

DENYUT NADI NUSANTARA

KEECHIL YANG MENYALAMI LAUT



OLEH AGUS SUPANGAT

PROLOG

TANDA DI BAWAH PERMUKAAN

Udara di atas Selat Makassar tahun 2050 tidak lagi terasa seperti angin laut yang biasa dikenal para leluhur. Udara itu pekat, lembap, dan berbau belerang oksida—sebuah ruang hampa yang lahir dari pergeseran cabang naik Sirkulasi Walker. Di bawah permukaan yang bergolak kelabu, sebuah mesin iklim raksasa sedang sekarat.

Jaladri menatap layar monitor hiasan di anjungan phinisi *Nusa Rimba*. Grafik vertikal menunjukkan garis-garis anomali yang mengerikan. Arus Lintas Indonesia (Arlindo)—sabuk pengangkut panas tropis yang menjadi urat nadi dunia—sedang mengirimkan sinyal darurat. Peningkatan gas rumah kaca global telah memicu stratifikasi air laut yang terlalu stabil di wilayah

kolam hangat Pasifik Barat. Lapisan air hangat tertahan di atas, menciptakan sekat hidrodinamika yang mencekik aliran ke selatan.

"Pelemahan mencapai empat Sverdrup," bisik Jaladri, suaranya parau. "Denyut laut kita berhenti, Prof."

Di sampingnya, Prof. Amara Jati tidak melihat layar. Perempuan berambut perak itu sedang memegang selebar daun Lindur (*Bruguiera gymnorhiza*) dari tangki observasi. Permukaan bawah daun itu memutih, dipenuhi butiran kristal kasar yang dipaksa keluar oleh kelenjar ekskresinya.

"Bukan berhenti, Jaladri. Ia sedang menimbun energinya di bawah termoklin," koreksi Prof. Amara tenang. "Dan ketika pelapisan ini pecah karena anomali ENSO dan IOD negatif yang datang bersamaan, naga bawah laut ini akan

mengamuk ke permukaan. Pulau-pulau kecil kita yang sedang membangun dermaga baru di timur... mereka semua akan terhapus dari peta navigasi."

BAB 1

MENARA GADING DAN RATAPAN

BETON

PARADOKS LIMA RATUS TRILIUN

Layar holometrik di ruang sidang utama Gedung Konsorsium Infrastruktur Nasional, Jakarta, memproyeksikan sebuah garis kelabu yang masif, kaku, dan mematikan. Garis itu membentang sepanjang 500 kilometer, memotong batas tipis antara pulau Jawa dan Laut Jawa, dari Cilegon di ujung Banten hingga Gresik di timur Jawa Timur.

Dalam simulasi digital tiga dimensi itu, proyek tersebut tampak seperti perisai kedap air yang megah. Namun, bagi Prof. Amara Jati, garis itu tidak lebih dari sebuah monumen ketakutan manusia—sebuah batu nisan bernilai Rp500

triliun yang dirancang untuk mengubur masa depan pesisir Nusantara.

"Kita sedang memacu pembangunan di wilayah-wilayah pesisir terpencil, namun strategi kita masih terjebak pada arogansi abad ke-20," suara Prof. Amara memecah keheningan ruangan yang steril. Langkah kakinya terdengar mantap di atas lantai marmer saat ia berjalan mendekati meja para petinggi konsorsium. "Presiden telah memerintahkan percepatan rencana mitigasi Pantura. Tapi jika jawaban kalian atas instruksi itu adalah dinding beton raksasa, kalian tidak sedang menyelamatkan daratan. Kalian sedang membangun perangkap."

Seorang komisaris swasta dengan rencana korporat mengilap di dadanya mendesah, menyandarkan punggung pada kursi ergonomisnya. "Prof. Amara, deburan ombak di

Pantura bukan lagi pemandangan indah dalam jurnal ilmiah Anda. Permukaan laut terus naik akibat perubahan iklim, sementara tanah turun belasan sentimeter setiap tahun akibat penyedotan air tanah secara ugal-ugalan oleh industri. Krisis banjir rob ini nyata. Masyarakat membutuhkan solusi praktis dan instan. Tembok ini adalah perisai fisik yang bisa langsung kita bangun."

"Perisai fisik yang memicu rasa aman semu!" balas Prof. Amara tajam. Ia melambaikan tangan, mematikan proyeksi dinding raksasa itu dan menggantinya dengan grafik interaktif mekanika gelombang. "Sekilas, beton raksasa terlihat menenangkan. Tapi struktur ini tidak pernah menyelesaikan akar permasalahan. Permukaan tanah akan tetap menurun. Muka air laut akan tetap naik. Dan saat kalian membangun dinding

tegak lurus di batas laut, kalian sedang melanggar hukum termodinamika alam."

Prof. Amara memperbesar gambar simulasi gelombang yang menghantam dinding kelabu tersebut.

"Dinding beton berfungsi memantulkan energi gelombang alih-alih menyerapnya," tunjuk Amara pada arus turbulen yang memantul di dasar struktur virtual. "Energi ombak yang terpantul ini akan mengikis fondasinya sendiri dan menghancurkan wilayah di sekitarnya melalui proses abrasi sekunder. Tembok ini juga menghambat aliran sedimen alami—lumpur dan pasir yang dibawa sungai untuk memberi makan pantai. Tanpa pasokan sedimen, garis pantai akan menyempit, membusuk, dan mati."

Ia menatap satu per satu wajah di hadapannya, mencari sisa-sisa nalar ekologis.

"Lihat laporan tahun 2022 hingga kemarin. Tanggul-tanggul darat kita di Tambaklorok Semarang, Kaligawe, hingga Pekalongan terus mengalami kebocoran. Air tidak melompati tembok, ia merembes melalui dasar tanah yang labil dan celah sambungan *sheet pile*. Setiap kenaikan permukaan laut menuntut tembok ditinggikan. Laporan keenam IPCC memperkirakan rata-rata biaya penyesuaian (*adaptation cost*) pesisir melonjak dua kali lipat setiap kenaikan 0,5meter muka air laut karena kebutuhan peninggian struktur konvensional. Anggaran pemeliharaannya saja akan memakan Rp5 hingga Rp25 triliun per tahun—satu sampai lima persen dari investasi awal. Ini adalah lubang hitam anggaran yang tidak akan pernah bisa kita tutupi."

RATAPAN DI ATAS PASIR KERING

Di sudut ruangan yang agak gelap, Jaladri berdiri kaku di depan konsol proyektor. Tugasnya hari itu sederhana: menjadi operator salindia bagi Prof. Amara. Namun, sebagai anak yang tumbuh besar di perkampungan nelayan Pantura, hatinya bergemuruh mendengar perdebatan tersebut. Di layar monitor kecilnya, Jaladri membuka folder tersembunyi—berisi kompilasi data dampak sosial-ekologis yang sengaja disembunyikan dari draf dokumen putih proyek pemerintah.

Tanpa menunggu aba-aba dari Amara, Jaladri menekan tombol pintas. Proyeksi di tengah ruangan berubah secara radikal, menampilkan visualisasi jaringan makanan pesisir yang memudar menjadi merah.

"Bukan hanya anggaran yang membengkak tak terhingga," potong Jaladri, membuat beberapa

anggota dewan konsorsium menoleh dengan dahi berkerut karena kelancangannya. Namun, tatapan mendukung dari Prof. Amara memberinya keberanian untuk terus bicara.

"Ketika sedimen tertahan oleh dinding laut, seluruh ekosistem pantai akan kolaps," Jaladri menjelaskan dengan nada suara yang bergetar namun tegas. "Spesies laut seperti kepiting pasir, moluska, burung pantai, hingga ikan-ikan muda yang bergantung pada vegetasi pesisir dan rawa payau akan kehilangan tempat hidupnya. Dan saat ekosistem itu punah, lumbung ikan nasional kita di bawah pengaruh sirkulasi Arlindo akan kosong."

Jaladri memajukan visualisasi ke arah dermaga-dermaga rakyat.

"Dampak sosialnya jauh lebih mengerikan dari sekadar angka kerugian material. Nelayan-

nelayan tradisional—orang-orang seperti ayah saya—akan kehilangan wilayah tangkap terdekat. Kapal-kapal kecil mereka tidak dirancang untuk menabrak dinding beton setinggi lima meter hanya untuk bisa keluar ke laut lepas. Pembangunan infrastruktur di pulau-pulau kecil dan pesisir terpencil akan menjadi sia-sia jika basis ekonomi masyarakatnya, yaitu sumber daya laut, dihancurkan oleh solusi fisik yang dipaksakan ini. Kita sedang mengorbankan mata pencaharian jutaan jiwa demi keuntungan korporasi semen!"

"Cukup, anak muda. Jaga batasan argumenmu," sela salah seorang penasihat kementerian dengan nada dingin. "Kita sedang membicarakan keamanan makroekonomi negara, bukan sentimen romantis perkampungan nelayan."

Jaladri mengepalkan tangannya di balik konsol. Di sinilah letak tragedi menara gading: para pengambil kebijakan hanya melihat laut sebagai garis batas kepemilikan atau jalan tol transportasi. Mereka buta terhadap fakta bahwa laut adalah sebuah mesin iklim hidup yang terikat erat dengan keadilan sosial manusia di atasnya. Kebijakan pembangunan tanpa fondasi pemahaman kelautan yang kokoh hanyalah sebuah perjudian dengan risiko yang terlalu tinggi untuk ditanggung oleh generasi mendatang.

JEMBATAN DENGAN ALAM

Prof. Amara Jati melangkah maju, meletakkan tangannya di atas pundak Jaladri, menenangkan detak jantung asisten mudanya itu sebelum kembali menatap forum. Sudah saatnya ia menunjukkan bahwa opsi yang ia bawa bukanlah sebuah kritik kosong, melainkan sebuah fajar

baru—sebuah paradigma *solarpunk* yang telah teruji.

"Jika kalian ingin melihat sebuah kesuksesan, lihat bagaimana dunia telah bergeser dari sekadar membangun lebih tinggi menjadi membangun lebih bijak," suara Amara kembali meredam ketegangan ruang sidang. Ia menginstruksikan Jaladri untuk membuka model simulasi *Integrated Coastal Zone Management (ICZM)*.

Hologram di tengah ruangan berubah menjadi lanskap hijau-biru yang dinamis. Visualisasi kota Nijmegen di Belanda muncul, menampilkan program *Room for the River* dan sistem *Sand Motor*.

"Belanda, negara yang selama berabad-abad bertarung melawan laut dengan tanggul kaku, telah beralih pada solusi berbasis alam yang dikombinasikan dengan teknologi," papar Amara,

matanya berkilat penuh optimisme. "Mereka tidak lagi melulu mempertebal semen. Mereka memperluas ruang air, memperkuat garis pantai dengan pergerakan sedimen alami, serta memulihkan ekosistem rawa dan padang lamun. Hasil riset jangka panjang mereka menunjukkan bahwa vegetasi pesisir yang terintegrasi mampu meredam energi gelombang hingga 75 sampai 80 persen sebelum mencapai daratan."

Layar holografik menampilkan skema interaksi masyarakat lokal yang mengelola hutan bakau vertikal yang dilengkapi sensor pelacak salinitas bertenaga surya.

"Pendekatan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu ini menggabungkan tiga pilar utama: perlindungan lingkungan, pembangunan ekonomi, dan keadilan sosial. Prinsip dasarnya adalah bekerja selaras dengan alam, bukan

melawannya. Kita menekankan pada upaya rehabilitasi mangrove purba, restorasi terumbu karang, dan penguatan ekosistem pesisir sebagai penahan alami gelombang yang dinamis. Solusi ini jauh lebih murah dalam biaya perawatan tahunan, dan yang terpenting: menghidupkan ekonomi lokal lewat perikanan berkelanjutan dan ekowisata. Masyarakat lokal menjadi lebih berdaya, ketimpangan berkurang, dan ketahanan ekonomi jangka panjang kita berdiri di atas fondasi yang kokoh."

Prof. Amara berjalan kembali ke kursinya, menatap dokumen putih proyek *Giant Sea Wall* yang tergeletak di meja rapat, lalu menutupnya dengan perlahan.

"Membangun tangguh bukan berarti membangun tembok yang memisahkan kita dari laut," pungkas Amara dengan nada autoritatif yang tak

terbantahkan. "Strategi berbasis alam adalah solusi paling jitu. Jika kalian mengkhawatirkan area kritis perkotaan yang padat, mari kita gunakan strategi campuran: bangun polder, ruang retensi air, dan dinding mekanis mini hanya di area kritis tersebut, sementara sisa ratusan kilometer Pantura lainnya kita perkuat dengan Sabuk Vegeneratif. Pesisir bukan hanya batas komersial daratan. Ia adalah rumah, sumber kehidupan, dan penggerak ekonomi masif bagi beragam makhluk hidup."

Ia menghentikan bicaranya, membiarkan keheningan mengambil alih ruangan sejenak sebelum melemparkan pertanyaan penutup yang menentukan arah masa depan.

"Kini kita dihadapkan pada dua opsi jelas: membangun tembok kelabu yang lambat laun akan hancur digempur naga Arlindo, atau

menjalin jembatan hijau dengan alam. Opsi yang kalian pilih hari ini akan menentukan apakah pulau-pulau kita masih akan tetap muncul di peta navigasi generasi mendatang, atau lenyap menjadi legenda."

Di sudut ruangan, Jaladri mematikan proyektor. Pertarungan di menara gading telah usai, dan ia tahu, langkah mereka berikutnya adalah membuktikan kebenaran sains ini langsung di tempat pembuktian tertinggi: gulungan ombak raksasa di Selat Makassar.

BAB 2

SABUK VEGENERATIF DAN GERILYA MARITIM

PHINISI SOLARPUNK DAN KODE LONTAR

Dua bulan setelah ruang sidang Jakarta menolak mentah-mentah proposal mereka, sepasang kaki Jaladri tidak lagi berpijak di atas lantai marmer menara gading. Ia berdiri di atas geladak kayu ulin yang tangguh dari *Nusa Rimba*, sebuah kapal phinisi seberat seratus ton yang mewakili sintesis radikal antara masa lalu Nusantara dan teknologi masa depan.

Kapal itu tidak lagi digerakkan oleh bahan bakar fosil yang mengotori atmosfer. Desainnya adalah perwujudan estetika *solarpunk* yang anggun. Lambung kayunya yang eksotis dilapisi oleh

komposit serat karbon daur ulang ultra-ringan untuk memperkecil gaya hambat hidrodinamika. Tiga tiang layar raksasanya tidak hanya menangkap angin monsun, melainkan menghela kain fotovoltaik organik transparan berwarna hijau zamrud—sebuah sistem penangkap energi surya fleksibel yang terus memberi daya pada seluruh motor penggerak listrik sekunder kapal dan sistem komputerisasi di bawah palka.

Di bawah geladak, ruang kargo *Nusa Rimba* telah bertransformasi total menjadi laboratorium eks-situ terapung yang steril namun bernyawa. Di dalam barisan tangki hidroponik vertikal yang dialiri air laut yang telah disaring secara alami, sepuluh ribu tabung benih mangrove raksasa purba—*Bruguiera gymnorhiza* hibrida—telah mulai mengeluarkan akar-akar mudanya.

"Ini bukan mistisisme, Jaladri," jelas Prof. Amara Jati, suaranya terdengar jernih di antara deru ombak saat *Nusa Rimba* melintasi Selat Sunda yang berarus kuat. Mereka baru saja menyelesaikan validasi data *in situ* untuk satelit penentu salinitas global, mencocokkan anomali kerapatan air laut lokal dengan pembacaan instrumen orbital.

Amara berjalan di antara barisan tabung benih, jemarinya menyentuh lembut pucuk daun yang mulai tumbuh. "Varietas ini memiliki kode genetik unik yang saya rekonstruksi dari pembacaan mendalam atas manifes pelayaran lontar kuno abad ke-17 milik para pelaut Nusantara. Nenek moyang kita menanam varietas spesifik ini di titik-titik simpul arus strategis bukan karena ritual kosong. Mereka tahu arsitektur akar gantungnya mampu beradaptasi

dengan stres salinitas ekstrem, mengikat sedimen lumpur dengan efisiensi tiga kali lipat dibanding bakau biasa, sekaligus menciptakan iklim mikro bawah air yang menurunkan suhu air permukaan secara drastis. Ini adalah mitigasi karbon dan termal berbasis alam yang mandiri. Alami, tangguh, dan gratis untuk rakyat pesisir."

Jaladri memperhatikan tabung enkapsulasi benih tersebut. Tabung itu terbuat dari polimer kitosan berbasis limbah cangkang krustasea yang dapat terurai secara hayati (*biodegradable*), dilapisi perekat organik yang hanya akan mengaktifkan daya rekatnya saat menyentuh batuan dasar termoklin pada kedalaman tertentu.

"Para birokrat di Jakarta menginginkan kontrak pemeliharaan beton senilai puluhan triliun per tahun," Jaladri menggumam, menyunggingkan senyum tipis yang mulai kehilangan sinisme masa

lalunya. "Sementara bakau purba ini hanya membutuhkan waktu, matahari, dan kelancaran arus laut untuk membangun bentengnya sendiri."

DIORAMA SEMESTA INDO-PASIFIK

Pelayaran berlanjut menuju wilayah timur, memotong jalur transek IX1 yang legendaris antara Australia Barat dan Jawa. Bagi Jaladri, pelayaran ini adalah proses meruntuhkan kesombongan akademisnya sendiri. Di bawah bimbingan Prof. Amara, tugas hariannya adalah menjaga ritme pengamatan skala halus. Ia berlutut di tepi geladak, melepaskan pelampung EM-APEX (*ElectroMagnetic Autonomous Profiling EXplorer*) ke dalam air kelabu dan meluncurkan *glider* otonom bertenaga daya apung untuk memetakan disipasi energi kinetik turbulen di dalam laut interior.

Di layar monitor genggamnya, data teoretis tentang fluks udara-laut dan profil vertikal pengangkutan panas Arlindo mengalir dalam bentuk grafik resolusi tinggi. Namun, keajaiban sains sejati justru terjadi ketika data digital tersebut berpadu sempurna dengan kearifan lokal para nelayan tradisional yang mereka temui saat singgah di pulau-pulau kecil terpencil.

Di pulau-pulau kering Nusa Tenggara, Jaladri mendengarkan para tetua adat menjelaskan pergeseran arah angin monsun menggunakan rasi bintang dan pola kemunculan ubur-ubur tertentu. Ketika ia memasukkan pengamatan etnografis itu ke dalam algoritma model komputernya, Jaladri tertegun: akurasi prediksi badai tropis lokal meningkat hingga sembilan puluh persen—jauh melampaui kemampuan asimilasi data mentah

dari satelit luar yang kerap terganggu oleh aerosol dan awan konvektif tebal di atas Benua Maritim.

"Data tanpa manusia hanyalah angka mati, Jaladri," ujar Prof. Amara suatu malam, ketika mereka mengamati pendar cahaya plankton di jalur Timor Passage. "Sains barat memberikan kita ketajaman spasial, tapi antropologi ekologi memberikan kita pemahaman temporal—memori jangka panjang tentang bagaimana bumi ini bernapas selama ratusan tahun. Kita membutuhkan keduanya untuk menavigasi masa depan."

Ketegangan mulai terjadi saat mereka memasuki Laut Banda. Teknologi sensor digital kapal mulai sering mengalami gangguan ekstrem akibat anomali elektromagnetik atmosfer yang dipicu oleh aktivitas konveksi mendalam Sirkulasi Walker yang kian tidak menentu. Di saat radar

makro mereka buta dan instrumen asimilasi data menyajikan layar kekosongan, Jaladri menyadari sebuah kebenaran baru: kompas terbaik untuk menyelamatkan Nusantara adalah integrasi utuh antara kalkulasi ilmiah modern dan kepekaan rasa terhadap tanda-tanda alam yang ditunjukkan oleh semesta ekologis di sekitarnya. Ia tidak lagi melihat laut sebagai kalkulasi matematika yang dingin; ia mulai melihatnya sebagai sebuah relasi kehidupan yang harus disalami dengan rasa hormat.

BURONAN SAMUDRA

Namun, fajar optimisme *solarpunk* mereka segera mendapatkan ujian dari realitas sosiopolitik yang korup. Keberhasilan ekspedisi gerilya maritim *Nusa Rimba* dalam memulihkan beberapa titik vegetasi pesisir secara mandiri di pulau-pulau terdepan tercium oleh radar Konsorsium

Infrastruktur Global. Bagi para oligarki penyedia semen dan beton, aksi penanaman Sabuk Vegeneratif gratis ini adalah tindakan sabotase yang mengancam legitimasi dan keberlangsungan megaproyek *Giant Sea Wall* senilai Rp500 triliun yang baru saja disetujui di Jakarta.

Saat *Nusa Rimba* berada di perbatasan utara Laut Flores, sebuah pesan peringatan dengan transmisi terenkripsi memotong frekuensi radio kapal. Otoritas maritim lokal, yang telah diintervensi oleh kepentingan korporasi *Aero-Aqua Corp*, menyatakan bahwa pelayaran *Nusa Rimba* adalah aktivitas riset ilegal yang membahayakan jalur tol transportasi laut nasional.

"Mereka mengirimkan tiga kapal patroli cepat berlambung baja konvensional," kata Jaladri, wajahnya menegang menatap titik-titik radar

taktis yang mendekat dari arah barat daya. "Mereka berniat menyita kapal ini dan memusnahkan seluruh laboratorium tangki benih kita di palka bawah."

"Mereka takut pada kekuatan hidup dari sebutir biji bakau, Jaladri," jawab Prof. Amara, matanya menatap tajam ke arah horizon laut yang mulai menggelap. "Nyalakan motor listrik sekunder. Kita tidak akan menyerahkan masa depan pulau-pulau ini kepada para penyembah beton."

Pelarian gerilya maritim itu pun dimulai di atas labirin perairan Nusantara. *Nusa Rimba* memanfaatkan keunggulan desainnya: kain layar surya mereka menangkap sisa-sisa angin monsun dengan efisiensi maksimal, sementara motor listrik senyap mereka membuat kapal melaju tanpa suara di sela-sela gugusan pulau karang

dangkal yang tidak berani dimasuki oleh kapal patroli baja bertubuh besar milik konsorsium.

Namun, korporasi tidak menyerah. Menggunakan citra satelit termal, mereka terus melacak keberadaan *Nusa Rimba*, memburu dan menutup setiap celah keluar menuju Samudra Hindia. Pengepungan yang agresif itu memaksa Jaladri mengambil keputusan navigasi yang paling berisiko. Tidak ada jalan lain untuk menyelamatkan sepuluh ribu benih "Jangkar Hidup" selain mengarahkan haluan phinisi lurus menuju koridor terdalam, paling sempit, dan paling mematikan di seluruh sistem sirkulasi laut Indo-Pasifik: Kanal Labani di Selat Makassar.

Tepat saat lambung *Nusa Rimba* memotong garis lintang Selat Makassar, langit di belahan selatan runtuh menjadi hitam pekat. Gabungan anomali ENSO dan IOD negatif yang telah lama

diprediksi oleh Prof. Amara akhirnya meledak di permukaan, melahirkan badai konvektif raksasa yang siap menguji apakah sains dan kearifan kuno mereka mampu bertahan, atau hancur tenggelam di bawah amukan naga samudra.

BAB 3

JANGKAR HIDUP MENANTANG NAGA

PETA SANG DIRIGEN IKLIM

Layar transmisi holografik di laboratorium palka *Nusa Rimba* berkedip, memproyeksikan visualisasi tiga dimensi dari Benua Maritim Indonesia. Jaladri menyeka darah encer yang mengalir dari pelipisnya, menolak rasa pening yang menghantam kepalanya. Di sekelilingnya, sistem sensor otonom bersenandung rendah, berjuang melawan distorsi elektromagnetik yang dihasilkan oleh fluks udara-laut di atas Selat Makassar.

"Kau harus melihat ini, Prof," suara Jaladri parau, jemarinya memprogram ulang koordinat asimilasi data pada superkomputer kapal. "Sinyal

satelit makro kita memang terputus, tapi susunan pengamatan multi-platform lokal kita masih merekam profil vertikal Kanal Labani."

Prof. Amara Jati, dengan tubuh yang masih terjepit di antara patahan tiang kayu phinisi, menarik napas panjang yang terasa berbunyi. Kedua tangannya mengunci tuas katup pneumatik pneumatikor—inkubator utama yang mendekap sepuluh ribu tabung benih hibrida *Bruguiera*. Matanya yang menua menatap lurus ke arah hologram pelacak massa air.

Di sana, di bawah geladak mereka, Arlindo sedang memuntahkan rahasia mekanisnya.

"Lihat simfoni itu, Jaladri," bisik Amara, mengabaikan rasa sakit di tulang rusuknya.

"Lautan Indonesia adalah satu-satunya jalur tropis yang menghubungkan lautan global di planet ini. Air hangat dari Kolam Hangat Pasifik

Barat dialirkan ke sini, didinginkan, disegarkan oleh fluks udara-laut yang masif, dan diaduk oleh pasang surut internal (*internal tides*) sebelum dilepaskan ke cekungan Samudra Hindia. Kita berada di pusat konveksi mendalam atmosfer, cabang naik dari Sirkulasi Walker. Jika dirigen ini kehilangan tongkatnya, seluruh iklim Indo-Pasifik akan runtuh menjadi keos."

Jaladri teringat ruang sidang steril enam bulan lalu di Jakarta. Saat itu, para birokrat menyodorkan cetak biru beton *Giant Sea Wall*, menganggap laut hanyalah permukaan datar yang bisa ditahan dengan balok semen. Mereka tidak memahami bahwa variasi suhu permukaan laut (*SST*) regional di selat ini secara langsung menggeser pusat konveksi atmosfer, mengubah pola curah hujan, memicu badai tropis monsunial,

dan mendikte apakah sumur-sumur di pulau kecil berpenduduk akan mengering atau terisi.

Laporan-laporan teoretis yang dahulu diperdebatkan di menara gading universitas kini terpampang nyata dalam pembacaan real-time. Perubahan multi-dekade pada angin perdagangan dan gaya apung di atas tropis Indo-Pasifik telah memicu stratifikasi air laut yang terlalu stabil. Lapisan atas mengunci air tawar bersalinitas rendah dari Laut Cina Selatan, bertindak sebagai 'sumbat' yang menghambat efisiensi transpor termoklin bawah permukaan.

"Sains Barat dalam program INSTANT tahun 2004 hingga 2006 dulu mencatat rata-rata transpor kita adalah lima belas Sverdrup," kata Jaladri, matanya melacak garis arus bawah berwarna hijau yang meliuk di kedalaman 100 hingga 300 meter. "Tapi lihat profil bawah

permukaan sekarang. Hambatan halosterik ini membuat profil vertikalnya mengacau. Ketika ENSO dan Dipole Samudra Hindia (IOD) negatif bertemu, sumbat itu terlepas bagai bendungan yang jebol."

"Itulah alasan mengapa beton mereka sia-sia," desah Amara. "Mereka membangun dinding di daratan, sementara mesin iklim global di bawah permukaan laut kita sedang mengirimkan sinyal darurat. Kita memerlukan dialog yang jujur antara sains dan kebijakan publik, Jaladri. Dan jika mereka menolak mendengarnya di ruang rapat, kita akan menuliskannya langsung di atas kanvas samudra ini."

SANDI LONTAR DAN INTEGRASI BARU

Phinisi bergoyang hebat saat ombak sekunder setinggi tujuh meter menghantam lambung kiri. Jaladri merangkak, membenamkan jemarinya

pada lantai geladak yang basah, beralih dari terminal digital menuju ke roda kemudi kayu ganda. Terminal komputer di hadapannya mulai menampilkan layar biru kembar—malafungsi total. Model resolusi tinggi yang mereka banggakan tidak lagi mampu memprediksi lintasan transien gelombang Kelvin pantai yang menerobos dari Samudra Hindia.

"Glider otonom kehilangan daya selam! Pelampung EM-APEX tidak mengirimkan telemetri!" teriak Jaladri frustrasi. "Kita kehilangan kompas digital kita!"

"Kau salah!" sahut Amara, suaranya mengatasi deru angin yang berbau uap garam hangat. "Buka matamu, Keechil! Singkirkan ketergantunganmu pada angka-angka asimilasi luar sana. Nenek moyang kita menavigasi persimpangan samudra

ini selama berabad-abad tanpa satu pun microchip!"

Amara menunjuk ke arah tangki pemantau biogeokimia yang retak. Di dalamnya, beberapa sampel vegetasi pesisir bergoyang mengikuti irama keos kapal. Daun Lindur purba yang mereka bawa mengekskresikan kristal garam dalam jumlah masif, membentuk kerak putih tebal di bawah stomatanya.

Jaladri terpaku. Pikirannya melompat pada lembar-lembar kertas putih konferensi OceanObs yang menumpuk di mejanya, bersanding dengan salinan digital manuskrip lontar Punggawa Makassar kuno. Dokumen abad ke-17 itu menyebutkan tentang *'Naga Pasifik yang menumpahkan darah panasnya saat daun-daun bakau menangis jelaga putih.'*

Itu adalah interpretasi antropologi ekologis dari fenomena oseanografi modern: stres salinitas ekstrem akibat intrusi massa air Pasifik Selatan yang lebih asin, yang masuk melalui Selat Halmahera dan melewati Laut Banda. Nenek moyang kita telah memetakan variabilitas interannual ini. Mereka tahu bahwa ketika tekanan angin Pasifik melemah selama El Niño yang bersekutu dengan IOD, profil kecepatan maksimum bawah permukaan (V_{max}) akan bergeser ke kedalaman yang lebih lemah. Sebaliknya, saat La Niña, arus selatan akan menguat tajam, membawa nutrisi tinggi dari proses *upwelling* yang menggerakkan rantai makanan spesies ikan pelagis.

"Eksistensi pulau-pulau terdepan kita bergantung pada kemampuan kita membaca tanda ini," Jaladri berbisik pada dirinya sendiri.

Skeptisismenya runtuh, digantikan oleh pemahaman baru yang utuh.

Ia memejamkan mata, membiarkan telapak tangannya merasakan getaran hidrodinamika yang merambat melalui kayu kemudi phinisi. Di bawah lambung kapal, pasang surut internal memancarkan gelombang internal skala halus, mendisipasikan energi kinetik turbulen yang mengubah profil suhu dan salinitas laut interior Indonesia. Jaringan kabel bawah laut dan instrumen tambatan IMOS kuno mungkin telah usang, namun laut tetap berbicara melalui bahasa fisik yang sama.

"Rantai pasokan pangan, pariwisata, perikanan agraris... semuanya diatur oleh denyut nadi ini," Jaladri bergumam. Ia memantapkan pijakannya pada dek yang licin. "Jika kita gagal memahami apa yang terjadi di bawah permukaan, kita

kehilangan hak untuk menyebut diri kita bangsa bahari."

Dengan sentakan tangan yang kokoh, Jaladri memutar kemudi manual, menyelaraskan haluan phinisi bukan berdasarkan petunjuk GPS yang telah mati, melainkan berdasarkan pergeseran warna air laut dan sudut empasan gelombang—sebuah taktik navigasi solarpunk di mana manusia meleburkan intuisinya dengan dinamika alamiah Bumi.

PELEPASAN JANGKAR HIDUP

Dinding air vertikal setinggi sepuluh meter itu akhirnya runtuh, mematikan sisa pencahayaan lampu LED di anjungan. Selat Makassar gelap, menyisakan kilatan petir yang menyambar dari awan konvektif MJO di atas mereka. Phinisi *Nusa Rimba* berderit hebat, miring hingga sudut tiga puluh derajat saat memasuki penyempitan Kanal

Labani—titik ambang kritis sedalam 680 meter yang menyalurkan delapan puluh persen volume total ITF dunia.

"Sekarang, Jaladri! Kita berada di koordinat transpor maksimum!" teriak Prof. Amara, napasnya tersengal-sengal di bawah tekanan tiang kayu. "Arus selatan sedang mencapai rekor sejarah di atas dua puluh Sverdrup! Ini adalah momentum kita!"

Jaladri menghentakkan seluruh berat tubuhnya pada kemudi, mengunci posisinya pada sudut potong 45 derajat untuk membelah arus bawah termoklin yang mengamuk. "Prof! Lepaskan tuasnya! Biarkan mereka jatuh!"

Dengan pekikan mekanis yang digerakkan oleh tekanan hidrolis manual, Prof. Amara menarik tuas kuningan di tangannya. Katup palka bawah terbuka lebar.

Sepuluh ribu tabung enkapsulasi benih mangrove purba berperekat organik meluncur, jatuh bebas ke dalam pusaran kelabu Selat Makassar. Tabung-tabung solarpunk itu dirancang dengan perhitungan balistik hidrodinamika yang presisi: mereka tidak mengapung di permukaan yang panas, melainkan memiliki densitas terukur untuk tenggelam langsung menuju lapisan termoklin pendingin di kedalaman 70 hingga 140 meter.

Melalui jendela palka kaca tebal yang buram oleh buih, Jaladri melihat pemandangan yang tak akan pernah ia lupakan. Ribuan tabung benih itu bergerak seirama, ditangkap oleh arus bawah Arlindo yang bergerak cepat menuju selatan. Polong-polong bakau hibrida tersebut terbawa oleh aliran massa air, meluncur melintasi selat, siap tertanam secara organik di sepanjang garis

pantai Sulawesi Barat, Selat Lombok, hingga Timor Passage yang rapuh.

Mereka tidak menggunakan teknologi pengubah cuaca buatan yang mahal. Mereka menggunakan kekuatan bawaan dari arus laut terbesar di dunia untuk mendistribusikan solusi ekologis mereka sendiri. Biji-biji liar yang tangguh itu akan mengikat sedimen pesisir, meredam energi ombak ekstrem, menurunkan suhu permukaan laut lokal, dan memulihkan ekosistem terumbu karang serta padang lamun yang menjadi lumbung makanan bagi generasi masa depan.

Saat ombak ketiga menghantam dek dengan kekuatan penuh, menghancurkan kaca anjungan dan menenggelamkan pandangan mereka dalam dinginnya air asin, Prof. Amara Jati melepaskan genggamannya dari tuas. Di tengah keosnya malam itu, ia tersenyum lebar menatap Jaladri.

"Kita telah mengembalikan kompas mereka, Jaladri," bisik Amara sebelum air menutupi suaranya.

Di bawah permukaan Selat Makassar yang murka, pasukan hijau itu telah berlayar. Urat nadi dunia itu tidak lagi dibiarkan keletihan. Di tangan generasi baru yang berani menyalami laut, sains telah menjadi timbangan kebijakan yang hidup, menavigasi masa depan Nusantara menuju fajar solarpunk yang tak akan pernah tenggelam.

BAB 4

FAJAR DI PULAU TERDEPAN

ARSITEKTUR INTEGRASI TERPADU

Lima tahun setelah amukan badai di Kanal Labani, peta anomali laut Indonesia pada layar holografik *Nusa Rimba II* tidak lagi memancarkan warna merah kelabu yang sekarat. Jaladri berdiri di tengah anjungan, menatap sebuah jalinan digital baru yang membentang di seluruh Nusantara.

Rancangan lama proyek *Giant Sea Wall* telah sepenuhnya ditinggalkan. Sebagai gantinya, lautan kini dipantau oleh jaringan desentralisasi biomimetik yang dinamis. Data historis dari program INSTANT 2004–2006, yang dulunya tersimpan berdebu di rak-rak universitas, kini

telah bertransformasi menjadi garis dasar bagi kerangka kerja pelestarian regional dua fase yang revolusioner.

"Model intinya sudah terkunci, Jaladri," ujar Rayan, menyesuaikan bobot saraf pada inti kecerdasan buatan (AI) lokal yang memproses data dari cekungan laut dalam. "Fase Satu telah beroperasi penuh. Kita tidak lagi menebak-nebak dalam kegelapan."

Jaladri mengangguk, menatap skema multiplatform di hadapannya. Selama tiga tahun terakhir, mereka telah menjalankan susunan pengamatan percontohan intensif di seluruh laut internal. Mereka melengkapi selat arus masuk dan keluar utama dengan cakupan kecepatan ADCP tertambat penuh serta sensor suhu-salinitas vertikal yang padat. Selama pelayaran penyebaran, mereka mengumpulkan pengukuran

kecepatan lintas-selat langsung dan pengamatan disipasi mikrostruktur, sementara tomografi akustik pantai sementara dan radar frekuensi tinggi memetakan saluran-saluran dangkal secara *real-time*.

Namun, jantung dari infrastruktur *solarpunk* ini adalah sebuah sistem yang hidup. Tersebar di dalam laut internal, sebuah susunan hibrida dari delapan hingga sepuluh pelampung profiler terus bergerak: Argo standar, unit Biogeokimia (BGC), dan penjelajah EM-APEX.

"Para insinyur korporasi dulunya menganggap laut hanya sebagai blok ekonomi yang harus ditembok kaku," cetus Jaladri, jemarinya menggeser tampilan layar. "Mereka tidak memahami bahwa untuk memantau pengangkutan massa, panas, dan air tawar melalui Arus Lintas Indonesia (Arlindo/ITF), kita tidak

membangun penghalang — melainkan membangun sensor yang hanyut *bersama* arus. Lihat tingkat pencampuran ini."

Dengan menggabungkan model resolusi tinggi dengan telemetri fisik dari pelampung profiler, mereka akhirnya berhasil mengurai pencampuran yang digerakkan oleh pasang surut yang mengatur karakter keseluruhan Arlindo. Mereka tidak lagi membutuhkan rute XBT internal kuno yang mahal seperti PX2 atau IX22; susunan pelampung otonom kini menyediakan profil termoklin yang bersih dan seketika.

Hanya garis IX1 legendaris di seberang cekungan Indo-Australia yang dipertahankan—bukan sebagai alat komersial, melainkan sebagai titik periksa referensi multi-dekade, ditingkatkan dengan ADCP resolusi tinggi dan salinometer presisi. Teknologi tidak lagi menjadi instrumen

eksploitasi, melainkan alat penataan planet, membalikkan monopoli korporasi demi melayani hajat hidup publik.

KALIBRASI DETAK PASANG SURUT

Untuk memulihkan sistem iklim regional, mereka harus memetakan lokasi tepat di mana energi pasang surut terdisipasi. Fase kedua dari strategi mereka adalah kampanye pengambilan sampel mikrostruktur lokal yang agresif, dirancang bukan oleh firma teknologi Barat yang jauh, melainkan oleh para ilmuwan muda Indonesia yang memahami kosakata musiman perairan mereka sendiri.

"Kami sedang menjalankan stasiun yoyo dua puluh empat jam penuh melintasi lokasi-lokasi pembangkitan arus," lapor seorang oseanografer muda melalui sambungan video dari kapal riset pesisir di dekat Kepulauan Sula. "Kami telah

menjadwalkan pengambilan sampel selama pasang purnama (*spring tides*) saat sinyal baroklinik berada pada titik terkuatnya. Alat *chi-pod* pada tambatan menangkap modulasi diurnal dengan sangat sempurna."

Layar monitor memetakan titik-titik tekanan kritis:

- **Jalur Timur:** Selat Halmahera, Lifamatola Passage, Selat Sula, dan Buru.
- **Jalur Barat:** Bukit Sangihe, Jalur Sibutu, Selat Makassar, dan Dewakang.
- **Jalur Keluar:** Selat Ombai, Lombok, dan Sumba.

Dengan melacak kecepatan horizontal frekuensi tinggi dan fluktuasi kepadatan langsung di dalam termoklin, tim dapat menghitung perambatan berkas pasang surut baroklinik saat mereka

menyebar jauh dari lokasi generasi menuju bagian dalam Laut Sulawesi dan Laut Banda yang dalam.

"Ini berhasil," Jaladri mencatat, melihat telemetri biologis menyala terang di layar. "Data pendampingnya masuk. Lihat lonjakan nutrisi dan klorofil itu."

Di tempat pasang surut internal mengaduk lapisan terstratifikasi, massa air dingin yang kaya nutrisi dari laut dalam didorong naik ke lapisan permukaan yang kaya sinar matahari. Sabuk Vegeneratif yang mereka tanam—hutan mangrove purba jenis *Bruguiera* dan *Rhizophora* hibrida yang dilepaskan saat badai besar lima tahun lalu—bertindak sebagai spons biologis raksasa. Mereka menyerap masuknya nitrat dan fosfat dalam volume masif ini, memicu ledakan fitoplankton yang terkendali, yang seketika

menghidupkan kembali produktivitas perikanan nelayan kecil tradisional.

Data tersebut memvalidasi kebenaran manuskrip lontar kuno: pencampuran pasang surut adalah 'napas' yang memberi makan kehidupan laut. Menggunakan teknologi rendah daya dan terbuka (*open-source*) seperti tomografi akustik pantai dan *pod* data *pop-up*, tim ilmuwan muda ini telah menciptakan sistem tata kelola yang menjaga kawasan pesisir dari kehancuran lingkungan, tanpa perlu menuangkan satu ton pun semen industri ke laut.

TATA KELOLA SAMUDRA RAYA

Kemenangan sejati dari pelayaran *Nusa Rimba II* bukanlah sebuah isolasi, melainkan sebuah solidaritas internasional yang radikal. Berdiri di dek anjungan, Jaladri memegang salinan cetak dari pakta kesepakatan maritim regional baru,

yang dibangun di atas kerangka kerja Ekspedisi Internasional Samudra Hindia.

"Tidak ada satu negara pun yang bisa mempertahankan jaringan pengamatan sesempurna ini sendirian," kalimat Prof. Amara sebelum wafat kini telah menjadi fondasi kebenaran di abad baru ini.

Indonesia telah melangkah maju bukan sekadar sebagai penjaga gerbang geografis, melainkan sebagai koordinator politik untuk seluruh wilayah Indo-Pasifik. Dengan melegalkan dan menegakkan kebijakan data terbuka (*open-access*), negara memastikan bahwa setiap bit telemetri iklim—mulai dari salinitas permukaan laut (SSS) hingga pengukuran fluks udara-laut yang ditangkap oleh jaringan kapal feri penumpang luas—bisa diakses gratis oleh setiap

komunitas pulau kecil di seluruh cekungan regional.

Monopoli korporasi dari *Aero-Aqua Corp* dan sindikat beton telah secara sistematis runtuh oleh kebijakan pembangunan berbasis bukti (*evidence-based policy*). Alat pemodelan numerik resolusi tinggi tidak lagi menjadi rahasia dagang komersial; mereka adalah fasilitas publik yang digunakan untuk menguji hipotesis hubungan dinamis jarak jauh, memungkinkan pemerintah daerah tahu persis kapan harus merekayasa infrastruktur pesisir atau merotasi zona budi daya laut rakyat.

Jaladri berjalan ke dek terbuka phinisi, menatap hamparan sabuk hijau hutan mangrove yang membentang luas menjaga cakrawala Laut Banda. Layar surya di atas kepalanya berdengung rendah, mengisi daya motor listrik kapal yang

melaju tanpa suara. Di dekatnya, sekelompok mahasiswa dan ilmuwan muda sedang mempersiapkan beberapa pelampung BGC-Argo untuk dilepaskan ke laut, tawa mereka bersahutan dengan pekikan burung-burung camar.

Traktat telah ditandatangani, sains telah berdaulat, dan "nadi" laut dunia kini mengalir bebas tanpa sekat. Indonesia telah menemukan kembali kompas masa depannya. Saat matahari mendaki lebih tinggi, memancarkan kilau hijau zamrud yang hangat di sepanjang garis pantai yang tangguh, Jaladri bersandar pada pagar kayu ulin kapal, tahu bahwa mereka akhirnya berhasil melunasi tanggung jawab kepada generasi yang akan datang.

EPILOG

KETIKA SAMUDRA KEMBALI BERDENYUT

Tahun 2055.

Matahari terbit di atas horizon Laut Banda, memancarkan kilau hijau zamrud yang hangat menerangi dermaga rakyat di sebuah pulau kecil yang dahulu gersang dan terancam terhapus dari peta navigasi. Tidak ada dinding beton raksasa bernilai ratusan triliun di sana; tidak ada sisa-sisa struktur kaku yang memantulkan keosnya gelombang. Sebagai gantinya, pulau itu kini sepenuhnya dikelilingi oleh Sabuk Vegeneratif—hutan mangrove raksasa purba hasil hibridasi *Bruguiera* dan *Rhizophora* yang akarnya mencuat kokoh dari dalam air, membentuk labirin ekologis yang meredam hingga 80 persen energi hantaman

ombak ekstrem dengan kelembutan yang tangguh.

Jaladri berdiri di atas geladak kayu ulin phinisi bertenaga hidrogen baru, *Nusa Rimba II*. Layar surya fleksibel di atas kepalanya berdengung rendah tanpa suara, mengisi daya 57amudr laboratorium otonom kapal. Di tangannya, ia tidak lagi memegang kalkulasi kasar penuh ketidakpastian, melainkan laporan oseanografi terpadu berbasis bukti (*evidence-based policy*) yang diterbitkan oleh kementerian yang kini diisi oleh para ahli dan ilmuwan karier awal didikannya.

Arlindo telah kembali ke ritme alaminya. Melalui data jaringan desentralisasi dari proyek “Jangkar Hidup”—mulai dari tomografi akustik pantai, radar frekuensi tinggi, hingga asimilasi data *real-time* delapan pelampung EM-APEX dan BGC-

Argo di laut internal—mereka bisa melihat sirkulasi massa air hangat telah pulih. Pengadukan termoklin bawah permukaan yang digerakkan oleh pasang surut internal (*internal tides*) berjalan sempurna, memicu kembali proses *upwelling* yang kaya nutrisi. Kawanan pelagis dan fitoplankton kembali melimpah, memenuhi wilayah tangkap nelayan kecil tradisional dan menghidupkan kembali ekonomi biru Nusantara. Stratifikasi laut yang dahulu mencekik kini telah dijinakkan; sumur-sumur air tawar di pulau terdepan itu kembali penuh karena fluks udara-laut dan monsun yang kembali stabil.

Di dekatnya, sekelompok mahasiswa tingkat akhir sedang bersiap melepaskan satu unit pelampung BGC - Argo baru dalam air, tawa mereka bersahutan dengan pekikan burung-burung camar pantai. Lanskap ini adalah

perwujudan dari keberhasilan Fase Dua: sebuah tata kelola samudra raya yang dibangun atas kerja sama internasional IIOE-2, di mana Indonesia berdiri sebagai koordinator politik yang membebaskan akses data iklim bagi seluruh pulau-pulau kecil berpenduduk, meruntuhkan dominasi korporasi ekstraktif yang dahulu memonopoli sains.

Jaladri mengambil mangkuk kuningan kuno peninggalan mendiang Prof. Amara Jati. Ia berlutut di tepi dek, mencelupkan jemarinya ke air laut yang jernih dan segar, lalu menatap lembar peta navigasi digital di hadapannya. Pulau-pulau kecil Indonesia tidak hilang. Mereka tetap bertahan dan muncul dengan berdaulat di peta dunia, berdenyut selaras dengan detak jantung samudra global melalui sirkulasi termohalin.

Menjaga kelancaran ”nadi” laut ini telah menjadi manifestasi nyata dari kedaulatan di abad ke-21. Indonesia tidak lagi menebak masa depannya atau mempertaruhkan pembangunannya di atas tebakkan fisik yang rapuh. Mereka telah berhasil melunasi tanggung jawab kepada generasi mendatang, mendekolonisasi sains iklim, dan menjadikan kelautan sebagai timbangan kebijakan yang kokoh.

Jaladri berdiri tegap, menghela napas panjang, dan tersenyum. Ia menyalami embusan angin laut yang bertiup ramah dari arah pesisir yang selamat, membawa wangi rimpang aromatik yang khas dari akar-akar masa lalu yang kini tumbuh menjaga masa depan.

Segoro Kidul, 8 Juni 2026

” Happy World Oceans Day!”