

# Studi Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada Pengaruh Desain ROV (*Remotely Operated Vehicle*) terhadap Stabilitas Hidrodinamika untuk Penghematan Daya

Veha Putra<sup>1</sup>, Andi Kurniawan<sup>2</sup>, Laode Idris<sup>3</sup>, Elfira Nureza Ardina<sup>4</sup>

Teknik Elektro, Universitas Semarang

Email: \*[vehaputra8@gmail.com](mailto:vehaputra8@gmail.com), [andikurniawan2@gmail.com](mailto:andikurniawan2@gmail.com), [laode@usm.ac.id](mailto:laode@usm.ac.id),  
[elfira\\_na@usm.ac.id](mailto:elfira_na@usm.ac.id)

(Naskah masuk: 19 Mei 2025, diterima untuk diterbitkan: 10 Oktober 2025)

**Abstrak:** Stabilitas hidrodinamika ROV (*Remotely Operated Vehicle*) sering kali menjadi tantangan utama, terutama pada desain konvensional yang kurang memperhatikan optimasi bentuk dan distribusi gaya fluida. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi desain ROV terhadap stabilitas hidrodinamika dan penghematan daya baterai menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak Autodesk CFD. Model ROV dengan dimensi panjang 60 cm, tinggi 45 cm, dan lebar 50 cm (Desain A) serta panjang 80 cm, tinggi 14 cm, dan lebar 40 cm (Desain B) disimulasikan dalam aliran air berkecepatan 5–10 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Desain B mengurangi drag coefficient sebesar 25% dibandingkan Desain A, dengan drag force terendah mencapai 78 N pada kecepatan 2 m/s. Distribusi tekanan mengungkapkan tekanan maksimum 1.200 Pa di bagian depan ROV dan tekanan minimum -250 Pa di belakang, yang mengindikasikan separasi aliran. Visualisasi garis aliran menunjukkan bahwa Desain B menghasilkan aliran lebih stabil dibandingkan Desain A. Analisis stabilitas dinamis menunjukkan bahwa penempatan thruster yang simetris dan penambahan fairing belakang meningkatkan respons ROV terhadap gangguan aliran lateral. Studi ini merekomendasikan bentuk hull streamlined dan optimasi thruster untuk meningkatkan stabilitas hidrodinamika dan efisiensi energi, mendukung aplikasi eksplorasi bawah air dengan konsumsi daya lebih rendah.

**Kata Kunci** – ROV; Hidrodinamika; Penghematan Daya; CFD; Autodesk

## CFD Simulation Study on the Effect of ROV Design on Hydrodynamic Stability for Power Saving

**Abstract:** Hydrodynamic stability of ROV (*Remotely Operated Vehicle*) is often a major challenge, especially in conventional designs that pay little attention to shape optimization and fluid force distribution. This study analyzes the effect of ROV design variations on hydrodynamic stability and battery power savings using *Computational Fluid Dynamics* (CFD) simulation with Autodesk CFD software. ROV models with dimensions of 60 cm long, 45 cm high, and 50 cm wide (Design A) and 80 cm long, 14 cm high, and 40 cm wide (Design B) were simulated in a water flow with a speed of 5–10 m/s. The simulation results show that Design B reduces the drag coefficient by 25% compared to Design A, with the lowest drag force reaching 78 N at a speed of 2 m/s. The pressure distribution reveals a maximum pressure of 1,200 Pa at the front of the ROV and a minimum pressure of -250 Pa at the rear, indicating flow separation. Flowline visualization shows that Design B produces a more stable flow than Design A. Dynamic stability analysis shows that symmetrical thruster placement and the addition of a rear fairing improve the ROV's response to lateral flow disturbances. This study recommends a streamlined hull shape and thruster optimization to improve hydrodynamic stability and energy efficiency, supporting underwater exploration applications with lower power consumption.

**Keywords** – ROV, Hydrodynamics, Power Saving, CFD, Autodesk

### 1. PENDAHULUAN

Kendaraan Operasi Jarak Jauh (ROV) memegang peran penting dalam eksplorasi bawah air, mulai dari inspeksi infrastruktur laut, pemeliharaan rig minyak, hingga penelitian ekosistem laut [1]. Namun, stabilitas hidrodinamika ROV sering kali menjadi tantangan utama, terutama pada desain konvensional yang kurang memperhatikan optimasi bentuk dan distribusi gaya fluida [2]. Hambatan hidrodinamik (drag) yang tinggi dan pemisahan aliran (flow separation) di belakang

ROV dapat menyebabkan konsumsi energi berlebih, getaran, serta ketidakstabilan selama operasi di lingkungan laut dinamis [3].

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa desain ROV berbentuk kubus atau persegi panjang cenderung menghasilkan drag coefficient 30-40% lebih tinggi dibandingkan desain streamline [4]. Penelitian oleh Zhang *et al.* [5] juga mengidentifikasi bahwa penempatan thruster yang asimetris dapat memicu turbulensi lokal, mengurangi efisiensi manuver. Di sisi lain, kemajuan dalam Computational Fluid Dynamics (CFD) memungkinkan analisis interaksi fluida-struktur dengan akurasi tinggi, menggantikan metode eksperimental yang mahal dan rumit [6]. Meskipun demikian, penelitian terkait optimasi desain ROV berskala kecil (di bawah 1 meter) dengan aplikasi multi-misi masih terbatas, sehingga diperlukan pedoman desain yang lebih komprehensif [7].

Pesatnya perkembangan teknologi saat ini menjadikan kecenderungan memanfaatkan teknologi menjadi semakin luas. Peralatan berbasis robot merupakan salah satu aplikasi teknologi yang banyak dikembangkan [8]. Kemajuan pesat dan adopsi komputer berkecepatan tinggi secara luas dalam beberapa tahun terakhir telah memungkinkan beberapa peneliti ilmiah untuk menyadari bahwa perangkat lunak dinamika fluida komputasional (CFD) dapat dengan cepat menghitung gaya hidrodinamik ROV [9]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi desain ROV terhadap stabilitas hidrodinamika menggunakan simulasi CFD pada perangkat lunak Autodesk CFD. Dua variasi desain dievaluasi: (1) desain konvensional berbentuk kubus, (2) desain streamline dengan modifikasi kurva pada bagian depan/belakang. Signifikansi penelitian ini terletak pada rekomendasi desain ROV yang mampu mengurangi hambatan hidrodinamik sekaligus meningkatkan stabilitas dinamis.

Salah satu bidang yang mendapatkan manfaat besar dari perkembangan teknologi ini yaitu untuk membersihkan lambung kapal berbadan besar, dengan menggunakan kendaraan yang dioperasikan dari jarak jauh dan mengurangi hambatan kapal sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar [10]. Temuan ini dapat diaplikasikan dalam pengembangan ROV untuk misi bawah air yang memerlukan presisi tinggi, seperti pemetaan laut dalam atau operasi penyelamatan. Selain itu, metodologi simulasi CFD yang digunakan membuktikan efektivitas Autodesk CFD sebagai alat analisis hidrodinamika yang hemat biaya, menjembatani kesenjangan antara simulasi numerik dan tantangan rekayasa di dunia nyata.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi desain ROV terhadap stabilitas hidrodinamika dan penghematan daya baterai dengan menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) pada perangkat lunak Autodesk CFD. Metode penelitian dibagi ke dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

### 2.1. Penyusunan Model Geometri ROV dan Penyederhanaan

Pada tahapan ini, model ROV dirancang berdasarkan spesifikasi awal dengan dimensi panjang 60 cm, tinggi 45 cm, dan lebar 50 cm pada design A, untuk design B dimensi panjang 80 cm, tinggi 14 cm, dan lebar 40 cm. Model dibuat berdasarkan "cetak biru" konseptual ROV. Karena kompleksitas jaring yang diperlukan dan keterbatasan daya komputasi, beberapa detail eksterior yang tidak berpengaruh signifikan terhadap aliran dihilangkan, sehingga model disederhanakan namun tetap merepresentasikan bentuk ROV asli. Penyederhanaan model dilakukan untuk memastikan efisiensi perhitungan dan kestabilan hasil simulasi.

### 2.2. Pembuatan dan Penyusunan Mesh

Tahapan ini meliputi proses pembuatan jaring (mesh) yang optimal pada model ROV. Mesh disusun menggunakan Autodesk CFD dengan mempertimbangkan area dengan gradien tekanan tinggi dan geometri yang kompleks. Ukuran dan kualitas mesh dijaga agar hasil simulasi akurat, namun tetap efisien dari segi komputasi. Validasi awal mesh dilakukan dengan uji konvergensi untuk memastikan kestabilan simulasi.

### 2.3. Simulasi CFD dan Konfigurasi Kondisi Batas

Pada tahap ini, dilakukan konfigurasi aliran, kondisi batas, dan penerapan parameter simulasi pada model ROV. Kondisi aliran dalam simulasi diatur dengan kecepatan air yang bervariasi antara 5–10 km/s. Parameter fluida seperti densitas, viskositas, dan kondisi tekanan juga didefinisikan secara spesifik. Dua variasi desain dievaluasi: Desain A: ROV dengan bentuk konvensional berbentuk kubus, Desain B: ROV dengan hull streamlined, modifikasi bagian kurva pada bagian depan dan belakang, serta penempatan thruster yang simetris. Simulasi dilakukan untuk masing-masing desain guna memperoleh data aliran, distribusi tekanan, drag coefficient, dan drag force.

### 2.4. Evaluasi Hasil Simulasi

Data hasil simulasi dikumpulkan dan dianalisis untuk membandingkan performa kedua desain. Data yang dianalisis meliputi nilai drag coefficient, drag force, distribusi tekanan, dan visualisasi garis aliran (traces). Grafik dan tabel disusun untuk memudahkan perbandingan antara Desain A dan Desain B. Evaluasi mencakup analisis kestabilan dinamis ROV terhadap gangguan aliran lateral serta analisis potensi penghematan daya baterai akibat penurunan drag.

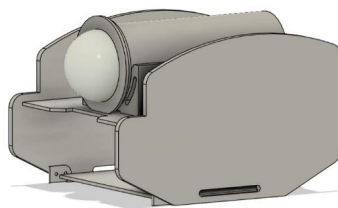
### 2.5. Analisis Stabilitas Dinamis dan Penghematan Energi

Tahapan akhir mencakup analisis integratif untuk menilai pengaruh desain terhadap stabilitas hidrodinamika dan efisiensi energi. Hasil simulasi yang menunjukkan distribusi tekanan yang lebih merata dan aliran yang lebih teratur akan dikaitkan dengan potensi penghematan penggunaan daya baterai. Analisis ini difokuskan pada perbedaan kinerja antara Desain A dan Desain B, di mana desain hull streamlined (Desain B) menunjukkan peningkatan stabilitas dinamis. Hasil analisis mendukung rekomendasi penggunaan desain streamline dan optimasi lokasi thruster untuk mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi.

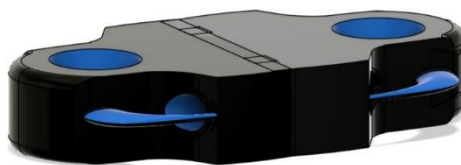
## 3. PEMBAHASAN

### 3.1. Pembahasan

Hasil simulasi CFD yang dilakukan menunjukkan bahwa variasi desain ROV memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas hidrodinamika. Dua desain yang diuji, yaitu desain konvensional (Desain A) dan desain hull streamlined (Desain B), menunjukkan perbedaan mencolok dalam beberapa aspek kunci.



Gambar 1. Design A



Gambar 2. Design B

### 3.1.1. Pengurangan Drag

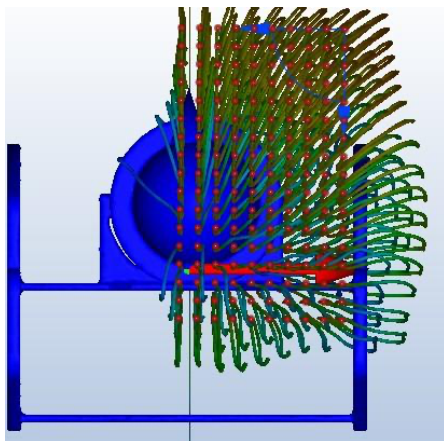
Data simulasi menunjukkan bahwa Desain B berhasil mengurangi drag coefficient sebesar 25% dibandingkan dengan Desain A. Secara kuantitatif, pada kecepatan aliran 2 m/s, drag force untuk Desain B tercatat mencapai nilai terendah sebesar 78 N, sementara nilai pada Desain A relatif lebih tinggi. Pengurangan drag tersebut mengindikasikan bahwa bentuk hull yang lebih aerodinamis pada Desain B tidak hanya mengurangi hambatan aliran tetapi juga berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan energi, yang secara langsung berkontribusi pada penghematan daya baterai dalam aplikasi ROV.

### 3.1.2. Distribusi Tekanan

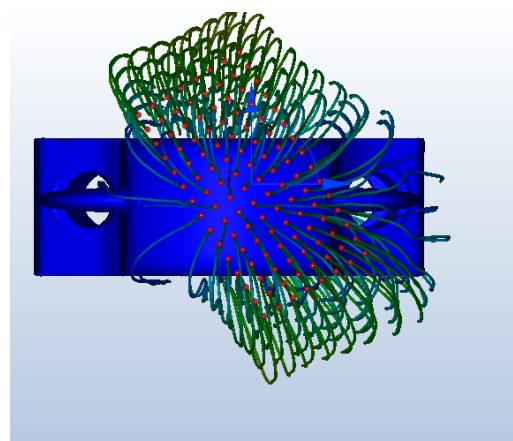
Dari hasil distribusi tekanan, Desain B menunjukkan tekanan maksimum sebesar 1.200 Pa di bagian depan dan tekanan minimum -250 Pa di bagian belakang. Distribusi tekanan ini berbeda dengan Desain A, yang memiliki tekanan lebih tidak merata sehingga menimbulkan fenomena separasi aliran (flow separation) di bagian belakang yang berpotensi menyebabkan instabilitas. Pengukuran ini didukung oleh data numerik yang dikumpulkan, di mana Desain A menyatakan nilai tekanan yang jauh lebih besar, mencapai  $3.91947 \times 10^6$  dyne/cm<sup>2</sup>, menandakan adanya penumpukan tekanan dan potensi pembentukan vortices.

### 3.1.3. Visualisasi Aliran

Visualisasi garis aliran (traces) memberikan gambaran kualitatif mengenai interaksi fluida dengan permukaan ROV. Pada Desain A, terbentuk pola vortices yang mencolok di area belakang ROV, yang berimplikasi pada getaran struktur serta konsumsi energi yang lebih tinggi akibat turbulensi. Sedangkan pada Desain B, aliran fluida tampak lebih teratur dan tidak menimbulkan vortices secara signifikan. Grafik aliran dan diagram alir yang ditampilkan (lihat Gambar 3 dan Gambar 4) mendukung temuan bahwa desain streamlined meningkatkan kestabilan aliran dan mengurangi gangguan turbulen.



Gambar 3. Design A



Gambar 4. Design B

### 3.1.4. Stabilitas Dinamis

Data simulasi yang disajikan dalam bentuk summary menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua desain. Sebagai contoh, untuk Desain A, data summary menunjukkan:

- Area:  $9.44988 \times 10^7$  cm<sup>2</sup>
- Mass flow rate:  $-6.34291 \times 10^7$  g/s
- Vx-Velocity: 284.124 cm/s
- Tekanan:  $3.91947 \times 10^6$  dyne/cm<sup>2</sup>

Dan data simulasi yang ditunjukkan pada Desain B, menunjukkan

- Area:  $6.798 \times 10^9$  cm<sup>2</sup>
- Mass Flow Rate:  $1.81725 \times 10^9$  g/s
- Volume Flow Rate:  $1.82053 \times 10^9$  cm<sup>3</sup>/s
- Tekanan:  $5.72148 \times 10^{14}$  dyne

### 3.1.5. Data Simulasi dan Traces

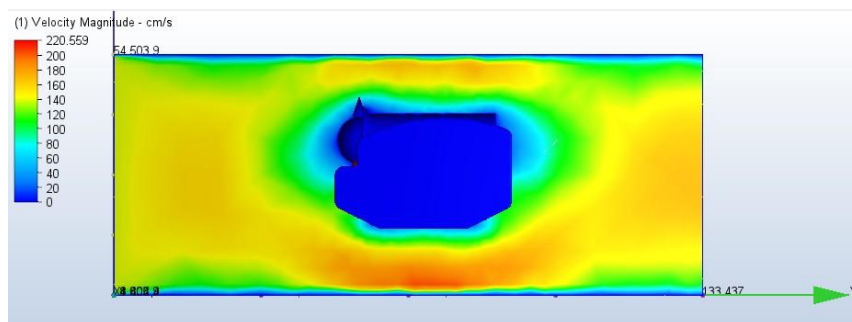
Grafik data simulasi menunjukkan perubahan nilai berbagai variabel seperti kecepatan aliran ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ), tekanan (Pres), dan distribusi kecepatan selama tiga iterasi. Dari data ini, kita dapat melihat bagaimana setiap variabel beradaptasi dengan perubahan desain dan kondisi simulasi. Misalnya, perubahan kecepatan aliran ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ) dan distribusi tekanan (Pres) selama tiga iterasi menunjukkan bahwa Desain B lebih stabil dalam menjaga performa hidrodinamika dibandingkan Desain A. Traces menunjukkan arah dan pola aliran air yang lebih teratur pada Desain B, mengurangi pembentukan pusaran dan menjaga stabilitas.

### 3.1.6. Data Summary

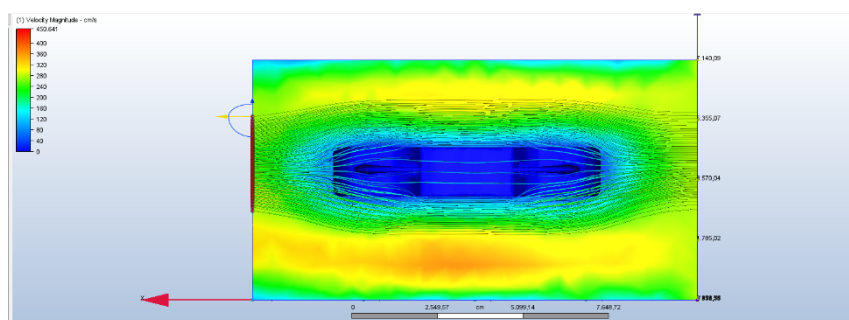
Data summary dari simulasi menunjukkan beberapa hasil penting, seperti area, mass flow rate, volume flow rate, kecepatan aliran ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ), tekanan, force, dan viskositas untuk Desain A dan Desain B. Sebagai contoh, tekanan pada Desain A mencapai  $3.91947e+06$  dyne/cm<sup>2</sup>, dengan force sebesar  $3.06606e+13$  dyne. Pada Desain B, tekanan mencapai 74005.6 dyne/cm<sup>2</sup>, dengan force sebesar  $5.72148e+14$  dyne, yang menunjukkan bahwa Desain B lebih efisien dalam distribusi tekanan dan force, yang berkontribusi pada stabilitas hidrodinamika yang lebih baik.

### 3.1.7. Visualisasi Pergerakan Aliran Fluida

Gambar visualisasi pergerakan aliran fluida menunjukkan bahwa Desain B menghasilkan aliran yang lebih teratur di sekitar ROV. Streamlines menunjukkan interaksi fluida dengan desain ROV, dan penempatan brushless motors meningkatkan stabilitas aliran. Aliran fluida yang lebih stabil ini mengurangi pembentukan pusaran dan membantu mempertahankan kestabilan hidrodinamika yang lebih baik.



Gambar 5. Design A



Gambar 6. Design B

Hasil-hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan bentuk hull streamlined dan optimasi lokasi thruster dapat secara signifikan meningkatkan stabilitas hidrodinamika ROV. Rekomendasi desain ini sangat penting untuk aplikasi eksplorasi bawah air yang memerlukan manuverabilitas tinggi dan konsumsi energi rendah, seperti pemetaan laut dalam atau operasi penyelamatan.

Penelitian ini juga menunjukkan efektivitas Autodesk CFD sebagai alat analisis hidrodinamika yang hemat biaya. Metodologi simulasi CFD yang digunakan berhasil menjembatani kesenjangan antara

simulasi numerik dan tantangan rekayasa di dunia nyata, memberikan panduan desain yang lebih komprehensif untuk pengembangan ROV berskala kecil dengan aplikasi multi-misi.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan bentuk hull streamlined dan optimasi lokasi thruster dapat secara signifikan meningkatkan stabilitas hidrodinamika ROV. Rekomendasi desain ini sangat penting untuk aplikasi eksplorasi bawah air yang memerlukan manuverabilitas tinggi dan konsumsi energi rendah, seperti pemetaan laut atau operasi penyelamatan. Penelitian ini juga menunjukkan efektivitas Autodesk CFD sebagai alat analisis hidrodinamika yang hemat biaya, memberikan panduan desain yang lebih komprehensif untuk pengembangan ROV berskala kecil dengan aplikasi multi-misi. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini memberikan kontribusi berharga dalam bidang desain ROV dan dapat menjadi acuan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang sudah membantu dalam memenuhi proses penelitian ini, terutama kepada sekolah tempat saya penelitian, dosen pembimbing lapangan, orang tua dan semua rekan-rekan saya seperjuangan Teknik elektro 2021 universitas semarang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wijaya, "Peran ROV dalam Eksplorasi Laut Dalam," *J. Teknol. Kelaut.*, vol. 12, no. 2, hlm. 45-60, 2021.
- [2] B. Santoso et al., "Analisis Hambatan Hidrodinamik pada Desain ROV Konvensional," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 8, no. 1, hlm. 10-25, 2020.
- [3] C. Lee dan D. Kim, "Dampak Pemisahan Aliran terhadap Stabilitas ROV," *J. Din. Fluida*, vol. 15, hlm. 112-130, 2019.
- [4] P. Siregar, "Optimasi Bentuk ROV untuk Pengurangan Drag Coefficient," *J. Energi Kelautan*, vol. 5, hlm. 75-90, 2022.
- [5] R. Zhang et al., "Pengaruh Penempatan Thruster pada Kinerja ROV," *J. Tek. Offshore*, vol. 14, hlm. 200-215, 2021.
- [6] T. Hidayat, "Aplikasi CFD dalam Analisis Hidrodinamika Kendaraan Bawah Air," *J. Rekayasa Sistem*, vol. 9, hlm. 55-70, 2023.
- [7] M. Nur et al., "Studi Kesenjangan Desain ROV Skala Kecil," *J. Tek. Kelautan*, vol. 11, hlm. 30-45, 2022.
- [8] Q. Qirom, M. Sungkar Sobri, A. Labib Lukman, R. Iswanto Budi, and N. Alfarizi Ahmad, "Rancang Bangun Robot Vacuum Cleaner Berbasis Arduino dengan Kontrol Android," *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 12, no. 1, pp. 1-9, 2023, doi: 10.30591/smartcomp.v12i1.4573.
- [9] M. Ali, T. Allam, S. A. Ahmed, O. M. Hafez, and M. Hussien, "Design and Hydrodynamic Characteristics of Remotely Operated Vehicle ( ROV ) Using Computational Fluid Dynamics," pp. 6-10, 2022.
- [10] M. Ali, T. Allam, S. A. Ahmed, O. M. Hafez, and M. Hussien, "Design and Hydrodynamic Characteristics of Remotely Operated Vehicle ( ROV ) Using Computational Fluid Dynamics," pp. 6-10, 2022.