknis dan bukan hasil pengukuran arus pada setiap *setting* (Fridman, 1986).

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1)$$

$$F_{d,i} = n_i C_{d,i} q A_{e,i} \quad (2)$$

$$F_{d,total} = \sum F_{D,jaring} + \sum F_{D,ragka} \quad (3)$$

Keterangan :

- q = tekanan dinamis (N m^{-2}),
- ρ = massa jenis air laut (kg m^{-3}),
- v = kecepatan arus (m s^{-1}),
- $F_{d,i}$ = gaya hambat kelompok komponen (N),
- n_i = jumlah komponen sejenis,
- $C_{d,i}$ = koefisien hambat, dan
- $A_{e,i}$ = luas proyeksi efektif per komponen (m^2)

Luas efektif jaring yang digunakan adalah $0,00334 \text{ m}^2$ per komponen, dengan Cd 1,40 untuk dua panel normal terhadap arus, 0,92 untuk empat panel miring, dan 0,46 untuk komponen R7 yang sejajar dengan arus. Luas penampang efektif rangka adalah $0,00060 \text{ m}^2$ per batang, dengan Cd 1,30 untuk batang tegak dan 0,70 untuk batang miring.

Kestabilan translasi dievaluasi melalui perbandingan gaya penahan dasar dengan tahanan total. Berat alat dikonversi menjadi berat terendam ekuivalen, kemudian dikalikan dengan koefisien pengaruh dasar untuk memperoleh gaya penahan (Fridman, 1986).

$$W_w = E_y W_a \quad (4)$$

$$R_g = \mu W_w \quad (5)$$

$$SF = \frac{R_g}{F_{d,total}} \quad (6)$$

Keterangan :

W = berat terendam ekuivalen (kgf),

E_y = koefisien daya tenggelam baja (0,86),

W_a = berat alat atau berat setelah penambahan pemberat (kg),

R_g = gaya penahan dasar (kgf), μ koefisien pengaruh dasar, dan

SF = faktor keamanan terhadap pergeseran

Karena catatan lapangan tidak memastikan material yang dominan bersentuhan dengan substrat, analisis sensitivitas menggunakan $\mu = 0,61$ untuk besi pada pasir halus dan $\mu = 0,75$ untuk jaring pada pasir halus (Fridman & Carrothers, 1986). SF dihitung untuk berat awal 6 kg dan skenario tambahan pemberat baja 1,5 kg. Analisis dibatasi pada pergeseran translasi; gaya angkat, penetrasi rangka, dan momen pengguling tidak dihitung.

Uji operasional dilakukan sebanyak delapan *setting*. Data yang tersedia mencakup keberadaan tangkapan dan jumlah individu pada *setting* yang berhasil. Identifikasi spesies, lebar karapas, panjang ikan, jenis dan berat umpan, lama perendaman, koordinat, arus dekat dasar, perpindahan posisi, dan perubahan orientasi alat tidak terdokumentasi secara konsisten. Oleh sebab itu, CPUE berbasis bubu-jam, selektivitas ukuran atau spesies, serta hubungan statistik antara kondisi perairan dan tangkapan tidak dihitung. Hasil disajikan sebagai deskripsi fungsi operasional dan batas interpretasinya. Biaya dihitung dari bahan rangka, jaring, tali, dan kawat pengikat; tenaga kerja, pelapis antikarat, pemberat tambahan, umpan, pelampung tanda, bahan bakar, pemeliharaan, kehilangan alat, dan penyusutan tidak dimasukkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Geometris dan Konstruksi

Hasil pengembangan berupa satu bubu prisma heksagonal kaku dengan tiga *funnel* (Figure 1). Enam panel sisi membentuk modul berulang untuk pemasangan jaring, sambungan rangka, dan pembagian titik pemberat. Konfigurasi ini memungkinkan pintu ditempatkan pada beberapa arah tanpa memusatkan seluruh bukaan pada satu panel. Secara struktural, kerangka ruang mendistribusikan beban ke beberapa batang dan mempertahankan volume perangkap ketika menerima aliran. Meskipun demikian, penelitian tidak membandingkan bentuk heksagonal dengan bubu persegi, kubah, silinder, atau bubu lipat pada massa, luas jaring, dan volume yang setara. Variasi model bubu dapat menghasilkan kinerja tangkap dan konsekuensi operasional yang berbeda (Meintzer *et al.*, 2018). Karena itu, hasil ini hanya menunjukkan bahwa geometri heksagonal dapat difabrikasi dan dioperasikan, bukan bahwa bentuk tersebut lebih stabil atau lebih efektif.

Pemilihan rangka besi 8 mm memberikan kekakuan untuk mempertahankan bentuk ketika jaring menerima aliran, tetapi menimbulkan kompromi desain berupa risiko korosi, massa angkut, dan kebutuhan ruang geladak. Rentang maksimum 1,50 m pada konstruksi kaku membatasi jumlah unit yang dapat disusun pada kapal kecil, berbeda dari bubu lipat yang dirancang untuk efisiensi penyimpanan dan penanganan (Utami *et al.*, 2021; Zulkarnain *et al.*, 2020). Sambungan modular atau mekanisme lipat dapat dikembangkan, tetapi harus diuji terhadap perubahan geometri *funnel*, kekakuan, kelelahan sambungan, dan peningkatan titik kegagalan. Pelapis antikarat, inspeksi

sambungan las, dan penggantian komponen perlu dimasukkan sebagai kebutuhan pemeliharaan dan biaya siklus hidup, bukan dianggap sebagai tambahan kosmetik.

Table 1. *Technical specifications of three-entrances hexagonal fish trap prototype*

Tabel 1. Spesifikasi teknis prototipe bubu heksagonal tiga pintu masuk

Komponen	Spesifikasi	Fungsi teknis
Kerangka utama	Prisma heksagonal; besi Ø8 mm; sisi 0,75 m; rentang 1,50 m; tinggi 0,75 m	Menopang bentuk dan panel jaring
Badan bubu	Jaring PE; mata 2 inci; 15 mata vertikal dan 17 mata horizontal per panel	Membentuk ruang retensi dan meneruskan aliran
Penutup atas-bawah	Jaring PE 2 inci; sekitar 37 x 40 mata	Menutup ruang perangkap
Pintu masuk	Tiga <i>funnel</i> ; panjang ±0,34 m; bukaan lingkaran Ø0,15 m dan elips 0,20 x 0,10 m	Menyediakan akses dari beberapa arah
Pintu pengambilan	Bukaan ±0,35 m	Mengeluarkan tangkapan dan memudahkan perawatan
Pemberat terpasang	Enam batang besi Ø8 mm; panjang 0,20 m; massa total ±0,473 kg di udara	Menambah berat terendam
Berat total	6 kg di udara	Parameter penanganan dan kestabilan awal

Sumber: data dan dokumentasi penelitian (2025). PE = polietilena

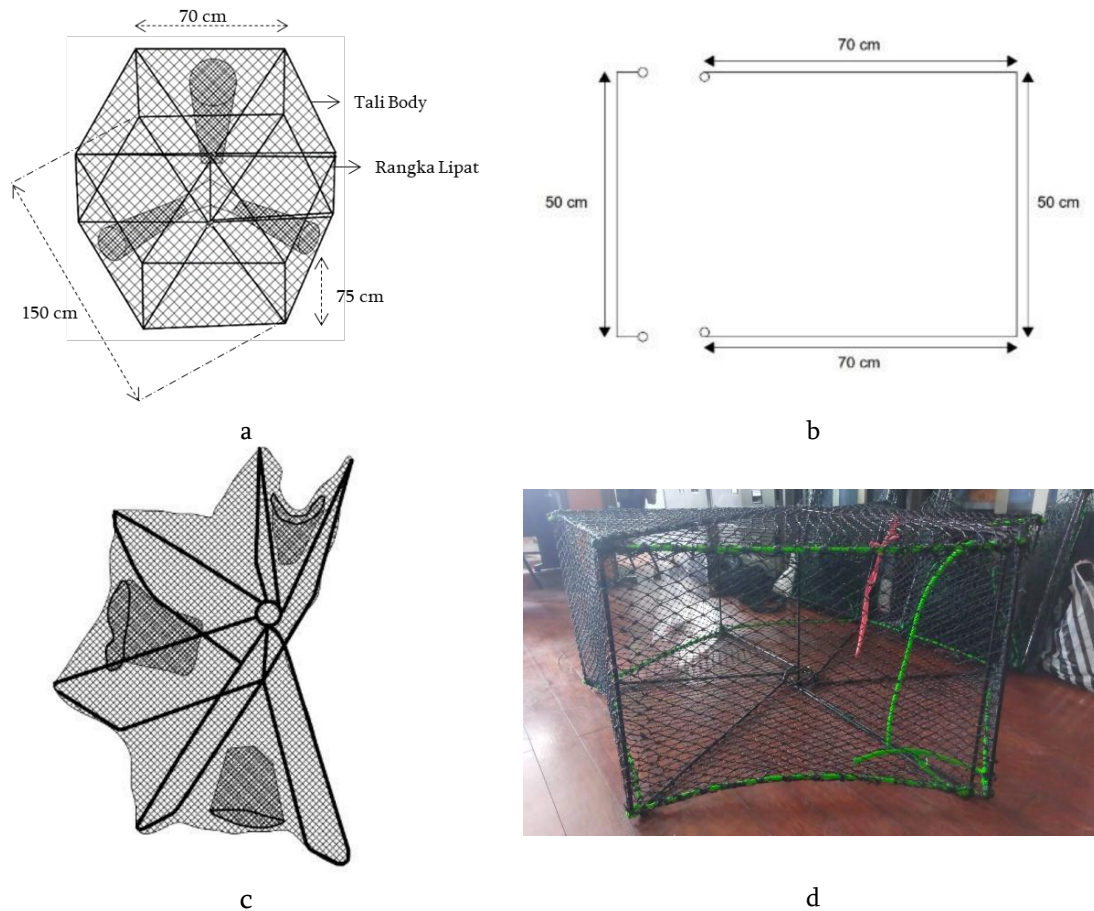


Figure 1 Three-entrances hexagonal fish trap

- (a) schematic drawings;
 (b) frame size;
 (c) folding illustration;
 (d) fabricated prototype

Gambar 1 Bubu heksagonal tiga pintu masuk

- (a) gambar rancangan;
 (b) ukuran rangka;
 (c) ilustrasi pelipatan;
 (d) prototipe hasil fabrikasi

Fungsi Pintu Masuk dan Implikasi Biologis

Tiga *funnel* ditempatkan pada panel berbeda untuk menyediakan lebih dari satu arah pendekatan. Bukaan lingkaran berdiameter 0,15 m memiliki luas sekitar 176,7 cm², sedangkan bukaan elips 0,20 x 0,10 m memiliki luas sekitar 157,1 cm². Pertimbangan perbedaan luas tersebut memberikan peluang masuk yang lebih besar karena organisme atau target tangkapan harus menemukan pintu, merayap atau berenang pada bidang *funnel*, melewati ujung bukaan, dan tetap berada di dalam ruang retensi. Susanto *et al.* (2021) menunjukkan bahwa ukuran mata jaring lintasan dan sudut kemiringan memengaruhi kemampuan rajungan melewati pintu; Vemilia *et al.* (2022) juga menunjukkan pentingnya kemiringan lintasan dan bentuk bukaan pada organisme yang bergerak merayap. Dengan demikian, evaluasi *funnel* perlu berbasis urutan perilaku mendekat, menemukan, masuk, berbalik, dan lolos, sebagaimana ditekankan dalam pendekatan observasi perilaku pada desain bubu (Méhault *et al.*, 2022).

Penggunaan tiga *funnel* berdasarkan asumsi sederhana bahwa semakin banyak pintu selalu meningkatkan hasil. Dua mulut meningkatkan tangkapan ikan karang dibandingkan satu mulut pada kondisi tertentu (Sidik *et al.*, 2023), dan enam *funnel* pada bubu payung menghasilkan tangkapan rajungan lebih banyak daripada dua *funnel* (Jayanto *et al.*, 2018). Meskipun bubu rajungan dua pintu tidak selalu berbeda nyata dari bubu kontrol (Utami *et al.*, 2021), bubu kod satu pintu menurunkan peluang pelolosan dan meningkatkan hasil dibandingkan dengan dua pintu (Jørgensen *et al.*, 2017). Desain geometri pintu juga memengaruhi efisiensi penangkapan kepiting renang (Tran *et al.*, 2020), dan pengaruh posisi pintu dapat melemah ketika arah arus berubah-ubah (Rompis *et al.*, 2019). Oleh karena itu, tiga pintu pada prototipe ini merupakan hipotesis desain yang memperluas arah akses, bukan bukti peningkatan efektivitas. Karena untuk membuktikan keefektifan perlu pengujian lanjut dengan bubu kontrol atau dengan menggunakan kamera bawah air diperlukan untuk membandingkan frekuensi pertemuan, keberhasilan masuk, waktu tinggal, dan pelolosan pada setiap tipe pintu.

Tahanan Hidrodinamika

Perhitungan tahanan hidrodinamika berdasarkan simulasi bahwa arus yang mengalir tegak lurus pada salah satu sisi dari bubu hexagonal (**Figure 2**). Hasil perhitungan menggunakan ρ air laut = 1.025 kg m^{-3} menghasilkan tekanan dinamis $1.153,13 \text{ N m}^{-2}$ pada $V = 1,5 \text{ m s}^{-1}$. Setelah seluruh kelompok komponen dijumlahkan secara konsisten, tahanan jaring menjadi $26,73 \text{ N}$ dan rangka $12,87 \text{ N}$; tahanan total mencapai $39,60 \text{ N}$ atau $4,04 \text{ kgf}$, seperti pada **Table 2**.

Jaring menyumbang 67,5% dari tahanan total meskipun diameter batang rangka lebih besar daripada diameter benang. Dominasi tersebut berasal dari luas proyeksi kumulatif benang pada seluruh panel. Hasil eksperimen pada panel jaring menunjukkan bahwa tahanan dipengaruhi oleh *solidity*, sudut datang, kecepatan aliran, material benang, jenis simpul, dan pola anyaman (Tang *et al.*, 2018, 2019). Implikasi desainnya adalah bahwa pengurangan tahanan tidak cukup dilakukan dengan mengecilkan diameter rangka.

Pola pemotongan jaring, *hanging ratio*, ketegangan panel, bentuk deformasi saat menerima arus, dan orientasi bubu juga berpengaruh pada total tahanan. Nilai $39,60 \text{ N}$ merupakan hasil simulasi dengan skenario kecepatan arus (v) $1,5 \text{ ms}^{-1}$, bukan pengukuran gaya atau arus di lapangan. Pengujian *flume tank* diperlukan untuk memperoleh koefisien hambat prototipe secara langsung dan menilai interaksi aliran-struktur yang tidak tertangkap oleh pendekatan luas proyeksi statis. Karena F_d berbanding lurus dengan v^2 , dengan asumsi koefisien hambat dan geometri tetap, tahanan total diperkirakan sekitar $17,60 \text{ N}$ pada $1,0 \text{ m s}^{-1}$ dan $70,40 \text{ N}$ pada $2,0 \text{ m s}^{-1}$.

Table 2. Component resistance calculated for 1.5 m s^{-1} current flow scenario

Tabel 2. Tahanan komponen hasil perhitungan pada skenario arus $1,5 \text{ m s}^{-1}$

Kelompok komponen	n	Cd	Ae (m^2)	Fd (N)
Jaring R1 dan R4	2	1,40	0,00334	10,78
Jaring R2, R3, R5, dan R6	4	0,92	0,00334	14,17
Jaring R7	1	0,46	0,00334	1,77
Rangka tegak I	6	1,30	0,00060	5,40
Rangka miring	8	0,70	0,00060	3,87
Rangka tegak II	4	1,30	0,00060	3,60
Total	-	-	-	39,60

Catatan: $q = 1/2 \rho V^2$; $\rho = 1,025 \text{ kg m}^{-3}$; $v = 1,5 \text{ m s}^{-1}$

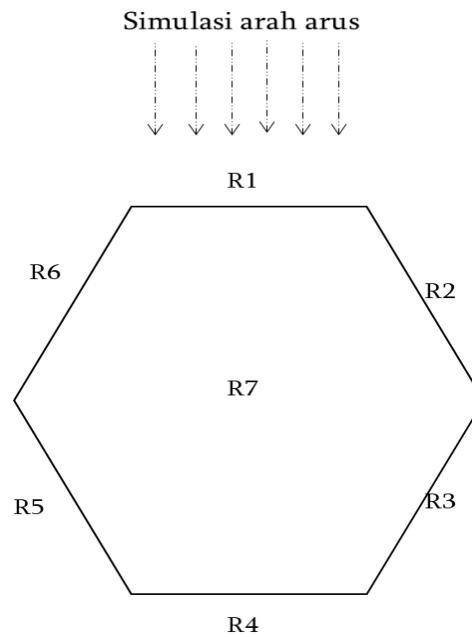


Figure 2 Illustration of flow direction on total resistance calculation of the hexagonal trap

Gambar 2 Ilustrasi arah arus dalam perhitungan tahanan total bubu heksagonal

Hubungan ini menunjukkan bahwa kesalahan kecil dalam penetapan kecepatan desain dapat menghasilkan perbedaan besar dalam kebutuhan pemberat. Ketidakpastian juga meningkat selama pemakaian karena *biofouling* menutup sebagian bukaan dan meningkatkan tahanan panel jaring (Gansel *et al.*, 2015). Oleh sebab itu, arus perlu diukur pada ketinggian alat dari dasar, bersama orientasi panel dan kondisi kebersihan jaring, sebelum nilai skenario digunakan untuk menetapkan konfigurasi pemberat operasional.

Sensitivitas Kestabilan Dasar

Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa kesimpulan kestabilan sangat bergantung pada material kontak dasar. Hasil perhitungan sensitivitas faktor keamanan pergeseran terhadap asumsi kontak dasar perairan disajikan pada **Table 3**. Pada asumsi rangka besi menyentuh pasir halus, SF hanya 0,78 dan tetap 0,97 setelah tambahan pemberat 1,5 kg; kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa gaya penahan yang dihitung belum melebihi tahanan skenario. Pada asumsi jaring-pasir halus, SF meningkat dari 0,96 menjadi 1,20. Meskipun nilai 1,20 melampaui satu, margin 20% masih terbatas terhadap variasi arus, gaya angkat, *biofouling*, ketidakrataan dasar, dan ketidakpastian koefisien kontak. Karena substrat, perpindahan posisi, dan orientasi alat tidak diukur, tambahan pemberat 1,5 kg belum dapat dinyatakan memadai untuk semua kondisi perairan.

Bentuk heksagonal menyediakan beberapa titik untuk mendistribusikan pemberat dan berpotensi menurunkan pusat massa apabila beban dipasang merata pada rangka bawah. Namun, luas bidang dasar geometris tidak identik dengan luas kontak aktual. Gaya penahan ditentukan oleh batang atau jaring yang benar-benar menyentuh substrat, kedalaman penetrasi pada pasir atau lumpur, dan kemungkinan alat terangkat atau berputar. Stabilitas terhadap penggulingan juga memerlukan perbandingan momen penahan dengan momen akibat arus pada titik tangkap gaya. Karena gaya angkat, tinggi pusat tekanan, pusat massa, dan penetrasi rangka belum dihitung, hasil penelitian hanya menggambarkan kecenderungan pergeseran translasi dalam dua asumsi kontak.

Table 3. Sensitivity of shear safety factor to basic contact assumptions**Tabel 3.** Sensitivitas faktor keamanan pergeseran terhadap asumsi kontak dasar

Skenario	Asumsi kontak	μ	Rg (kgf)	SF
Massa awal 6,0 kg	Besi-pasir halus	0,61	3,15	0,78
Massa awal 6,0 kg	Jaring-pasir halus	0,75	3,87	0,96
Dengan pemberat 1,5 kg	Besi-pasir halus	0,61	3,93	0,97
Dengan pemberat 1,5 kg	Jaring-pasir halus	0,75	4,84	1,20

Catatan: gaya berat terendam dihitung dengan E_y baja = 0,86; tahanan total $F_d = 39,6$ N

Biaya Material dan Implikasi Operasional

Biaya bahan satu prototipe berjumlah Rp680.000 (**Table 4**). Jaring menyerap 51,5% dan besi 36,8%, sehingga keduanya membentuk 88,3% biaya bahan. Angka tersebut tidak mencakup tenaga kerja, pelapis antikarat, pemberat tambahan, umpan, pelampung tanda, bahan bakar, pemeliharaan, kehilangan alat, dan penyusutan. Oleh karena itu, Rp680.000 merupakan biaya material prototipe, bukan biaya produksi penuh dan bukan bukti kelayakan ekonomi. Evaluasi kelayakan memerlukan umur teknis, kapasitas kapal dalam membawa unit bubu, waktu penanganan, jumlah unit per trip, hasil per bubu-jam, harga tangkapan, kebutuhan perawatan, dan frekuensi kehilangan alat. Perbandingan ekonomi juga harus dilakukan terhadap bubu kontrol dengan skala operasi yang setara (Meintzer *et al.*, 2018; Petetta *et al.*, 2020).

Table 4. Material costs for one prototype unit**Tabel 4.** Biaya bahan satu unit prototipe

Komponen	Biaya (Rp)	Proporsi (%)
Besi rangka	250.000	36,8
Tali badan/tali PE	50.000	7,4
Jaring PE	350.000	51,5
Kawat pengikat	30.000	4,4
Total	680.000	100,0

Uji Lapangan Pendahuluan

Prototipe dapat diturunkan dan diangkat pada delapan *setting* (**Figure 4**). Tangkapan tercatat pada tiga *setting*. *setting* pertama menghasilkan empat individu (tiga kepiting dan satu ikan), *setting* kedua tujuh individu (tiga kepiting dan empat ikan), dan *setting* ketiga 20 individu yang dilaporkan didominasi kepiting. Lima *setting* berikutnya tidak menghasilkan tangkapan (**Figure 3**). Dengan demikian, 37,5% hanya merupakan proporsi *setting* yang menghasilkan tangkapan, bukan efisiensi tangkap.

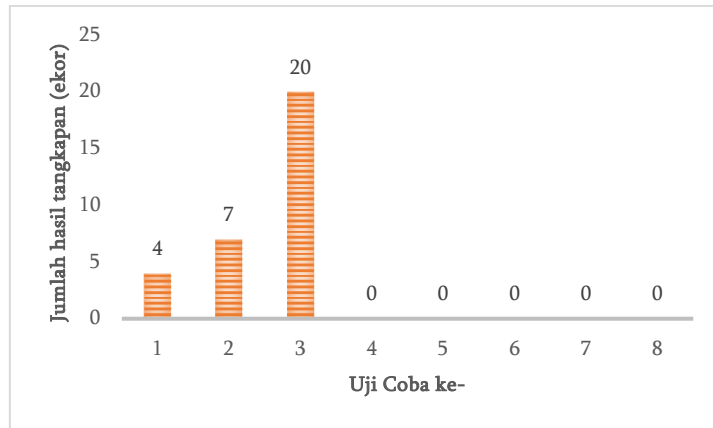


Figure 2 Graph showing the catch volume from experimental fishing of hexagonal trap

Gambar 2 Grafik jumlah hasil tangkapan uji coba penangkapan bubu hexagonal



Figure 4 Preliminary field test at north Semarang City waters (Source: research documentation, 2025)

(a) prototype testing in preliminary field trials;

(b) catch collecting

Gambar 4 Uji lapangan pendahuluan di perairan utara Kota Semarang (Sumber: dokumentasi penelitian 2025)

(a) penurunan prototipe pada uji lapangan pendahuluan;

(b) pengambilan hasil tangkapan

Tangkapan pada tiga setting menunjukkan bahwa sebagian organisme dapat menemukan pintu, memasuki ruang bubu, dan tertahan sampai alat diangkat. Temuan tersebut cukup untuk menunjukkan fungsi perangkat secara awal, tetapi tidak cukup untuk menilai efektivitas. Hal ini sejalan dengan Bachelor (2024), yang menegaskan bahwa hasil tangkapan bubu dapat sangat bervariasi akibat desain alat, jenis umpan, lama perendaman, kondisi lingkungan, karakteristik habitat, dan interaksi perilaku, sehingga faktor-faktor tersebut perlu distandardisasi sebelum data hasil tangkapan digunakan untuk mengetahui kinerja dari bubu heksagonal hasil rancang bangun. Ketidadaan kontrol, replikasi antardesain, pengacakan posisi, identifikasi spesies, ukuran individu, standardisasi umpan dan lama perendaman, serta pengukuran oseanografi menghalangi pemisahan pengaruh desain dari pengaruh lokasi dan waktu. Cuaca buruk terjadi selama sebagian pengujian, tetapi karena angin, gelombang, arus, dan perpindahan alat tidak dicatat pada setiap *setting*, cuaca hanya dapat disebut sebagai kemungkinan penjelas dan bukan penyebab empiris hasil tangkapan nol. Karena ketika cuaca buruk tersebut durasi soaking tidak selama ketika cuaca normal.

Implikasi Pengembangan dan Keberlanjutan

Kontribusi penelitian terletak pada integrasi geometri heksagonal, tiga *funnel*, jaring PE 2 inci, fabrikasi, audit tahanan komponen, analisis sensitivitas pergeseran, biaya material, dan uji fungsi awal dalam satu prototipe. Tahap validasi berikutnya harus membandingkan prototipe dengan bubu kontrol yang memiliki volume, massa, luas jaring, umpan, dan lama perendaman yang setara. Parameter minimum meliputi CPUE ($\text{kg bubu}^{-1} \text{jam}^{-1}$), proporsi tangkapan layak tangkap, *bycatch*, frekuensi pelolosan, perubahan orientasi, perpindahan posisi, waktu penanganan, dan biaya per kilogram tangkapan masih perlu dilakukan. Kamera bawah air juga perlu digunakan untuk menghubungkan desain pintu dengan perilaku masuk dan keluar. Panel yang dapat terurai atau komponen *biodegradable* juga perlu diuji untuk mengurangi *ghost fishing* ketika alat hilang (Jhohan *et al.*, 2024; Petetta *et al.*, 2021). Pengembangan tersebut sebaiknya dilakukan secara bertahap, dengan satu faktor desain diuji pada setiap eksperimen agar pengaruhnya dapat diisolasi (Lucchetti *et al.*, 2023). Atraktor cahaya dapat ditempatkan sebagai perlakuan terpisah karena responsnya bergantung pada spesies dan mekanisme daya tarik (Humborstad *et al.*, 2018).

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian menghasilkan prototipe bubu heksagonal tiga pintu masuk dengan rangka besi 8 mm, jaring PE 2 inci, massa 6 kg, dan biaya material Rp680.000. Audit yang memasukkan seluruh komponen R1-R7 menghasilkan tahanan jaring 26,73 N dan rangka 12,87 N, sehingga tahanan total pada skenario arus $1,5 \text{ m s}^{-1}$ sebesar 39,60 N. Jaring menjadi komponen dominan dengan kontribusi 67,5%. Faktor keamanan pergeseran sebesar 0,78-0,96 pada massa awal dan 0,97-1,20 setelah tambahan pemberat 1,5 kg, sehingga kecukupan pemberat belum dapat dipastikan. Tangkapan pada tiga dari delapan *setting* menunjukkan fungsi operasional awal, tetapi belum membuktikan efisiensi tangkap, selektivitas, kestabilan lapangan, atau keunggulan terhadap bubu konvensional. Dengan demikian, prototipe ini merupakan bukti konsep teknis, bukan desain final yang telah tervalidasi.

Pengujian lanjutan perlu menggunakan bubu kontrol, replikasi memadai, pengacakan posisi, standardisasi umpan dan lama perendaman, identifikasi spesies dan ukuran individu, pengukuran arus dekat dasar, pemetaan substrat, serta pencatatan perpindahan dan orientasi alat. Variasi jumlah, bentuk, ukuran, dan kemiringan *funnel*; ukuran mata jaring dan celah pelolosan; distribusi pemberat; konstruksi modular; pelapis antikarat; serta panel *biodegradable* harus diuji sebagai perlakuan terpisah. Prioritas pertama adalah mengukur kestabilan aktual dan membandingkan CPUE dengan bubu kontrol. Prioritas kedua adalah mengevaluasi selektivitas dan pelolosan organisme belum layak tangkap. Prioritas ketiga adalah menghitung biaya siklus hidup dan kelayakan operasional pada jumlah unit yang realistis untuk kapal nelayan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Penangkapan Ikan Semarang atas dukungan fasilitas workshop dan pelaksanaan pengujian lapangan, serta kepada Program Studi Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya atas dukungan akademik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachelor, N. M. (2024). A review and synthesis of the benefits, drawbacks, and considerations of using traps to survey fish and decapods. *ICES Journal of Marine Science*, 81(1), 1-21. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad206>.
- Fridman, A. L., & Carrothers, P. J. G. (1986). Calculations for fishing gear designs. Fishing News Books.
- Gansel, L. C., Plew, D. R., Endresen, P. C., Olsen, A. B., Misimi, E., Guenther, J., & Jensen, Ø. (2015). Drag of clean and fouled net panels: Measurements and parameterization of fouling. *PLOS ONE*, 10(7), e0131051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131051>.
- Humborstad, O. B., Utne-Palm, A. C., Breen, M., & Løkkeborg, S. (2018). Artificial light in baited pots substantially increases the catch of cod (*Gadus morhua*) by attracting active bait, krill (*Thysanoessa inermis*). *ICES Journal of Marine Science*, 75(6), 2257-2264. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy099>.
- Jayanto, B. B., Prihantoko, K. E., Triarso, I., & Kurohman, F. (2018). Pengaruh penambahan *funnel* pada alat tangkap bubu terhadap hasil tangkapan rajungan (*Portunus pelagicus*) di perairan Rembang, Jawa Tengah. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 13(2), 100-104. <https://doi.org/10.14710/ijfst.13.2.100-104>.
- Jhohan, J., Mawardi, W., Komarudin, D., Saputra, R., Yuwandana, D. P., & Riyanto, M. (2024). Using *biodegradable* materials in crab pots to mitigate *ghost fishing* effects. *Engineering and Technology Journal*, 9(6). <https://doi.org/10.47191/etj/v9i06.07>.
- Jørgensen, T., Løkkeborg, S., Furevik, D. M., Humborstad, O. B., & De Carlo, F. (2017). Floated cod pots with one entrance reduce probability of escape and increase catch rates compared with pots with two entrances. *Fisheries Research*, 187, 41-46. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.10.016>.
- Kopp, D., Coupeau, Y., Vincent, B., Morandeau, F., Méhault, S., & Simon, J. (2020). The low impact of fish traps on the seabed makes it an eco-friendly fishing technique. *PLOS ONE*, 15(8), e0237819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237819>.
- Lucchetti, A., Melli, V., & Brčić, J. (2023). Editorial: Innovations in fishing technology aimed at achieving sustainable fishing. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1310318. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1310318>.
- Mahiswara, Hufiadi, Baihaqi, & Budiarti, T. W. (2018). Pengaruh ukuran mata jaring bubu lipat terhadap jumlah dan ukuran hasil tangkapan rajungan di perairan utara Lamongan, Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 24(3), 175-185. <https://doi.org/10.15578/jppi.24.3.2018.175-185>.
- Maulina, I. D., Purbayanto, A., & Nurani, T. W. (2021). Penggunaan celah pelolosan pada bubu untuk mengurangi tertangkapnya kerapu muda di Pulau Karimunjawa. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 17(4), 254-261. <https://doi.org/10.14710/ijfst.17.4.254-261>.

- Meintzer, P., Walsh, P., & Favaro, B. (2018). Comparing catch efficiency of five models of pot for use in a Newfoundland and Labrador cod fishery. *PLOS ONE*, 13(6), e0199702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199702>.
- Méhault, S., Morandeau, F., Simon, J., Faillettaz, R., Abangan, A., Cortay, A., & Kopp, D. (2022). Using fish behavior to design a fish pot: Black seabream (*Spondyliosoma cantharus*) case study. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1009992. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1009992>.
- Petetta, A., Vasapollo, C., Virgili, M., Bargione, G., & Lucchetti, A. (2020). Pots vs trammel nets: A catch comparison study in a Mediterranean small-scale fishery. *PeerJ*, 8, e9287. <https://doi.org/10.7717/peerj.9287>.
- Petetta, A., Virgili, M., Guicciardi, S., & Lucchetti, A. (2021). Pots as alternative and sustainable fishing gears in the Mediterranean Sea: An overview. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31, 773-795. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09676-6>.
- Rompis, J., Paransa, I. J., & Pamikiran, R. D. Ch. (2019). Pengaruh posisi pintu masuk (*entrance*) bubu apung terhadap hasil tangkapan pada rumpon laut dangkal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap*, 4(1), 1-5. <https://doi.org/10.35800/jitpt.4.1.2019.22411>.
- Sidik, F., Sueb, Z., & Iskandar, M. D. (2023). Pengaruh perbedaan jumlah mulut bubu terhadap hasil tangkapan di perairan Kepulauan Seribu. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 5(1), 71-79. <https://doi.org/10.29244/core.5.1.071-079>.
- Susanto, A., Nurdin, H. S., Irnawati, R., Riyanto, M., Ependi, M., Supadminingsih, F. N., Hamzah, A., & Syafrie, H. (2021). Pengembangan desain pintu masuk bubu lipat berdasarkan aspek tingkah laku rajungan. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 12(2), 125-136. <https://doi.org/10.29244/jmf.v12i2.36616>.
- Susanto, A., Nurdin, H. S., Jayanudin, J., Irnawati, R., Hamzah, A., Supadminingsih, F. N., Syafrie, H., Azkia, L. I., Sucilawati, M., Adisaputra, D. Y., & Hikmatyar, A. D. (2024). Modifikasi dinding bubu lipat untuk meloloskan rajungan yang belum layak tangkap. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 15(1), 25-36. <https://doi.org/10.29244/jmf.v15i1.49776>.
- Tang, H., Xu, L., & Hu, F. (2018). Hydrodynamic characteristics of knotted and knotless purse seine netting panels as determined in a flume tank. *PLOS ONE*, 13(2), e0192206. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192206>.
- Tang, H., Hu, F., Xu, L., Dong, S., Zhou, C., & Wang, X. (2019). Variations in hydrodynamic characteristics of netting panels with various twine materials, knot types, and weave patterns at small attack angles. *Scientific Reports*, 9, 1928. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35907-1>.
- Tran, P. D., Nguyen, L. T., To, P. V., & Nguyen, K. Q. (2020). Effects of the trap entrance designs on the catch efficiency of swimming crab *Charybdis feriata* fishery. *Fisheries Research*, 232, 105730. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105730>.
- Utami, W. D., Zulkarnain, Martasuganda, S., & Kurniawati, V. R. (2021). Experimental fishing bubu lipat modifikasi konstruksi dua pintu untuk penangkapan rajungan (*Portunus spp.*). *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 4(1), 83-95. <https://doi.org/10.29244/core.4.1.083-095>.
- Vadziutsina, M., & Riera, R. (2020). Review of fish trap fisheries from tropical and subtropical reefs: Main features, threats and management solutions. *Fisheries Research*, 223, 105432. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105432>.
- Vemilia, Puspito, G., Komarudin, D., & Yusfiandayani, R. (2022). Konstruksi perangkap lipat untuk menangkap lobster air tawar (*Cherax sp.*). *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 5(3), 251-264. <https://doi.org/10.29244/core.5.3.251-264>.

- Virgili, M., Petetta, A., Herrmann, B., Cerbule, K., Guicciardi, S., La Manna, G., Malvarosa, L., Li Veli, D., Barone, G., & Lucchetti, A. (2024). Can pots be an alternative fishing gear to gillnets? A Mediterranean case study. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 34, 1665-1683. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09893-9>.
- Zulkarnain, Wahju, R. I., Wahyudi, T., Purwangka, F., & Yuwandana, D. P. (2020). Penggunaan bubu lipat modifikasi pada penangkapan rajungan (*Portunus sp.*) di perairan Utara Pemalang, Jawa Tengah. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 3(2), 155-167. <https://doi.org/10.29244/core.3.2.155-167>.