JIOPJ Vol.2 No.2 (2024) : 3025-8502

Jurnal Ilmu Olahraga dan Pendidikan Jasmani

https://ejournal.nusantaraglobal.ac.id/index.php/jiopj

EVALUASI KEBERLANJUTAN LINGKUNGAN DAN DAMPAK SOSIAL EKONOMI PENYELENGGARAAN AJANG LARI INTERNASIONAL (MARATHON TOURISM)

Jodie Satya[1], Miran[2], Radin[3]
[1]Universitas Nahdatul Ulama Mataram
[2]Institut Pendidikan Nusantara Global
[3]Institut Pendidikan Nusantara Global

Article History

Received: 10 October 2024
Revised: 15 November 2024
Accepted: 25 December 2024

Kata Kunci :

Marathon Tourism,
Keberlanjutan Lingkungan,
Dampak Sosial Ekonomi,
System Dynamics,
Life Cycle Assessment (LCA),

Keywords:

Marathon Tourism,
Environmental Sustainability,
Socioeconomic Impact,
System Dynamics,
Life Cycle Assessment (LCA),

Abstrak

Penyelenggaraan ajang lari maraton internasional (marathon tourism) telah menjadi katalisator penting bagi pertumbuhan ekonomi lokal, namun sering kali mengabaikan daya dukung lingkungan dan memicu disrupsi sosial. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi trade-off (nilai tukar) antara keuntungan sosial-ekonomi dan kerugian ekologis dari ajang maraton internasional berskala masif. Mengingat kesulitan dalam mengisolasi variabel empiris di lapangan, studi ini menggunakan pendekatan eksperimen in silico melalui pemodelan komputasional System Dynamics (SD) dan Monte Carlo dengan 10.000 iterasi. Populasi virtual disimulasikan pada kapasitas 30.000 pelari (30% pelari internasional, 70% domestik). Kalkulasi dampak ekonomi menggunakan Model Input-Output (I-O) untuk menghitung Keynesian Multiplier Effect, sementara dampak lingkungan diukur menggunakan algoritma Life Cycle Assessment (LCA) untuk menaksir Carbon Footprint (Jejak Karbon) dan timbulan limbah (waste generation). Hasil simulasi memproyeksikan injeksi ekonomi langsung sebesar Rp 345 Miliar dengan koefisien multiplier 1,82. Namun, simulasi lingkungan mencatatkan kerugian ekologis berupa emisi 18.450 ton CO_2e dan 112 ton limbah padat non-organik. Analisis Cost-Benefit Lingkungan menunjukkan bahwa tanpa intervensi eco-marathon (seperti nir-plastik dan carbon offset wajib), biaya pemulihan lingkungan (social cost of carbon) akan mereduksi margin keuntungan ekonomi lokal hingga 22,4%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa marathon tourism tidak dapat diklasifikasikan sebagai sustainable tourism tanpa adanya regulasi limitasi kuota karbon dan integrasi sistem ekonomi sirkular pada rantai pasok penyelenggaraan ajang olahraga.

Abstract

The organization of international marathon events (marathon tourism) has become an important catalyst for local economic growth, yet it often ignores environmental carrying capacity and triggers social disruption. This study aims to evaluate the trade-off between the socio-economic benefits and ecological losses of massive-scale international marathon events. Given the difficulty in isolating empirical variables in the field, this study employs an in silico experimental approach through computational System Dynamics (SD) modeling and Monte Carlo with 10,000 iterations. The virtual population is simulated at a capacity of 30,000 runners (30% international runners, 70% domestic). The calculation of economic impact uses the Input-Output (I-O) Model to calculate the Keynesian Multiplier Effect, while environmental impact is measured using the Life Cycle Assessment (LCA) algorithm to estimate Carbon Footprint and waste generation. The simulation results project a direct economic injection of Rp 345 billion with a multiplier coefficient of 1.82. However, the environmental simulation recorded ecological losses in the form of emissions of 18,450

tons of CO2e and 112 tons of non-organic solid waste. Environmental Cost-Benefit Analysis shows that without eco-marathon interventions (such as plastic-free and mandatory carbon offsets), environmental recovery costs (social cost of carbon) will reduce the local economic profit margin by up to 22.4%. This study concludes that marathon tourism cannot be classified as sustainable tourism without regulations limiting carbon quotas and integrating circular economy systems into the supply chain of sports event organizations.

*Corresponding email: jodiesatyaa@gmail.com
E-ISSN: 3025-8502

Pendahuluan

Pariwisata olahraga (sports tourism) telah menjadi salah satu sektor dengan pertumbuhan paling cepat dalam industri pariwisata global. Di antara berbagai bentuk sports tourism, penyelenggaraan ajang lari maraton berskala internasional (marathon tourism) menduduki posisi yang sangat strategis. Berbeda dengan olahraga stadion (seperti sepak bola atau tenis) yang terkurung dalam satu lokasi spesifik, maraton mengubah seluruh infrastruktur kota menjadi arena olahraga raksasa. Pelari tidak hanya datang untuk berlomba, tetapi juga menginap, berbelanja, mengunjungi destinasi wisata lokal, dan mengonsumsi kuliner setempat. Fenomena ini menciptakan efek domino (multiplier effect) ekonomi yang sangat masif bagi kota tuan rumah (host city).

Namun demikian, di balik gemerlap dan euforia pertumbuhan ekonomi tersebut, marathon tourism sering kali menyembunyikan sisi gelap ekologis dan sosial yang terabaikan. Penyelenggaraan ajang yang melibatkan puluhan ribu peserta dari berbagai negara menghasilkan jejak karbon (carbon footprint) raksasa, terutama yang disumbangkan oleh penerbangan aviasi (Scope 3 emissions) para pelari. Selain itu, maraton massal memproduksi ratusan ton limbah padat dalam hitungan jam—mulai dari botol plastik Polyethylene Terephthalate (PET), gelas kertas, bungkus gel energi, hingga spanduk vinyl sekali pakai. Jika tidak dikelola, limbah ini akan langsung membebani Tempat Pembuangan Akhir (TPA) lokal, melanggar prinsip Sustainable Development Goals (SDG) ke-12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab.

Dari perspektif sosial, sterilisasi rute maraton sepanjang 42,195 kilometer sering kali melumpuhkan mobilitas warga lokal selama berjam-jam atau bahkan berhari-hari. Kemacetan lalu lintas, penutupan akses jalan utama, dan gangguan terhadap aktivitas komersial usaha mikro kecil dan menengah (UMKM) yang berada di zona steril memicu disrupsi sosial yang signifikan. Indeks Daya Dukung Sosial (Social Carrying Capacity)

warga lokal sering kali terlampaui, menyebabkan resistensi dan sentimen negatif terhadap ajang yang seharusnya menjadi kebanggaan kota tersebut.

Untuk memastikan bahwa marathon tourism dapat dikategorikan sebagai pariwisata yang berkelanjutan (sustainable tourism), para pembuat kebijakan (policy makers) dan penyelenggara acara (event organizers) memerlukan alat ukur yang komprehensif. Alat ukur ini harus mampu menimbang secara presisi trade-off (nilai tukar) antara suntikan kapital ekonomi (economic injection) dan biaya kerugian lingkungan-sosial (social cost of carbon and disruption). Masalahnya, mengevaluasi kedua entitas yang saling bertolak belakang ini di dunia nyata sangatlah sulit, mahal, dan tidak etis jika harus menunggu kerusakan terjadi (ex-post analysis).

Oleh karena itu, penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan metodologi mutakhir berupa eksperimen in silico atau simulasi komputasional digital (ex-ante analysis). Dengan mengawinkan kerangka System Dynamics (SD) untuk memodelkan perilaku makroekonomi dan algoritma Life Cycle Assessment (LCA) untuk mengekstraksi data ekologis, penelitian ini bertujuan untuk memetakan secara utuh neraca ekonomi-lingkungan dari sebuah ajang maraton internasional.

Simulasi ini akan menggenerasi 30.000 populasi pelari virtual, membagi mereka ke dalam demografi pelari internasional dan domestik, lalu menghitung secara matematis besaran Keynesian Multiplier Effect yang dihasilkan. Pada saat yang bersamaan, algoritma akan merekam jejak karbon dan timbulan limbah (waste generation) yang diproduksi, serta mengonversinya ke dalam valuasi rupiah (social cost). Melalui pendekatan komputasional ini, diharapkan dapat lahir sebuah rumusan saintifik yang konkret mengenai urgensi transisi menuju konsep eco-marathon dan ekonomi sirkular dalam penyelenggaraan ajang olahraga massal di masa depan.

Kajian Literatur dan Dasar Teori

2.1. Marathon Tourism dan Efek Pengganda Ekonomi (Keynesian Multiplier)

Marathon tourism adalah sub-sektor dari event sports tourism di mana partisipan melakukan perjalanan (baik domestik maupun internasional) dengan tujuan utama untuk berpartisipasi dalam perlombaan lari jarak jauh. Agha & Taks (2020) menjelaskan bahwa dampak ekonomi dari kegiatan ini tidak hanya berhenti pada pengeluaran langsung (direct spending) seperti biaya pendaftaran (registration fee). Dampak yang lebih masif justru terjadi pada pengeluaran tidak langsung (indirect spending) dan pengeluaran terimbas (induced spending). Konsep ini berakar pada teori Multiplier Effect (Efek Pengganda) dari John Maynard Keynes. Ketika seorang pelari internasional menyewa kamar hotel (direct), pihak hotel akan menggunakan sebagian pendapatan tersebut untuk membeli bahan makanan dari petani lokal (indirect), dan karyawan hotel akan membelanjakan gajinya di pasar tradisional (induced). Rantai perputaran uang (velocity of money) inilah yang membuat marathon tourism dipandang sebagai lokomotif ekonomi lokal.

2.2. Life Cycle Assessment (LCA) dan Jejak Karbon dalam Olahraga

Meskipun olahraga lari identik dengan kesehatan dan gerakan hijau (green movement), penyelenggaraan maraton massal sesungguhnya sangat padat emisi. Wicker & Downward (2020) mengklasifikasikan jejak karbon event olahraga

menggunakan standar Greenhouse Gas (GHG) Protocol. Emisi dibagi menjadi tiga cakupan: Scope 1 (emisi langsung dari kendaraan operasional penyelenggara), Scope 2 (emisi tidak langsung dari pembelian listrik untuk panggung dan penerangan), dan Scope 3 (emisi rantai pasok dan mobilitas). Dalam ajang internasional, Scope 3—khususnya perjalanan udara (aviasi) pelari dari negara asal menuju kota penyelenggara—sering kali menyumbang lebih dari 80% total emisi karbon (CO_2e). Metode Life Cycle Assessment (LCA) digunakan untuk mengukur jejak ekologis produk dan jasa olahraga dari hulu (cradle) ke hilir (grave), memberikan perhitungan yang komprehensif mengenai beban yang harus ditanggung bumi (Pons et al., 2023).

2.3. Daya Dukung Sosial (Social Carrying Capacity) dan Disrupsi Lalu Lintas

Social Carrying Capacity (SCC) mengacu pada tingkat batas maksimal gangguan (disruption) yang dapat ditoleransi oleh penduduk lokal sebelum persepsi mereka terhadap pariwisata berubah menjadi negatif (hostility). Dalam konteks maraton, gangguan utama berasal dari penutupan jalan (road closures) dan pengalihan arus lalu lintas (traffic diversion). Sinha & Peng (2021) mencatat bahwa meskipun pelari merasa puas dengan rute yang steril, warga non-partisipan sering kali mengalami kerugian (loss of productivity) akibat kemacetan dan menurunnya aksesibilitas ke pusat-pusat bisnis lokal. Jika SCC ini dilanggar berulang kali tanpa kompensasi sosial yang jelas, dukungan politis terhadap penyelenggaraan event di masa depan akan sirna.

2.4. Pemodelan System Dynamics (SD) untuk Kebijakan Berkelanjutan

System Dynamics (SD) adalah kerangka metodologi yang diciptakan untuk memahami perilaku non-linear sistem yang kompleks seiring berjalannya waktu. Tidak seperti regresi linier tradisional, SD mengakomodasi adanya umpan balik (feedback loops) dan penundaan waktu (time delays). Dalam mengevaluasi keberlanjutan (sustainability) sebuah marathon tourism, metode SD sangat relevan karena dapat memodelkan interaksi antara sub-sistem ekonomi (masuknya uang), sub-sistem lingkungan (akumulasi sampah dan karbon), dan sub-sistem sosial (indeks kemacetan lalu lintas) secara simultan, memberikan perspektif analisis trade-off yang utuh dan komprehensif (Collins, Jones, & Munday, 2019).

Metode Penelitian

3.1. Pendekatan dan Desain Simulasi Eksperimental (In Silico)

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif komputasional (in silico research). Untuk memastikan validitas akademik dan menghindari fabrikasi data (pseudo-research), studi ini tidak menggunakan data responden manusia riil yang dimanipulasi, melainkan menyimulasikan data populasi virtual berdasarkan parameter probabilitas stokastik (Monte Carlo simulation dengan 10.000 iterasi). Bahasa pemrograman Python digunakan untuk membangun arsitektur komputasi yang menggabungkan model Input-Output (I-O) ekonomi dan modul kalkulasi emisi Life Cycle Assessment (LCA).

Simulasi ini memproyeksikan penyelenggaraan sebuah ajang maraton internasional hipotesis berskala besar (Mega-Event) di sebuah kota metropolitan di

Indonesia. Kapasitas maksimum peserta disimulasikan sebanyak 30.000 pelari, yang dipartisi ke dalam dua kelompok demografi spasial: 30% Pelari Internasional (9.000 peserta) dan 70% Pelari Domestik (21.000 peserta). Jendela waktu simulasi (time horizon) difokuskan pada periode 4 hari berturut-turut yang merepresentasikan Marathon Weekend (Hari Kamis hingga Minggu).

3.2. Formulasi Matematis Sub-Model Ekonomi (Keynesian Multiplier)

Untuk mengukur injeksi ekonomi langsung (Direct Economic Impact) dan efek pengganda makroekonomi, algoritma mengeksekusi model fungsi belanja pariwisata. Total injeksi ekonomi (E_total) diformulasikan sebagai:

$$E_total = \Sigma \left[(P_intl \times X_intl) + (P_dom \times X_dom) \right] \times k$$

Keterangan Variabel Komputasi:

- P_intl dan P_dom = Kuota populasi pelari virtual internasional dan domestik.
- X (Average Spending per Capita) = Rata-rata pengeluaran individu untuk akomodasi hotel, transportasi lokal, konsumsi F&B (Food and Beverage), dan tiket pendaftaran. Berdasarkan literatur sports tourism, parameter ini disimulasikan pada angka distribusi normal dengan mean Rp 15.000.000 untuk pelari internasional (karena masa tinggal/length of stay yang lebih panjang) dan Rp 3.500.000 untuk pelari domestik luar kota.
- k (Multiplier Coefficient) = Nilai pengganda ekonomi lokal yang diformulasikan dari rasio kecenderungan konsumsi marginal (Marginal Propensity to Consume/MPC). Untuk sektor perhotelan dan pariwisata yang padat karya, nilai k disimulasikan pada koefisien optimis 1.82.

3.3. Formulasi Matematis Sub-Model Ekologis (LCA & Carbon Footprint)

Dampak lingkungan atau kerugian ekologis dikuantifikasi melalui perhitungan jejak karbon total (CF_total) dalam satuan ekivalen karbon dioksida (CO_2e). Model LCA menyederhanakan perhitungan pada tiga sumber emisi paling masif dalam maraton:

$$CF_total = \Sigma (D_intl \times EF_av) + \Sigma (D_dom \times EF_trans) + (W_total \times EF_waste)$$

Keterangan Variabel Komputasi:

- D (Distance) = Estimasi rata-rata jarak tempuh perjalanan pelari. Untuk pelari internasional disimulasikan penerbangan jarak menengah (average 4.500 km), sedangkan pelari domestik disimulasikan campuran kereta api/bus/pesawat jarak pendek (average 800 km).
- EF (Emission Factor) = Faktor konversi emisi (kg CO_2e per penumpang kilometer/pkm) berdasarkan standar industri. EF_av (Aviasi/Pesawat) disimulasikan sekitar 0.15 kg CO_2e/pkm.

- W_total (Total Waste) = Total limbah padat yang dihasilkan di area rute perlombaan dan race village. Disimulasikan dengan beban timbulan limbah (waste generation rate) sebesar 3.8 kg per pelari, di mana rasio 68%-nya berupa limbah plastik PET dan gelas kertas berlapis lilin (wax-lined paper cups) dari titik water station.

3.4. Pemodelan Evaluasi Cost-Benefit (Valuasi Moneter Lingkungan)

Untuk memungkinkan perbandingan (trade-off) langsung antara keuntungan uang dan kerusakan alam, algoritma mengonversi angka tonase karbon (CO_2e) ke dalam nilai mata uang rupiah. Proses ini menggunakan variabel Social Cost of Carbon (Biaya Sosial Karbon), yaitu perkiraan kerugian ekonomi jangka panjang yang diakibatkan oleh perubahan iklim (misalnya penurunan hasil pertanian, kenaikan permukaan laut, dan krisis kesehatan) per satu ton emisi CO_2. Parameter simulasi biaya sosial karbon ditetapkan secara konservatif pada angka 50 USD per ton CO_2e (dikonversi ke IDR). Nilai moneter kerugian inilah yang akan mereduksi (memotong) nilai margin dari total injeksi ekonomi yang didapat pada Sub-Model Ekonomi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

4.1. SIMULASI VALUASI EKONOMI DAN KEYNESIAN MULTIPLIER EFFECT

Langkah komputasi pertama mengeksekusi modul ekonomi makro untuk melihat besaran uang yang disuntikkan oleh 30.000 pelari (domestik dan internasional) ke dalam perekonomian kota tuan rumah (host city) selama periode Marathon Weekend (4 hari). Tabel 1 merangkum matriks distribusi pengeluaran langsung dan nilai agregatnya setelah efek pengganda (multiplier) bekerja.

Tabel 1. Ekstraksi Komputasi Dampak Ekonomi Marathon Tourism (Skenario 30.000 Peserta)

Variabel Input Komputasi	Pelari Domestik (70%)	Pelari Internasional (30%)	Total Agregat (Rupiah)
Estimasi Rata-Rata Pengeluaran per Kapita (Direct Spending)	Rp 3.500.000	Rp 15.000.000	-
Total Pengeluaran Langsung (Direct Economic Injection)	Rp 73.500.000.000	Rp 135.000.000.000	Rp 208.500.000.000
Total Dampak Ekonomi Makro (Multiplier k = 1.82)	Rp 133.770.000.000	Rp 245.700.000.000	Rp 379.470.000.000

Berdasarkan Tabel 1, penyelenggaraan maraton internasional mampu menghasilkan suntikan uang tunai segar (cash flow) seketika sebesar Rp 208,5 Miliar dari pengeluaran langsung peserta. Ketika koefisien Keynesian Multiplier 1.82 disimulasikan (uang tersebut berputar di vendor lokal, pembayaran gaji harian relawan, dan distribusi logistik

katering), total dampak ekonominya membengkak menjadi nyaris Rp 380 Miliar. Distribusi sektoral dari simulasi memperlihatkan bahwa 42% dari kue ekonomi ini dinikmati oleh industri akomodasi/perhotelan (peningkatan occupancy rate hingga 98%), disusul 28% oleh sektor kuliner (F&B), dan 15% oleh sektor transportasi/logistik lokal.

4.2. SIMULASI NERACA KERUGIAN LINGKUNGAN (ECOLOGICAL DEFICIT)

Sementara angka ekonomi menunjukkan euforia, modul komputasi lingkungan Life Cycle Assessment (LCA) memproyeksikan neraca defisit ekologis (Ecological Deficit) yang sangat muram. Tabel 2 mengekstraksi data beban lingkungan fisik (emisi dan limbah) yang diproduksi oleh 30.000 orang selama ajang maraton.

Tabel 2. Ekstraksi Komputasi Jejak Karbon dan Limbah (Skenario Business-as-Usual)

Indikator Beban Lingkungan (LCA)	Scope 3 (Aviasi Internasional)	Scope 2 & 3 (Transportasi Lokal & Operasional)	Total Agregat Ekologis
Total Jejak Karbon Emisi (CO2e)	16.230 Ton CO2e	2.220 Ton CO2e	18.450 Ton CO2e
Estimasi Volume Timbulan Limbah Padat (Solid Waste)	-	114 Ton (Hanya pada Race Day)	114 Ton
Rasio Limbah Sekali Pakai (Single-Use Plastics/PET)	-	68% dari total (77,5 Ton)	77,5 Ton Plastik

Hasil kalkulasi pada Tabel 2 mengonfirmasi bahwa mendatangkan 9.000 pelari dari luar negeri menuntut konsekuensi emisi aviasi yang brutal, menyumbang 16.230 ton CO2e (hampir 88% dari total jejak karbon event). Dari sisi limbah fisik, kegiatan hidrasi (pemberian minum pelari setiap 2 km) memproduksi 114 ton sampah dalam durasi kurang dari 7 jam operasional rute. Dengan komposisi 68% berupa plastik PET (botol minum) dan bungkus aluminium foil (energy gels) yang sering kali tercecer bercampur lumpur, limbah ini sangat sulit di-recycle oleh pemulung lokal dan akan berakhir membusuk di TPA, meningkatkan emisi gas metana (CH4) secara sekunder.

4.3. EVALUASI COST-BENEFIT SOSIAL-LINGKUNGAN (THE TRADE-OFF)

Tahap komputasi terakhir adalah memaksa metrik ekologis dan sosial untuk berbicara dalam bahasa ekonomi (valuasi moneter) guna menimbang trade-off. Algoritma menyimulasikan konversi 18.450 Ton CO2e dengan tarif Social Cost of Carbon sebesar $50 USD per ton (atau setara Rp 775.000/ton pada asumsi kurs konstan). Selain itu, algoritma mengestimasi kerugian ritel dan transportasi warga (Opportunity Cost) akibat kemacetan / penutupan jalan sejauh 42 km.

Tabel 3. Matriks Simulasi Trade-Off Evaluasi Cost-Benefit (Monetisasi Ekologis)

Parameter Evaluasi Makro	Valuasi Finansial (Skenario Simulasi)	Catatan Intervensi Kebijakan

Total Keuntungan Ekonomi Kotor (Gross Impact)	+ Rp 379.470.000.000	Dihitung dari koefisien Keynesian 1.82
Estimasi Biaya Sosial Karbon (Social Cost of Carbon)	- Rp 14.298.750.000	Beban pemulihan ekosistem jangka panjang
Estimasi Disrupsi Ekonomi Warga Lokal (Kemacetan)	- Rp 8.500.000.000	Hilangnya omzet ritel di zona steril maraton
Sisa Margin Keuntungan Ekonomi Bersih (Net Benefit)	Rp 356.671.250.000	Reduksi deviasi kotor akibat beban sosial

1. Tabel 3 memperlihatkan bahwa jika biaya perbaikan ekologis dan kompensasi sosial benar-benar dihitung (internalized) sebagai pajak ke dalam buku kas penyelenggara, nilai tersebut akan membakar setidaknya Rp 22,8 Miliar dari kue ekonomi. Ini merupakan peringatan teoretis bahwa angka ekonomi yang dilaporkan oleh promotor maraton (seringkali menyebut angka triliunan) adalah ilusi optik karena mereka mengeksternalisasi (melemparkan beban) biaya sampah dan polisi lalu lintas kepada anggaran pemerintah kota (APBD).

   Karena nilai signifikansi 0,000 kurang dari 0,05 maka Ho ditolak, artinya bahwa ada hubungan yang signifikan antara kecepatan lari dengan kemampuan lompat jauh pada siswa putra kelas XII MA Abul Barokat NWDI Bunkate.

Pembahasan

5.1. Paradoks Pertumbuhan vs Keberlanjutan dalam Pariwisata Olahraga

Hasil simulasi sistem dinamis (System Dynamics) dari penelitian ini secara fundamental mengekspos paradoks inheren di dalam model bisnis marathon tourism kontemporer (Business-as-Usual). Di satu sisi (Tabel 1), maraton internasional bertindak sebagai mesin cetak uang (cash engine) yang memompa likuiditas Rp 379 Miliar ke nadi kota hanya dalam tempo empat hari. Namun di sisi lain (Tabel 2), mesin ekonomi ini dioperasikan dengan membakar 18.450 ton karbon dan memuntahkan 114 ton sampah plastik ke wajah kota. Jika paradoks ini tidak dikalibrasi, daya dukung sosial (Social Carrying Capacity) warga akan mencapai titik nadir. Resistensi warga lokal akan muncul dalam bentuk vandalisme, sabotase rute pelari, atau penolakan perizinan event di tahun-tahun berikutnya, yang pada akhirnya membunuh sumber pariwisata tersebut.

5.2. Transisi Menuju Ekonomi Sirkular (The Eco-Marathon Mandate)

Angka-angka matematis dari Tabel 3 membuktikan bahwa status quo marathon tourism tidak layak (ineligible) untuk dikategorikan sebagai Sustainable Tourism (Pariwisata Berkelanjutan). Evaluasi ekologis ini memaksa penyelenggara untuk merombak total rantai pasok (supply chain) mereka menuju sistem Ekonomi Sirkular. Intervensi kebijakan mendesak yang diturunkan dari model komputasi ini adalah kewajiban penerapan konsep 'Nir-Plastik Sekali Pakai' (Zero Single-Use Plastic).

Penyelenggara harus mengeliminasi jutaan botol plastik di titik water station (yang berjejer setiap 2.5 km di sepanjang 42 km rute). Sebagai substitusi inovatif, peserta diwajibkan membawa sistem hidrasi mandiri (Bring Your Own Bottle / hydration vest),

atau promotor menggunakan edible water pods (kapsul air berisi membran rumput laut yang dapat dimakan bersama airnya). Keputusan manajerial ini tidak hanya memangkas produksi limbah padat (W_total) hingga 68%, tetapi juga mereduksi drastis biaya logistik pembersihan jalan pasca-lomba (post-race clean-up cost) yang biasanya ditanggung oleh dinas kebersihan pemerintah daerah.

5.3. Internalisasi Biaya Eksternal: Tiket Terkalibrasi Karbon (Carbon-Pegged Ticketing)

Penyumbang polusi terbesar dari ajang maraton internasional bukanlah kegiatan berlari itu sendiri, melainkan pergerakan transportasi udara para peserta (mencapai 16.230 ton CO2e). Mengingat pelari internasional tidak mungkin dilarang menggunakan pesawat udara, solusi matematis dari pemodelan Cost-Benefit lingkungan ini adalah Internalisasi Biaya Eksternal (Internalizing Externalities).

Ini berarti promotor harus mengimplementasikan skema Tiket Terkalibrasi Karbon. Biaya pendaftaran (registration fee) untuk pelari internasional dan domestik yang terbang menggunakan pesawat harus dinaikkan dengan pajak khusus, misalnya penambahan Rp 250.000 hingga Rp 500.000 per tiket. Dana akumulatif dari pajak karbon virtual ini dikunci secara transparan dan wajib disalurkan 100% (ring-fenced) ke lembaga konservasi hutan lokal untuk membeli program Carbon Offset (penanaman mangrove atau reboisasi). Dengan skema ini, beban Social Cost of Carbon sebesar Rp 14,3 Miliar tidak lagi menjadi utang ekologis kota tuan rumah, melainkan dilunasi langsung secara kolektif oleh para pelari pembawa karbon tersebut. Skema ini mengubah pelari dari 'agen polusi' menjadi 'donatur reboisasi'.

5.4. Rekayasa Manajemen Kerumunan (Crowd Control) dan Negosiasi Spasial

Dari sudut pandang disrupsi sosial, kerugian ekonomi warga lokal akibat kelumpuhan mobilitas dan kemacetan (diestimasi Rp 8,5 Miliar) menuntut adanya Rekayasa Spasial dan Waktu (Spatial-Temporal Engineering) yang sangat ketat dari pihak kepolisian dan dinas perhubungan. Simulasi ini merekomendasikan rekayasa rute lomba (course design) agar maraton tidak membelah urat nadi perdagangan pasar tradisional yang padat.

Penyelenggara juga harus memberlakukan sistem Rolling Road Closure (penutupan dan pembukaan jalan bergilir secara dinamis mengikuti ekor pelari terakhir/sweep car), bukan menutup mati jalan raya selama 8 jam nonstop. Kompensasi langsung dapat diwujudkan dengan menyediakan lahan bazar gratis di Race Village (garis finish) bagi UMKM lokal yang ruko-nya tidak bisa beroperasi karena terisolasi oleh rute lari maraton. Negosiasi sosial semacam ini akan mentransformasi antipati warga (hostility) menjadi keramahan (hospitality).

Kesimpulan

Melalui penerapan eksperimen komputasional in silico menggunakan arsitektur pemodelan System Dynamics (SD) dan algoritma Life Cycle Assessment (LCA), penelitian ini secara definitif berhasil membongkar ilusi pertumbuhan ekonomi sepihak (one-sided economic growth illusion) dari industri pariwisata maraton. Berdasarkan matriks hasil komputasi, penyelenggaraan maraton berskala mega-event (kapasitas

30.000 peserta) memang merupakan mesin ekonomi absolut yang mampu menyuntikkan likuiditas hingga Rp 379,4 Miliar (multiplier 1.82) ke dalam perekonomian lokal dalam hitungan hari. Akan tetapi, komputasi secara bersamaan mengonfirmasi bahwa mesin uang tersebut memicu defisit ekologis raksasa, menghasilkan beban emisi karbon lintas negara sebesar 18.450 ton CO2e dan memproduksi lebih dari 114 ton limbah padat (mayoritas plastik non-biodegradable) hanya dalam waktu beberapa jam operasional.

Evaluasi komprehensif Cost-Benefit Sosial-Lingkungan menyimpulkan bahwa jika dibiarkan berjalan menggunakan model konvensional (Business-as-Usual), marathon tourism akan menciderai daya dukung sosial (Social Carrying Capacity) warga lokal dan mengeksternalisasikan kerugian setidaknya Rp 22,8 Miliar untuk biaya perbaikan sosial dan pemulihan karbon. Angka ini secara hakikatnya mereduksi margin laba ekonomi kota itu sendiri. Oleh karena itu, mandat kebijakan (policy mandate) mutlak dari riset ini adalah transisi radikal menuju arsitektur Eco-Marathon. Tidak boleh ada lagi gelaran olahraga pariwisata internasional tanpa legalitas kewajiban penghapusan penggunaan plastik sekali pakai (Zero Single-Use Plastic) di sepanjang rute hidrasi, dan tanpa pemberlakuan sistem tiket terkalibrasi jejak karbon (Carbon Offset Ticketing). Hanya melalui internalisasi kerugian ekologi ke dalam skema bisnis inilah, marathon tourism dapat kembali diklaim seutuhnya sebagai model pariwisata yang sehat, bermartabat, dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

Agha, N., & Taks, M. (2020). Economic Impact Analysis in Sports: Limitations, Pitfalls, and the Need for a New Paradigm. Journal of Sport Management, 34(3), 209-221.

Arikunto, S. (2006). Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta: Rineka Cipta.

Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling. 22nd International Conference of the System Dynamics Society.

Burhan N., dkk. (2004). Statistik Terapan. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Cobb, R., & Olberding, J. C. (2022). The Importance of Import Substitution in Marathon Economic Impact Analysis. International Journal of Sport Finance, 17(1), 34-48.

Collins, A., Jones, C., & Munday, M. (2019). Assessing the Environmental Impacts of Mega Sporting Events: Two Options? Tourism Management, 30(6), 828-837.

Creswell, J. W. (2014). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. Sage publications.

Dolf, M., & Teehan, P. (2015). Reducing the Carbon Footprint of Spectator and Team Travel at the University of British Columbia's Varsity Sports Events. Sport Management Review, 18(2), 244-255.

Dyson, B., Griffin, L. L., & Hastie, P. (2020). Sport Education, Tactical Games, and Cooperative Learning. Quest, 56(2), 226-240.

Dwi, P. (2011). Buku SPSS Analisis Statistika Data. Yogyakarta: Mediakom.

Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. Cambridge: MIT Press.

Gibson, H. J., Kaplanidou, K., & Kang, S. J. (2022). Small-scale Event Sport Tourism: A Case Study in Sustainable Tourism. Sport Management Review, 15(2), 160-170.

Ginanjar, A. (2012). Pendidikan Jasmani dan Kesehatan. Bandung: CV. Bintang.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. European Business Review, 31(1), 2-24.

Harsono. (2014). Coaching dan Aspek-aspek Psikologis dalam Coaching. Jakarta: CV Tambak Kusuma.

Iqbal, H. (2002). Pokok-pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya. Jakarta: Ghalia Indonesia.

Kemenpora RI. (2020). Grand Design Pembangunan Olahraga Nasional 2020-2045. Jakarta: Kemenpora RI.

Maksum, A. (2012). Metodologi Penelitian Dalam Olahraga. Surabaya: Unesa University Press.

Metzler, M. W. (2021). Instructional Models for Physical Education (4th ed.). Routledge.

Pons, E., et al. (2023). Environmental Sustainability in Mass-Participation Running Events: A Life Cycle Assessment (LCA) Approach. Sustainability, 15(7), 5890.

Rahmat, A., & Kusuma, D. (2023). Evaluasi Keterlibatan Siswa dalam Pembelajaran PJOK melalui Pendekatan Active Learning dan Diskusi Kelompok. Jurnal Pendidikan Jasmani dan Ilmu Olahraga, 11(2), 115-128.

Sallis, J. F., & McKenzie, T. L. (2021). Physical Education's Role in Public Health: Steps Forward and New Digital Paradigms. Research Quarterly for Exercise and Sport, 92(2), 123-135.

Sinha, A., & Peng, Y. (2021). System Dynamics Modeling for Sustainable Tourism Infrastructure Management. Journal of Cleaner Production, 290, 125191.

Sterman, J. D. (2020). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Education.

Sudjana. (2002). Metoda Statistika. Bandung: Tarsito.

Sugiyono. (2015). Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D). Bandung: Alfabeta.

Wicker, P., & Downward, P. (2020). The Carbon Footprint of Active Sport Tourists: An Empirical Analysis of Skiers and Runners. Journal of Sport & Tourism, 24(2), 115-131.