

CFD2CFD: How computational fluid dynamics can be a means towards sustainable conscious field dynamics

Ahmad Indra Siswantara^a, Hilman Gumelar Syafei^{a, b}, Angga Septiyana^a, Illa Rizianiza^{a, c}, Adi Syuriadi^{a, d},
Muhammad Agung Santoso^a, Ahmad Syihan Auzani^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kota Depok, 16424

^bProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, 50229

^cProgram Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan, Kota Balikpapan, 76127

^dProgram Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok

¹Email korespondensi: a_indra@eng.ui.ac.id

Abstract. The role of Computational Fluid Dynamics (CFD) across diverse applications has been significantly reinforced by rapid advancements in numerical computation, artificial intelligence, and high-performance computing. Nevertheless, prevailing applications of CFD primarily function as simulation tools and technical solutions, often neglecting awareness, intentionality, and ethical considerations. This study introduces the CFD2CFD paradigm (Computable Field Dynamics to Conscious Field Dynamics), conceptualized within the DAI5 framework, which comprises Deep Awareness of I, Intention, Initial Thinking, Idealization, and Instruction Set. In this paradigm, Computable Field Dynamics is defined as the material field that can be mathematically represented and numerically resolved, while Conscious Field Dynamics denotes the immaterial field of awareness. To demonstrate this approach, case studies are conducted on representative material fluid phenomena, namely pipe flow, airfoil aerodynamics, and biomass pyrolysis. The integration of Computable Field Dynamics and Conscious Field Dynamics through the DAI5 framework establishes a novel methodological pathway. The contribution of the CFD2CFD paradigm lies in its computational approach that extends beyond scientific accuracy to encompass sustainability considerations. More importantly, this paradigm is formulated as an epistemic bridge uniting material and immaterial fields, thereby offering a framework for methods that are both rigorously scientific and oriented toward sustainability.

Keywords: conscious, computation, computational fluid dynamics, conscious field dynamics, DAI5

Received: September 30, 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/ceff4w73>

PENDAHULUAN

Saat ini dalam dekade terakhir perkembangan komputasi numerik telah mengalami kemajuan signifikan. Hal ini didorong oleh perkembangan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*–AI), ketersediaan komputasi kinerja tinggi (*High Performance Computing*–HPC) yang semakin mudah diakses dan perkembangan algoritma yang semakin canggih dan efisien. Integrasi AI dengan *Computational Fluid Dynamics* memiliki peluang perkembangan signifikan dalam pemodelan aliran dan geometri yang kompleks dengan mengembangkan *real-time simulation*, *surrogate modeling*, serta *multiscale learning* yang mampu melampaui keterbatasan solver tradisional [1]. Penelitian yang dilakukan oleh Rafiq dkk. Tentang aplikasi *Computational Fluid Dynamics* di bidang perkotaan, di mana *Computational Fluid Dynamics* yang diintegrasikan dengan *digital twin* dan model pembelajaran mesin dapat mempercepat analisis dari ratusan ribu jam menjadi kurang dari satu jam [2]. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis AI mampu mempercepat simulasi *Computational Fluid Dynamics* hingga 70%, sehingga secara signifikan mengurangi biaya komputasi sekaligus tetap mempertahankan akurasi tinggi pada

metrik aerodinamika utama, seperti koefisien drag, rasio lift-to-drag, dan distribusi tekanan [3]. Di samping integrasi CFD-AI, adanya perkembangan HPC juga memengaruhi kecepatan simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Kajian yang dilakukan oleh Afful, dkk. [4] menyatakan bahwa perkembangan HPC telah memperkuat peran *Computational Fluid Dynamics* sebagai komponen penting dalam berbagai aplikasi strategis, termasuk pertahanan dan keamanan nasional. Melalui teknik seperti *Message Passing Interface*, *domain decomposition*, akselerasi GPU, dan *hybrid parallelism*, HPC mampu mempercepat simulasi *Computational Fluid Dynamics* berskala jutaan sel serta meningkatkan efisiensi pemodelan multi-fisika.

Namun, perkembangan ini masih didominasi oleh pemahaman CFD secara konvensional sebagai *Computational Fluid Dynamics*. Hal ini menunjukkan bahwa seolah-olah medan (*field*) hanya berkaitan dengan fluida. Padahal medan material mengacu pada entitas fisik yang nyata yang tidak terbatas pada fluida, melainkan juga meliputi struktur padat, gelombang atau fenomena multifisika lain yang dapat dimodelkan secara komputasional. Akan tetapi, selain medan material terdapat juga medan immaterial yang mengacu pada aspek nonfisik berupa kesadaran, niat, makna dan nilai-nilai etis yang menyertai setiap proses

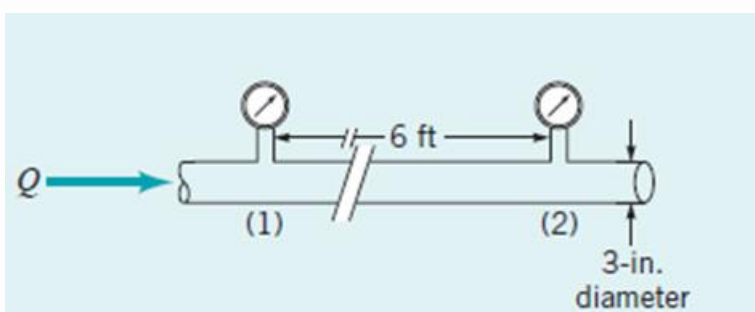
ilmiah. Kesenjangan konseptual inilah yang menyebabkan sains dan teknologi modern sering berkembang secara reduksionis, menekankan aspek teknis komputasi dan mengabaikan aspek reflektif dan keberlanjutan.

Meskipun perkembangan komputasi numerik, kecerdasan buatan dan *Computational Fluid Dynamics* telah memberikan dampak signifikan terhadap kemajuan ilmu pengetahuan terutama dalam hal akurasi simulasi serta efisiensi perhitungan. Namun, masih terdapat beberapa permasalahan mendasar yang sampai saat ini masih diabaikan. Pertama, reduksionisme komputasi menjadikan simulasi hanya dipahami sebagai solusi teknis sehingga faktor kesadaran, niat, dan makna keberlanjutan sering diabaikan. Kedua, masih terdapat kesenjangan konseptual antara medan material dan medan immaterial (*consciousness*) yang mengakibatkan sains dan teknologi berkembang tanpa kerangka integratif yang mampu menjembatani aspek teknis dengan nilai-nilai yang lebih luas. Ketiga, penggunaan teknologi komputasi sering kali tidak disertai pertimbangan etis, misalnya dalam isu energi, lingkungan, maupun pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan. Hal ini berpotensi menimbulkan implikasi negatif terhadap keberlanjutan sistem. Permasalahan-permasalahan tersebut menegaskan pentingnya pengembangan kerangka konseptual baru yang mampu mengintegrasikan aspek komputasi (medan material) dan aspek kesadaran (medan immaterial) ke dalam satu paradigma utuh. Dalam konteks inilah, *framework* DAI5 (*Deep Awareness of I*) diajukan sebagai landasan epistemik yang dapat menjembatani keterputusan antara *Computable Field Dynamics* dan *Conscious*

Field Dynamics, sehingga memberikan paradigma baru yang tidak hanya berorientasi pada akurasi teknis, tetapi juga berakar pada kesadaran dan keberlanjutan.

Framework DAI5 (*Deep Awareness of I*) digunakan sebagai pendekatan konseptual yang berfungsi menjembatani keterputusan antara *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sebagai representasi medan material dan *Conscious Field Dynamics* (CFD) sebagai representasi medan immaterial. DAI5 terdiri atas lima tahapan utama, yaitu *Deep Awareness of I*, *Intention*, *Initial Thinking*, *Idealization*, dan *Instruction Set* yang membentuk alur berpikir terstruktur dari kesadaran diri hingga instruksi implementatif [5]. Dalam kajian ini, diajukan paradigma baru CFD2CFD (*Computable Field Dynamics to Conscious Field Dynamics*). Sehingga paradigma CFD2CFD merupakan suatu pendekatan sebagai jembatan epistemik yang mentransformasikan output komputasi dari hasil teknis menjadi bagian dari proses reflektif yang berorientasi pada keberlanjutan, nilai kemanusiaan, dan keselarasan dengan konteks sosial maupun lingkungan.

Sebagai langkah aplikatif, paradigma CFD2CFD diimplementasikan dalam studi numerik aktual pada studi kasus fluida. Hal ini digunakan untuk menguji bagaimana integrasi *framework* DAI5 dapat memperluas makna simulasi dari analisis distribusi aliran, perpindahan panas, dan interaksi multifisika menjadi proses ilmiah yang mengintegrasikan medan material dan immaterial. Kebaruan dalam studi ini terletak pada perumusan paradigma CFD2CFD yang belum pernah dikemukakan sebelumnya, serta memberikan kontribusi konseptual dan implementasi bagi pengembangan ilmu komputasi yang berorientasi pada keberlanjutan.



Gambar 1. Ilustrasi aliran internal dalam pipa [7]

FRAMEWORK DAI5 DI DALAM STUDI KASUS MEKANIKA FLUIDA DAN CFD

Penerapan *framework* DAI5 pada sebuah studi kasus mekanika fluida telah dilakukan melalui literatur [6]. Penerapan *framework* DAI5 dalam penyelesaian studi kasus mekanika fluida dapat memberikan *insight* yang lebih mendalam yang nantinya akan menjadi dasar

untuk memahami konsep *Computational Fluid Dynamics* menuju *Conscious Field Dynamics* (CFD2CFD). *Framework* DAI5 berbasis kepada konsep *Conscious thinking* [6]. Tahapan DAI5 terdiri dari lima tahap, yaitu: 1) *Deep awareness of "I"*, 2) *intentions*, 3) *initial thinking*, 4) *idealizations*, 5) *Instruction set*. Untuk memahami konteks penerapan secara lebih jelas, studi dari [sitasi] membahas

penerapan penyelesaian kasus mekanika fluida dengan metode DAI5, yaitu sebuah aliran sirup jagung mengalir dengan debit alir $Q = 0.5 \text{ ft}^3/\text{s}$ pada sebuah pipa horizontal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 di atas. Aliran tersebut dimonitor dengan mengukur tekanan dari dua titik yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada gambar. Kondisi temperatur sirup berada pada 100°F . Nilai viskositas dan densitas dari sirup dapat dilihat secara berturut turut sebesar 2.05 slugs/ft^3 dan $3.8 \times 10^{-3} \text{ lb.s/ft}^2$. Output dari studi kasus ini adalah nilai *pressure drop* yang terjadi pada aliran tersebut.

Secara rinci, penjelasan yang lebih rinci mengenai implementasi metode DAI5 dalam penyelesaian studi kasus tersebut dapat dilihat melalui literatur [6]. Implementasi framework DAI-5 dalam penyelesaian studi kasus Mekanik Fluida sederhana memberikan informasi yang sangat mendalam dan mendasar, disertai dengan kesadaran akan tujuan dari penyelesaian studi kasus tersebut. Selain itu, DAI5 ini juga dapat memberikan pengalaman belajar yang jauh lebih komprehensif dan mendalam walaupun hanya dari kasus yang sederhana. Permasalahan mekanika fluida yang dinilai sederhana dapat menghasilkan proses yang mengandung nilai-nilai pembelajaran yang kuat dan mendalam karena proses penyelesaian didahului dengan proses intentions. Proses intentions ini membuat proses penyelesaian menjadi lebih bernilai secara subjektif berdasarkan masing-masing pengalaman dan nilai yang dimiliki oleh penggunanya. Sehingga pengguna Metode DAI 5 ini akan memiliki landasan dasar dan motivasi yang kuat dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Metode DAI5 juga menghasilkan pembelajaran yang lebih komprehensif melalui tahap initial thinking dan idealization. Dengan dua tahap tersebut, pengguna akan memahami permasalahan secara menyeluruh, diawali dengan proses pemahaman terhadap konteks dan gambaran besar dari kasus permasalahan, hukum-hukum dasar yang terlibat dalam permasalahan tersebut, serta idealisasi yang dapat digunakan untuk menyederhanakan proses penyelesaian dengan asumsi-asumsi yang diterapkan. Metode DAI5 juga memberikan proses penyelesaian masalah yang terstruktur melalui tahapan terakhir, yaitu tahap Instruction set. Pengguna akan dilatih untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang telah dipahami secara terstruktur.

Penerapan *framework* DAI5 pada studi kasus mekanika fluida pada Gambar 1 juga dapat diselesaikan dengan simulasi CFD. Dengan *framework* DAI5, studi kasus yang sama dapat diselesaikan dengan menggunakan beberapa solusi. Hal ini tentu akan berpengaruh pada hal yang dihasilkan pada setiap langkah di dalam *framework* DAI5. Penerapan DAI5 pada studi kasus mekanika fluida dengan metode CFD

dapat dijabarkan melalui 5 langkah di dalam DAI5 yang telah disebutkan sebelumnya.

Deep awareness of “I”

Langkah pertama ini tentu menjadi hal mendasar yang paling penting, yaitu bahwa pengguna secara sadar berusaha mengenal diri, meliputi latar belakang pengguna, nilai dan keyakinan yang pengguna pegang, serta kapasitas yang pengguna miliki. Semua hal tersebut akan membuat pengguna semakin mendalami apa dasar dan landasan pengguna dalam melakukan penyelesaian tersebut. Misalnya, jika pengguna adalah seorang mahasiswa Teknik Mesin di suatu Perguruan Tinggi, maka pengguna perlu menyadari bahwa pengguna sudah melangkah pada tingkat yang cukup *advance*, di mana mekanika fluida merupakan salah satu bahasan mata kuliah di semester lanjut. Tentu pengguna harus melihat kebelakang bagaimana proses belajar yang telah dilalui hingga sampai pada pembahasan mekanika fluida, dan tentunya pengguna juga sudah melewati mata kuliah-mata kuliah pendukung sebelumnya, seperti kalkulus, aljabar linier, dan seterusnya. Semua latar belakang tersebut harapannya dapat membuat pengguna secara sadar memahami posisi, tanggung jawab, serta kemampuan yang pengguna miliki dalam penyelesaian tersebut. Jika lebih mendalam lagi, pengguna juga dapat merujuk kepada sila pertama dari dasar negara Indonesia, yaitu “Ketuhanan Yang Maha Esa”. Dengan mengacu pada nilai tersebut, tentu pengguna juga akan memperhatikan aspek spiritual berdasarkan keyakinannya. Sebut saja, ketika pengguna adalah seorang Muslim, maka tentu pengguna akan mendalami peran dan tanggung jawab pengguna dalam menyelesaikan masalah tersebut. Pengguna sebagai seorang Muslim akan meyakini bahwa pengguna memiliki tanggung jawab untuk mensyukuri nikmat ilmu yang telah diberikan oleh sang Pencipta dengan cara menerapkannya pada permasalahan yang ada, dan pengguna juga meyakini bahwa penyelesaian masalah yang dilakukan harus dilakukan dengan tujuan mencari Ridho Sang Pencipta. Dengan demikian, diharapkan pengguna secara sadar melakukan penyelesaian masalah dengan nilai-nilai yang mendalam yang nantinya akan memberikan energi positif dalam proses pelaksanaannya. Tentunya, hal ini berbeda ketika seseorang tidak memahami latar belakang dan tidak merujuk kepada nilai-nilai dan keyakinannya, sehingga proses penyelesaian terasa lebih hambar dan bahkan terkadang tidak paham mengapa penyelesaian tersebut harus diselesaikan, atau mengapa harus diselesaikan oleh orang tersebut.

Intention

Pada langkah ini, perlu ditentukan terlebih dahulu niat dan tujuan penyelesaian permasalahan yang akan diselesaikan. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa

intentions ini sangat bergantung pada faktor subjektivitas dari penggunaannya. Sebagai contoh, seluruh warga negara Indonesia sudah sepatutnya berpegang kepada nilai-nilai yang terkandung dalam dasar dan ideologi negara Indonesia, yaitu Pancasila. Dan sila pertama di dalam Pancasila adalah Ketuhanan Yang Maha Esa. Berdasarkan nilai tersebut, intentions atau niat dalam menyelesaikan permasalahan pada kasus ini adalah untuk mencari Ridho Tuhan Yang Maha Esa (*For the sake of God*). Selain itu, tujuan lainnya adalah agar dapat mengerti dan memahami, serta menambah pengetahuan mengenai ilmu mekanika fluida dan ilmu *Computational Fluid Dynamics*.

Initial thinking

Pada tahap ini, permasalahan yang akan diselesaikan harus dipahami terlebih dahulu secara komprehensif. Pada kasus aliran dalam pipa ini, secara umum bisa dipahami bahwa ada aliran fluida yang mengalir didalam sebuah pipa. Adanya aliran yang mengalir didalam sebuah pipa diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan antara dua ujung pipa atau perbedaan posisi ketinggian yang menghasilkan sebuah energi yang dapat mengalirkan fluida.

Karakteristik aliran didalam pipa dipengaruhi oleh beberapa faktor. Misalnya, aliran dalam pipa yang mengalirkan air di sebuah rumah tentu berbeda dengan karakteristik aliran di dalam pipa yang mengalirkan uap panas dari boiler menuju turbin uap pada sebuah pembangkit listrik tenaga uap. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, di antaranya yaitu jenis fluida yang dialirkan dan juga kondisi operasinya. Jenis fluida yang dimaksud meliputi properties dari fluida (viskositas, densitas, dan sebagainya) yang digunakan serta sifat mampu-mampat fluida tersebut. Adapun kondisi operasional meliputi debit yang digunakan, sumber energi yang mengalirkan fluida (pompa atau perbedaan ketinggian), temperatur, dan lain-lain. Selain itu, aliran dalam pipa sejatinya juga dipengaruhi oleh gaya gesek antara fluida dan dinding pipa, yang mana pengaruh dari gesekan tersebut tidak bisa diabaikan. Maka, aliran fluida dapat dianalisa dengan menganggap bahwa aliran fluida bersifat kontinu. Aliran fluida dapat digambarkan dengan dua prinsip dasar, yaitu konservasi masa dan konservasi momentum. Dua prinsip dasar ini dapat digambarkan melalui persamaan atur konservasi massa dan konservasi momentum yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}(u)) + S_{mx} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad}(v)) + S_{my} \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w u) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad}(w)) + S_{mz} \quad (4)$$

Persamaan (1) hingga (4) yang dituliskan dalam bentuk Navier–Stokes merupakan formulasi umum dari hukum kekekalan massa dan momentum pada fluida Newtonian. Terminologi turunan parsial terhadap waktu $\frac{\partial}{\partial t}$ pada suku $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ dan $\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}$ merepresentasikan perubahan akumulasi lokal (local accumulation) dari massa dan momentum pada suatu volume kendali. Suku ini mencerminkan dinamika transien sistem, di mana kondisi fluida tidak hanya ditentukan oleh keadaan spasial tetapi juga oleh perubahan temporal yang terakumulasi. Suku konvektif $\text{div}(\rho u u)$ menggambarkan transport momentum akibat gerakan fluida itu sendiri (advective/convective transport). Fenomena ini sangat penting dalam aliran turbulen dan nonlinear, karena menjadi sumber utama ketidakstabilan serta interaksi skala besar pada fluida. Dari perspektif DAI5, term konvektif ini dapat dipandang selaras dengan

Intention, yakni arah gerak sistem yang ditentukan oleh orientasi aliran—sebuah intensionalitas yang menentukan ke mana energi dan massa diarahkan. Suku difusif $\text{div}(\mu \text{grad}(u))$ merepresentasikan transport momentum akibat mekanisme difusi molekuler. Mekanisme ini berperan penting dalam menghaluskan gradien kecepatan dan mentransfer momentum antarlapisan fluida melalui gesekan internal. Secara matematis, suku ini bersifat eliptik dan memberikan sifat dissipatif pada sistem. Dalam kerangka DAI5, proses difusif dapat dikaitkan dengan tahap Idealization, sebab perannya adalah “menyederhanakan” dinamika yang terlalu tajam dengan cara menyebarkan energi dan momentum secara lebih merata, analog dengan bagaimana idealisasi menyaring kompleksitas menjadi representasi yang lebih mudah ditangani. Gradien tekanan $\frac{\partial p}{\partial x}$ merepresentasikan gaya penggerak akibat

distribusi tekanan, yang dalam banyak kasus merupakan faktor dominan dalam menghasilkan aliran. Tekanan ini berfungsi sebagai variabel penyesuai yang menjamin konservasi massa melalui keterkaitannya dengan persamaan kontinuitas. Sementara itu, gaya lainnya berasal dari sumber eksternal seperti gravitasi atau medan elektromagnetik. Kedua komponen ini menegaskan pentingnya Initial Thinking, yaitu pemahaman mendasar atas gaya-gaya utama yang mengatur dinamika sistem sebelum masuk

pada penyelesaian matematis yang lebih lanjut. Persamaan (1) sampai Persamaan (4) dikenal juga dengan persamaan *Navier-Stokes* yang mana hingga saat ini belum ada solusi analitiknya. Sebagai alternatif, persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan secara numerik berbasis metode *Finite Volume Method* (FVM) yang mana ini dikenal sebagai simulasi CFD. Adapun hasil dari diskritisasi akan menghasilkan persamaan aljabar sebagai mana ditunjukkan pada Persamaan (5) dan Persamaan (6).

$$a_{I,J}P'_{I,J} = a_{I+1,J}P'_{I+1,J} + a_{I-1,J}P'_{I-1,J} + a_{I,J+1}P'_{I,J+1} + a_{I,J-1}P'_{I,J-1} + b'_{I,J} \quad (5)$$

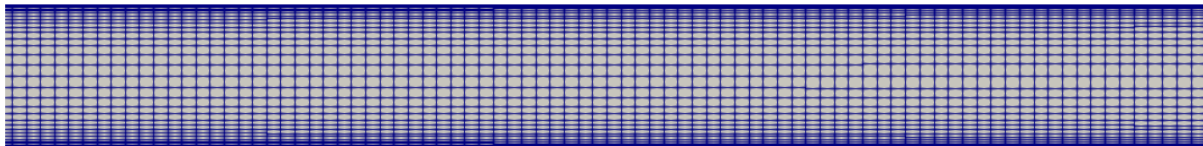
$$a_{I,J} = a_{I+1,J} + a_{I-1,J} + a_{I,J+1} + a_{I,J-1} \quad (6)$$

dimana dan konstanta yang ada di persamaan diatas diberikan pada Tabel 1 berikut:

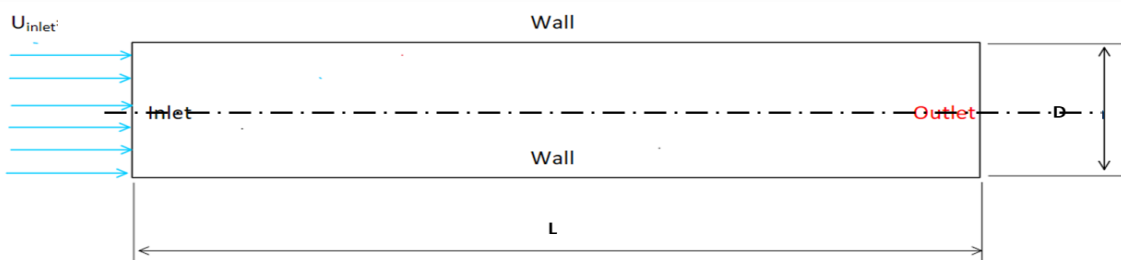
Tabel 1. Konstanta dalam perhitungan diskritisasi

$a_{I+1,J}$	$a_{I-1,J}$	$a_{I,J+1}$	$a_{I,J-1}$	$b'_{I,J}$
$(\rho dA)_{i+1,J}$	$(\rho dA)_{i,J}$	$(\rho dA)_{I,j+1}$	$(\rho dA)_{I,j}$	$(\rho u * A)_{i,j} - (\rho u * A)_{i+1,j}$ $+ (\rho v * A)_{I,j}$ $- (\rho u * A)_{I,j+1}$

Diskritisasi juga akan mengubah tampilan dari domain ruang menjadi terdiskrit, tersusun atas volume-volume kecil sebagaimana dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diskritisasi



Gambar 3. Idealization pada studi kasus aliran dalam pipa

Simulasi CFD ini prinsipnya adalah dengan melakukan diskritisasi untuk mengubah persamaan non-linear diferensial parsial yang sangat sulit diselesaikan, menjadi kumpulan persamaan aljabar linier yang dapat diselesaikan menggunakan metode penyelesaian matriks. Dari sini, ada *insight* yang bisa diperoleh pengguna dengan merujuk pada langkah pertama dari DAI 5. Penyederhanaan dengan menggunakan metode diskritisasi menunjukkan bahwa sejatinya perilaku dan fenomena alam sangatlah kompleks dan belum ada yang bisa memberikan perilaku dan fenomena alamiah secara akurat dan

sempurna. Insight ini dapat dihubungkan kembali dengan langkah pertama, *deep awareness of I*, di mana pengguna mengenal dirinya sebagai individu yang penuh dengan keterbatasan. Pengguna diharapkan dapat semakin menguatkan kesadarannya mengenai keterbatasannya dalam menyelesaikan permasalahan, sehingga dibutuhkan idealisasi dan asumsi yang nantinya akan dilanjutkan pada tahap berikutnya.

Kajian mengenai simulasi CFD ini adalah kajian yang bersifat materiil, yaitu kajian yang objeknya berupa fenomena alam yang dapat diukur dan diperkirakan, hingga dimodelkan dalam persamaan

matematis, yang tentunya sifatnya adalah berupa pendekatan. Oleh karena itu, cakupan pada simulasi CFD merupakan sesuatu yang material. Namun, ada hal lain yang sifatnya immateril ketika proses pemodelan CFD dilakukan., yaitu sesuatu yang terjadi pada individu yang melakukan simulasi CFD. Proses pemodelan CFD sejatinya akan memberikan pengalaman dan pemahaman secara sadar bahwa fenomena alam yang ada begitu kompleks dan tidak ada yang bisa mendefinisikan secara pasti fenomena aliran fluida secara akurat. Hal ini tentu akan membawa seseorang untuk merenungi dan mengagumi betapa sempurnanya proses penciptaan yang ada saat ini. Tentunya hal ini akan bermuara pada perasaan yang sadar akan kebesaran dari Dzat yang Maha Menciptakan. Di saat yang sama, hal ini juga akan mendorong seseorang untuk mencari cara, bagaimana pendekatan yang dapat dilakukan untuk bisa mengestimasi fenomena aliran fluida, hingga pendekatan-pendekatan teoretis beserta asumsi-asumsi yang digunakan untuk bisa menjawab pertanyaan tersebut. Oleh karena itu, proses pemodelan CFD sejatinya disertai dengan sesuatu yang sifatnya immateri, sesuatu yang tidak bisa diukur, tidak bisa dihitung dan diestimasi, yaitu sikap sadar dan sikap kagum pengguna terhadap kebesaran dzat yang telah menciptakan fenomena fluida, serta sikap sadar untuk berusaha melakukan pendekatan melalui serangkaian asumsi untuk bisa mengestimasi medan aliran fluida yang sifatnya materiil. Dengan adanya hal ini, sejatinya pengguna tidak hanya berfokus pada aspek materiil dalam penyelesaian CFD, tetapi juga merenungi aspek-aspek nonmateriil tersebut. Sehingga, hal tersebut akan membangun keseimbangan antara kesadaran untuk melakukan penyelesaian masalah melalui simulasi CFD, namun di saat yang sama tetap membuat penggunanya tetap tawadhu' dan rendah hati karena mendalami hal-hal yang sifatnya immateril.

Idealization

Setelah memahami dan memperoleh gambaran mengenai kasus yang akan diselesaikan secara menyeluruh, langkah selanjutnya adalah melakukan idealisasi. Proses idealisasi ini ditujukan agar proses penyelesaian masalah dapat disederhanakan dan diselesaikan secara efektif dengan melakukan suatu pendekatan atau asumsi-asumsi yang dapat dipertanggungjawabkan. Pada kasus aliran di studi ini yang ditunjukkan pada Gambar 3, beberapa asumsi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- Karena pipa bersifat Aksis-simetris, maka profil kecepatan aliran terhadap radial didalam pipa dapat direpresentasikan pada variasi kecepatan terhadap araf vertical (y), sehingga aliran dapat dimodelkan sebagai aliran dua dimensi sebagaimana dapat ditunjukkan pada gambar 3.
- Aliran juga dapat diasumsikan tidak mengalami perubahan temperature di sepanjang pipa karena tidak ada sumber energi panas, sehingga aliran dapat diasumsikan bersifat iso-thermal.
- Aliran juga diasumsikan dalam keadaan tunak. Sehingga, aliran tidak mengalami perubahan terhadap waktu.
- Aliran fluida yang mengalir di dalam pipa biasanya adalah air ataupun udara yang kecepatannya relatif rendah, dengan temperatur ruangan. Oleh karena itu, dapat diasumsikan bahwa aliran bersifat inkompresibel dan tidak ada perubahan densitas fluida yang terjadi di sepanjang pipa.
- Aliran fluida tidak mengalami slip atau no-slip condition, yang artinya bahwa kecepatan aliran fluida di dinding pipa adalah 0.

Secara ringkas, model aliran pada studi kasus ini diberikan melalui Tabel 2.

Instruction Set

Langkah ini adalah langkah terakhir dalam framework DAI-5. Pada langkah ini, langkah-langkah/algoritma penyelesaian kasus secara terstruktur dapat disusun setelah melakukan idealisasi pada langkah sebelumnya. Untuk kasus ini, langkah-langkah penyelesaian dari kasus permasalahan yang ditunjukkan pada Gambar 1 dapat disusun sebagai berikut:

- Mengumpulkan variabel yang dibutuhkan untuk menghitung penurunan tekanan. Berdasarkan persamaan 23, beberapa variabel yang dibutuhkan untuk menghitung penurunan tekanan di antaranya adalah variabel properties fluida meliputi densitas dan densitas sirup, variabel geometri meliputi diameter pipa dan panjang pipa, serta variabel aliran yang direpresentasikan dengan debit aliran.
- Langkah berikutnya adalah mengonversi satuan dari variabel yang diketahui menjadi satuan yang sesuai dengan satuan standar SI. Variabel dan hasil konversi standar diberikan melalui Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Variabel dan satuan

Variabel	Nilai dengan Satuan awal	Nilai dengan Satuan SI
Densitas (ρ)	2.05 slug/ft ³	1056,53 kg/m ³
Viskositas (μ)	3.8x10 ⁻³ lb.s/ft ²	0,182 Pa.s
Diameter pipa (D)	3 inch	0,0762 m
Panjang pipa (l)	6 ft	1,83 m
Debit (Q)	0.5 ft ³ /s	0,0142 m ³ /s

Tahap selanjutnya adalah pembuatan geometri, di mana model fluida dibangun baik melalui generator bentuk dasar (misalnya kotak, silinder, atau bola) maupun dengan mengimpor dari perangkat lunak CAD eksternal.

- Setelah pembuatan geometri, selanjutnya adalah pembuatan mesh, yaitu pembangkitan mesh menggunakan *Hex-Dominant Mesh Generator* untuk menghasilkan mesh dengan kualitas tinggi.
- Tahap selanjutnya adalah pemilihan model fisika aliran, berdasarkan asumsi dan idealisasi yang telah dilakukan pada langkah sebelumnya. Pada tahap ini pengguna menentukan model fisik yang relevan, misalnya model turbulensi, perpindahan panas, atau model aliran multifasa. Pemilihan model fisis yang tepat sangat menentukan akurasi hasil simulasi, karena kesesuaian antara model dan fenomena nyata menjadi dasar bagi representasi numerik yang valid.
- Setelah menentukan model fisika alirannya, selanjutnya adalah menyelesaikan persamaan governing equations yang telah di diskritisasi meliputi penyelesaian persamaan konservasi massa, momentum, dan energi menggunakan metode numerik yang sesuai. Solver menyediakan berbagai skema numerik dan algoritma solusi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran. Dalam praktiknya, waktu komputasi dapat dikurangi dengan menggunakan pemrosesan paralel pada banyak *core*, sehingga simulasi dapat diselesaikan secara lebih efisien. Proses komputasi dilakukan hingga kriteria konvergensi tertentu tercapai, misalnya berdasarkan nilai residual atau kestabilan variabel utama.
- Tahap terakhir adalah post-processing, yaitu menganalisis hasil simulasi untuk memperoleh informasi yang dapat diinterpretasikan secara fisis. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *post-processor* seperti ParaView®, yang menyediakan beragam fasilitas visualisasi, antara lain tampilan kontur, vektor aliran, *streamline*, animasi, serta grafik kuantitatif. Melalui tahap

ini, informasi mengenai distribusi kecepatan, tekanan, maupun parameter lainnya dapat diperoleh sesuai dengan tujuan simulasi. Dengan demikian, post-process tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi, tetapi juga sebagai sarana evaluasi terhadap validitas hasil simulasi melalui perbandingan dengan teori atau data eksperimen..

STUDI KASUS SIMULASI CFD *ADVANCED*

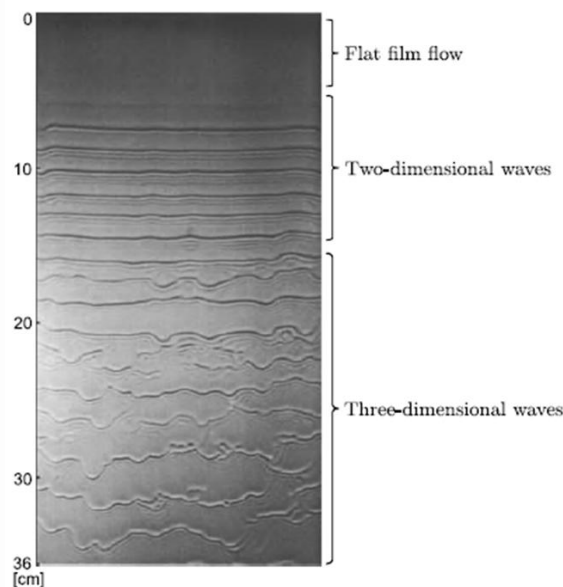
Simulasi CFD juga dapat dilakukan pada kasus aliran yang lebih kompleks. Contohnya adalah aliran *falling liquid film*, yaitu sebuah aliran cairan tipis yang mengalir pada suatu dinding permukaan akibat pengaruh percepatan gravitasi, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar (4). Dengan kondisi aliran yang melibatkan dua fasa (liquid dan udara), tentu aliran ini memerlukan persamaan *governing equations* yang jauh lebih kompleks. Namun secara umum, langkah penyelesaian dapat dilakukan sesuai dengan step-step yang ada pada framework DAI5.

Dari sudut pandang kerangka DAI 5, *step by step* dalam menjalankan simulasi *falling liquid film* sejatinya paralel dengan dinamika kesadaran manusia. Kerangka DAI5 yang pertama (Deep Awareness of I), keterbatasan model dua fasa yang tidak mampu menangkap seluruh detail fisik dapat dipandang sebagai manusia pun menyadari bahwa pandangannya terhadap realitas tidak sempurna, bahkan selalu parsial. Pada tahap *Intention*, niat manusia dalam memahami domain immateril dapat direfleksikan sebagai tujuan dalam simulasi untuk memahami domain material seperti distribusi ketebalan, mekanisme gelombang dan transisi aliran. Jika dalam domain material seperti penentuan domain, *meshing*, dan kondisi batas diklasifikasikan sebagai Initial Thinking, maka dalam domain immaterial, manusia merumuskan prinsip dasar sebelum bertindak. Dalam simulasi *falling liquid film*, tahap *Idealization* muncul saat peneliti mengasumsikan cairan sebagai incompressible atau mengabaikan efek panas; ini serupa dengan manusia yang berpegang pada nilai ideal seperti kejujuran dan keadilan sebagai pedoman untuk menyederhanakan kerumitan hidup. Akhirnya, *Instruction Set* berupa

algoritma penyelesaian numerik dan tahapan post-processing adalah cerminan dari implementasi nyata tindakan manusia yang diwarnai kesadaran reflektif.

Fenomena gelombang pada film cair yang timbul akibat interaksi gaya gravitasi, inersia, dan tegangan permukaan dapat dimaknai sebagai analogi dinamika kehidupan: setiap gelombang adalah tantangan yang muncul dari interaksi antara kekuatan eksternal dan

kondisi internal. Terkadang gelombang tersebut menipiskan film hingga hampir pecah, tetapi justru melalui proses itu sistem menemukan bentuk keseimbangannya yang baru. Sama halnya dengan manusia, hambatan dan tekanan hidup tidak dimaksudkan untuk menghancurkan, melainkan untuk menempa kesadaran agar lebih matang, adaptif, dan berdaya tahan.



Gambar 4. Aliran *Falling Liquid Film* [8]

Pada bidang aerodinamika, simulasi airfoil NACA 4412 pada sudut serang -2° hingga 14° dapat dibaca tidak hanya sebagai representasi komputasional, tetapi juga sebagai refleksi kesadaran. Dalam kerangka DAI5, tahap Deep Awareness of I muncul ketika peneliti menyadari bahwa setiap model, meskipun canggih, tetap memiliki keterbatasan—sama halnya manusia yang memiliki batas kemampuan. Fenomena gaya angkat (lift) yang meningkat seiring sudut serang hingga mencapai titik maksimum sebelum stall mencerminkan perjalanan manusia: pada titik puncak prestasi, dibutuhkan kewaspadaan dan kesadaran bahwa setelah batas itu dilewati, kinerja justru menurun. Dari sinilah lahir sikap rendah hati untuk menyadari keterbatasan diri dan menyerahkan hasil ikhtiar maksimal kepada Tuhan Yang Maha Esa. Pada tahap Intention, niat peneliti menganalisis gaya angkat dan gaya hambat paralel dengan orientasi hidup manusia; sebagaimana lift memberi arah terbang, niat yang lurus memberi arah pada kehidupan. Initial Thinking dalam menentukan domain, kondisi batas, dan model turbulensi menyerupai nilai dan prinsip hidup yang membatasi serta mengarahkan manusia agar tidak kehilangan orientasi. Idealisasi, melalui asumsi aliran inkompresibel atau kondisi isothermal, menunjukkan bahwa penyederhanaan diperlukan agar kompleksitas dapat dipahami; dalam kehidupan,

idealisasi hadir dalam bentuk nilai kebenaran, keadilan, dan keberlanjutan yang memandu perilaku. Akhirnya, Instruction Set, berupa prosedur sistematis simulasi hingga post-processing, sejalan dengan implementasi nilai kesadaran dalam tindakan nyata sehari-hari. Lebih jauh, fenomena gaya hambat (drag) akibat tekanan aliran pada permukaan sayap menggambarkan gesekan dan hambatan dalam kehidupan. Drag mengurangi efisiensi penerbangan, namun juga menjaga kestabilan, sama halnya masalah dan tekanan hidup yang, meski memperlambat langkah, justru menempa manusia menjadi lebih matang dan bijaksana. Dengan demikian, simulasi aerodinamika tidak berhenti sebagai analisis teknis semata, tetapi dalam kerangka DAI5 ia tampil sebagai metafora eksistensial yang menyatukan batas, usaha, hambatan, dan kesadaran dalam satu alur reflektif.

Dalam konteks studi kasus pirolisis biomassa yang memanfaatkan gas buang sebagai sumber panas utama, paradigma CFD2CFD digunakan untuk mengamati suatu fenomena tidak hanya pada medan material (*computable field*) tetapi juga pada medan immaterial (*conscious field*). Aliran gas buang dalam pipa heliks secara material ditandai oleh karakter turbulensi yang kompleks dengan adanya perubahan kecepatan, munculnya pusaran, dan penurunan tekanan. Namun, pada medan immaterial, turbulensi tersebut dapat

dimaknai sebagai representasi ketidakpastian dan dinamika kehidupan yang penuh resistensi, di mana penurunan tekanan tidak hanya menjadi indikator medan material, tetapi juga simbol disipasi energi yang menegaskan urgensi efisiensi dan pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan. Perpindahan panas melalui dinding pipa, dari sisi medan material direpresentasikan oleh mekanisme konduksi dan konveksi. Namun, dalam medan immaterial dapat dianalogikan sebagai upaya menuju keseimbangan, dimana surplus energi dialirkan untuk mendukung transformasi lain, sehingga merefleksikan prinsip keberlanjutan energi. Sedangkan pada reaksi pirolisis biomassa jika dilihat pada medan material menjelaskan dekomposisi feedstock menjadi biochar dan gas pirolisis dan dalam medan immaterial dimaknai sebagai proses aktualisasi potensi diri. Aktualisasi potensi diri merefleksikan pentingnya optimalisasi potensi tersembunyi yang berorientasi pada keberlanjutan. Penyederhanaan model (*idealization*), misalnya melalui asumsi gas ideal atau pengabaian radiasi, pada medan material berfungsi untuk mereduksi kompleksitas, tetapi pada medan immaterial mencerminkan metodologi dalam penyelesaian masalah kehidupan. Dalam menghadapi masalah yang kompleks perlu dilakukan penyederhanaan masalah sehingga bisa diketahui inti dari masalah yang dihadapi untuk dicari solusi yang tepat. Selain itu, mekanisme *Conjugate Heat Transfer* (CHT) pada dinding reaktor secara material merupakan coupling antara konduksi dan konveksi, namun pada medan immaterial bisa dimaknai sebagai keterkaitan. Hal ini merepresentasikan kesadaran bahwa tidak ada sistem yang berdiri sendiri, melainkan senantiasa berinteraksi dengan lingkungan sekitar. Dengan DAI5 maka setiap fenomena fisika dalam medan *computable* dapat diartikan memiliki korespondensi dengan medan *conscious*, sehingga paradigma CFD2CFD berperan sebagai jembatan transformatif antara komputasi numerik dan kesadaran yang berorientasi pada keberlanjutan.

KORELASI ANTARA DAI5, COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS, CONSCIOUS FIELD DYNAMICS

Untuk menjembatani dua ranah yang berbeda namun memiliki dinamika serupa, yakni *Computational Fluid Dynamics* dan *Conscious Field Dynamics*, diperlukan suatu landasan metodologis berupa *Framework* DAI5. Lima pilar yang terkandung dalam DAI5 dapat dipandang sebagai prinsip universal yang membantu manusia dalam memahami, memodelkan, sekaligus mengimplementasikan suatu fenomena, baik fenomena yang dapat dihitung secara komputasional, seperti medan kecepatan dan medan temperatur, maupun fenomena yang tidak sepenuhnya terhitung, seperti

medan kesadaran. Dengan demikian, DAI5 berfungsi tidak hanya sebagai kerangka kerja teknis, tetapi juga sebagai kerangka reflektif yang memadukan rasionalitas ilmiah dengan kedalaman kesadaran diri.

Tahap pertama adalah *Deep Awareness of I*, menekankan pada nilai kesadaran yang mendalam terhadap posisi dan keterbatasan subjek yang meneliti. Dalam ilmu CFD, peneliti atau akademisi sadar mengenai keterbatasan model numerik, asumsi turbulensi maupun keterbatasan komputasi yang digunakan. Persamaan Navier–Stokes, yang menjadi persamaan fundamental dalam perhitungan *Computational Fluid Dynamics* (CFD), pada dasarnya belum sepenuhnya sempurna. Persamaan ini memiliki keterbatasan-keterbatasan, baik dari sisi penyelesaian analitik maupun dalam merepresentasikan fenomena turbulensi dan non-linearitas yang kompleks. Seperti yang ditunjukkan oleh Ferziger & Perić menekankan bahwa Navier–Stokes adalah model paling lengkap untuk fluida Newtonian, tetapi keterbatasan utamanya ada pada penyelesaiannya baik secara analitik maupun numerik, terutama untuk fenomena turbulensi. Selain itu Pope, S. B. (2000) menyatakan bahwa keterbatasan utama terletak pada kompleksitas non linearitas dan kebutuhan komputasi yang sangat besar. Di sisi lain, dalam domain *Conscious CFD*, kesadaran hadir dalam bentuk refleksi diri terhadap bias motivasi personal, persepsi dan keterbatasan kognitif manusia. Seperti halnya dengan solver numerik yang tidak akan pernah sempurna dengan kata lain masih terdapat error dalam perhitungan, kesadaran manusia pun senantiasa terikat oleh interpretasi subjektif, prasangka dan horizon pengalaman yang sempit. *Deep Awareness of I* akan memandang bahwa persamaan Navier-Stokes tidak dapat menyelesaikan turbulensi dengan sempurna, demikian juga bahwa manusia tidak sepenuhnya objektif dalam memahami realitas. Pengakuan manusia akan keterbatasan yang dimiliki justru akan menjadi landasan bagi lahirnya sikap baik yang berkelanjutan.

Pilar yang kedua adalah *intention* yang merupakan penggerak awal dari seluruh proses yang akan dilalui. Pada domain *Computational CFD*, *intention* terwujud dalam bentuk tujuan teknis seperti optimasi desain, prediksi aliran, perhitungan medan temperatur, dan bisa dalam bentuk peningkatan efisiensi sistem. Sebaliknya, dalam *Conscious CFD* niat mempunyai makna yang sangat luas, yaitu orientasi kesadaran diri untuk mencapai kebermanfaatan, keberlanjutan serta integritas moral dari setiap apa yang dikerjakan. Dalam model *Framework* DAI5 keduanya berkorelasi erat sebab niat dapat dianalogikan sebagai vektor, dimana vektor ini merupakan besaran yang mempunyai nilai dan arah. Dalam *Computational Fluid Dynamics* (CFD) besaran yang memiliki nilai dan arah direpresentasikan dalam bentuk vektor, seperti vektor

kecepatan yang menentukan intensitas serta orientasi aliran fluida. Kerangka berpikir seperti ini dapat disejajarkan dengan Conscious Field Dynamic (CFD) di mana setiap fenomena kesadaran memiliki intention, yaitu keterarahan menuju suatu objek pengalaman (Searle, 1983). Arah vektor mencerminkan ke mana kesadaran diarahkan, sedangkan besarnya vektor menggambarkan seberapa kuat perhatian dan keterlibatan seseorang terhadap hal tersebut. Dengan kerangka DAI5 yang menekankan prinsip universal lintas ranah, vektor menjadi jembatan metodologis yang mempersatukan dinamika fisis dan kesadaran. Dalam simulasi domain material, tanpa vektor kecepatan fluida tidak dapat dipahami, demikian pula dalam kehidupan, tanpa intention yang kuat, tindakan manusia akan kehilangan arah dan makna. Analogi ini menegaskan bahwa intention bukan sekadar titik awal, melainkan struktur dasar yang menentukan kualitas dan konsekuensi dari proses berikutnya.

Tahap berikutnya adalah *Initial Thinking* sebagai fondasi konseptual. Dalam kerangka DAI5, antara Computational dan Conscious dihubungkan sehingga *Initial Thinking* tidak hanya sebagai titik tolak analisis ilmiah saja, melainkan sebagai orientasi reflektif yang memastikan keterhubungan antara rasionalitas perhitungan dan kedalaman kesadaran manusia. Dalam konteks Computational Fluid Dynamics (CFD), fondasi konseptual ini terwujud dalam prinsip persamaan fisika yang menggambarkan fenomena fisis pada kondisi nyata seperti hukum kekekalan massa, momentum, dan energi yang dirumuskan dalam persamaan Navier-Stokes sebagai pemodelan matematis untuk memahami dinamika fluida. Sementara itu, dalam Conscious CFD, tahap ini berupa perenungan awal mengenai makna, tujuan, serta dampak etis dari suatu tindakan atau penelitian. Keduanya menunjukkan bahwa formulasi awal merupakan langkah krusial yang akan menentukan kualitas hasil akhir. Boundary condition dalam simulasi fluida dapat dipandang sebagai nilai dan prinsip hidup yang membatasi serta mengarahkan perilaku kesadaran manusia. Tanpa batasan, “aliran” dalam domain immaterial dapat menjadi liar, sama halnya dengan simulasi material yang akan kehilangan stabilitas bila tidak didefinisikan kondisi batas yang jelas.

Pilar keempat, *Idealization*, menegaskan pentingnya penyederhanaan untuk memungkinkan pemahaman. Dalam Computational CFD, idealisasi dilakukan melalui asumsi model, seperti aliran incompressible, simulasi dua dimensi, atau kondisi isothermal. Penyederhanaan ini memang tidak sepenuhnya merepresentasikan realitas, tetapi justru diperlukan agar persoalan dapat diselesaikan dengan keterbatasan komputasi yang ada. Dalam Conscious CFD, idealisasi tercermin pada penggambaran nilai-

nilai ideal seperti kebenaran, keadilan, dan keberlanjutan sebagai acuan moral. Korelasi antara keduanya terletak pada fungsi idealisasi sebagai jembatan antara kompleksitas realitas dengan kemampuan terbatas manusia dalam memahami. Dengan idealisasi, realitas yang rumit dapat diolah menjadi representasi yang dapat ditangani, baik dalam bentuk persamaan matematis maupun dalam kerangka etis.

Akhirnya, *Instruction Set* merepresentasikan tahap implementasi. Pada Computational CFD, tahap ini berupa pelaksanaan simulasi, analisis hasil, serta penerjemahan data numerik ke dalam keputusan desain. Pada Conscious CFD, tahap ini merupakan implementasi nyata dari nilai-nilai kesadaran ke dalam perilaku, kebijakan, atau tindakan sehari-hari. Kedua ranah ini menunjukkan bahwa teori dan model tidak berhenti pada tataran abstraksi, melainkan harus diwujudkan dalam bentuk tindakan yang nyata. Dengan demikian, *Instruction Set* adalah fase di mana angka bertemu dengan makna, dan di mana pemodelan fluida serta pemodelan kesadaran sama-sama bermuara pada aksi yang bertanggung jawab.

Secara keseluruhan, korelasi antara DAI5, Computational CFD, dan Conscious CFD menunjukkan adanya pola epistemologis yang serupa dalam memahami realitas fisik maupun nonfisik. DAI5 berfungsi sebagai kerangka reflektif yang memungkinkan integrasi antara akurasi ilmiah dan kedalaman spiritual. Dengan perspektif ini, Computational CFD tidak hanya menjadi alat teknis untuk memprediksi perilaku fluida, melainkan juga metafora ilmiah bagi dinamika kesadaran manusia. Sebaliknya, Conscious CFD memperoleh legitimasi metodologis melalui analogi dengan prinsip-prinsip pemodelan ilmiah yang sistematis. Keterhubungan ini memperlihatkan bahwa ilmu pengetahuan dan kesadaran tidak berjalan terpisah, melainkan dapat saling memperkaya melalui kerangka DAI5 yang komprehensif.

KESIMPULAN

Study ini memberikan satu paradigma baru, yaitu CFD2CFD—From Computable Field Dynamics to Conscious Field Dynamics sebagai pendekatan konseptual yang memperluas cakupan komputasi numerik dari aktivitas teknis menuju proses yang disertai kesadaran. Melalui framework DAI5 (Deep Awareness of I, Intention, Initial Thinking, Idealization, Instruction Set), studi ini menunjukkan bahwa integrasi antara dinamika komputasi dan dinamika kesadaran dapat menjembatani keterbatasan reduksionisme teknis serta memberikan fondasi epistemik. Kontribusi utama penelitian ini adalah penegasan bahwa komputasi dapat diposisikan tidak hanya sebagai alat prediksi dan optimasi, tetapi juga

sebagai media refleksi yang mempertimbangkan nilai etika, keberlanjutan, dan relevansi sosial. Selain itu, CFD2CFD dapat membuka perspektif baru dalam pengembangan ilmu komputasi yang lebih transformatif, integratif, dan berorientasi pada keberlanjutan.

KONTRIBUSI PENULIS

M. Hilman Gumelar Syafei, Angga Septiyana, Illa Rizianiza, dan Adi Syuriadi berkontribusi dalam penulisan manuskrip asli. Ahmad Indra Siswantara memberikan supervisi serta kontribusi pada konseptualisasi, sedangkan Muhammad Agung Santoso dan Ahmad Syihan Auzani berperan dalam proses peninjauan manuskrip.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Zhang, T. Anjum, Z. Chu, J. S. Cross, and G. Ji, "Simulation of multiphase flow with thermochemical reactions: A review of computational fluid dynamics (CFD) theory to AI integration," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 221, no. June, 2025, doi: 10.1016/j.rser.2025.115895.
- [2] J. Ahn, J. Kim, and J. Kang, "Development of an artificial intelligence model for CFD data augmentation and improvement of thermal environment in urban areas using nature-based solutions," *Urban For. Urban Green.*, vol. 104, no. April 2024, p. 128629, 2025, doi: 10.1016/j.ufug.2024.128629.
- [3] S. Sahibzada, F. S. Malik, S. Nasir, and S. K. Lodhi, "AI-Augmented Turbulence and Aerodynamic Modelling: Accelerating High-Fidelity CFD Simulations with Physics-informed Neural Networks," *Int. J. Innov. Res. Comput. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 91–97, 2025, doi: 10.55524/ijirest.2025.13.1.14.
- [4] J. Afful, "A Review of HPC-Accelerated CFD in National Security and Defense", [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2504.07837>
- [5] A. Siswantara, I. Rizianiza, M. H. Syafei, A. Syuriadi, and M. Andira, "DAI5: Framework penyelesaian masalah berbasis conscious thinking," vol. 22, pp. 26–30, 2025, doi: 10.71452/590885.
- [6] Siswantara, A. I., Syafei, M. H. G., Rizianiza, I., Syuriadi, A., & Andira, M. A. Implementasi DAI5: Framework penyelesaian masalah berbasis conscious thinking pada studi kasus mekanika fluida. In Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XXII 2024 (pp. 432-439). Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia.
- [7] Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., & Rothmayer, A. P. (2013). Fluid mechanics. Wiley.
- [8] Kalliadasis, S., Ruyer-Quil, C., Scheid, B., & Velarde, M. G. (2011). Falling liquid films (Vol. 176). Springer Science & Business Media.
- [9] M. Tegmark, "Consciousness as a state of matter," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 76, pp. 238–270, 2015, doi: 10.1016/j.chaos.2015.03.014.
- [10] G. Tononi, "An information integration theory of consciousness," *BMC Neurosci.*, vol. 5, pp. 1–22, 2004, doi: 10.1186/1471-2202-5-42.
- [11] J. Kleiner, "Mathematical models of consciousness," *Entropy*, vol. 22, no. 6, 2020, doi: 10.3390/E22060609.
- [12] M. J. D. Ramstead *et al.*, "The inner screen model of consciousness: applying the free energy principle directly to the study of conscious experience," *PsyArXiv*, pp. 1–34, 2023.
- [13] J. H. Ferziger, M. Perić, and R. L. Street, *Computational Methods for Fluid Dynamics, Fourth Edition*. books.google.com, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-99693-6.
- [14] J. H. Ferziger and M. Perić, "Further discussion of numerical errors in CFD," *Int. J. Numer. Methods Fluids*, vol. 23, no. 12, pp. 1263–1274, 1996, doi: 10.1002/(sici)1097-0363(19961230)23:12<1263::aid-fld478>3.0.co;2-v.
- [15] S. B. Pope, "Turbulent Flows," 2001.
- [16] D. C. Dennett, *Consciousness and Explained*. 1991.
- [17] S. Hameroff and R. Penrose, "Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory," *Phys. Life Rev.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–78, 2014, doi: 10.1016/j.plrev.2013.08.002.
- [18] T. Hunt *et al.*, *Editorial: Electromagnetic field theories of consciousness: opportunities and obstacles*, vol. 17. 2023. doi: 10.3389/fnhum.2023.1342634.
- [19] N. Martínez-Molina, Y. Sanz-Perl, A. Escrichs, M. L. Kringelbach, and G. Deco, "Turbulent dynamics and whole-brain modeling: toward new clinical applications for traumatic brain injury," *Front. Neuroinform.*, vol. 18, no. 1507, 2024, doi: 10.3389/fninf.2024.1382372.