E-ISSN: 3025-0994
Halaman 2732-2747
Volume 4 Nomor 3 Tahun 2026

Estimasi Akumulasi Termal Lingkungan Terbuka Kota Batam Menggunakan Pendekatan Integrasi Simpson 1/3

Muhammad Abdul Husain[1], Nabila Syabani[2], Muhammad Rizky Kamil Al-Ayyuby[3], Muhammad Reza Syahputra[4], Nanda Jarti[5]

[1,2,3,4,5] Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Ibnu Sina, Kota Batam, Indonesia
e-mail: 231055201087@uis.ac.id[1], 231055201076@uis.ac.id[2]
231055201042@uis.ac.id[3], 231055201091@uis.ac.id[4], nandaluthan@gmail.com[5]

Abstrak

Paparan kalor termal yang ekstrem di kawasan perkotaan industri seperti Kota Batam berpotensi memicu fenomena Urban Heat Island (UHI) dan berdampak pada heat strain bagi pekerja maupun masyarakat yang beraktivitas di luar ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi akumulasi total paparan kalor termal harian di ruang terbuka Kota Batam menggunakan pendekatan komputasi numerik integrasi Simpson 1/3. Data yang dianalisis merupakan data sekunder historis suhu udara per jam yang tercatat pada tanggal 5 Mei 2026, mencakup rentang waktu aktivitas luar ruangan dari pukul 06:00 hingga 18:00 WIB. Mengingat fluktuasi suhu harian membentuk kurva nonlinier kontinu yang tidak memiliki solusi analitik eksak, metode numerik Simpson 1/3 diterapkan karena keunggulannya dalam memberikan tingkat akurasi tinggi melalui pendekatan polinomial berderajat dua dengan tingkat galat komputasi yang sangat minim. Hasil perhitungan komputasi menunjukkan bahwa akumulasi paparan kalor termal di lingkungan terbuka Kota Batam pada tanggal pengamatan mencapai 376,27 Derajat-Jam (°C·jam). Nilai ini merepresentasikan beban termal yang cukup masif jika diakumulasikan sepanjang jam kerja. Secara ekuivalen, rata-rata paparan suhu jam kerja berada pada level 31,35 °C, sebuah ambang batas yang membutuhkan kewaspadaan ekstra terhadap keluhan heat stress. Penelitian ini membuktikan bahwa metode komputasi numerik tidak hanya dapat diaplikasikan pada optimasi matematis teoretis, tetapi juga sangat relevan untuk memetakan risiko kesehatan lingkungan dan tata ruang kota, sehingga dapat menjadi dasar pertimbangan mitigasi UHI yang lebih komprehensif oleh pemerintah daerah.

Kata Kunci: Integrasi Numerik; Metode Simpson 1/3; Paparan Kalor Termal; Urban Heat Island; Kota Batam.

Abstract

Extreme thermal heat exposure in industrial urban areas like Batam City has the potential to trigger the Urban Heat Island (UHI) phenomenon and cause heat strain for outdoor workers and the community. This study aims to estimate the total daily accumulation of thermal heat

exposure in open spaces of Batam City using the Simpson 1/3 numerical integration approach. The data analyzed are historical secondary hourly air temperature data recorded on May 5, 2026, covering the outdoor activity time span from 06:00 to 18:00 WIB. Given that daily temperature fluctuations form a continuous nonlinear curve with no exact analytical solution, the Simpson 1/3 numerical method was applied due to its superiority in providing high accuracy through a second-degree polynomial approximation with minimal computational error. The computational calculation results show that the accumulation of thermal heat exposure in the open environment of Batam City on the observation date reached 376.27 Degree-Hours (°C·h). This value represents a massive thermal load if accumulated over working hours. Equivalently, the average working hour temperature exposure is at the level of 31.35 °C, a threshold that requires extra vigilance against heat stress complaints. This research proves that numerical computation methods can not only be applied to theoretical mathematical optimization but are also highly relevant for mapping environmental health and urban planning risks, thus serving as a basis for more comprehensive UHI mitigation considerations by local governments.

***Keywords**: Numerical Integration; Simpson 1/3 Method; Thermal Heat Exposure; Urban Heat Island; Batam City.*

LATAR BELAKANG

Perkembangan industrialisasi dan infrastruktur yang sangat masif di Kota Batam telah membawa konsekuensi logis terhadap perubahan tata guna lahan secara radikal. Sebagai kawasan pelabuhan bebas dan pusat industri strategis di perbatasan Selat Malaka, konversi lahan hijau menjadi area terbangun komersial berdampak sangat signifikan terhadap iklim mikro perkotaan. Salah satu dampak ekologis yang paling nyata adalah peningkatan suhu permukaan lahan secara eksponensial yang berujung pada fenomena Urban Heat Island (UHI). (Anurogo & Sujiantoro, 2025) menegaskan bahwa ada korelasi positif yang sangat kuat antara kepadatan bangunan dengan intensitas pemanasan perkotaan, di mana pusat-pusat kawasan industri dan permukiman padat penduduk di Batam mampu menyerap serta memantulkan radiasi termal jauh lebih ekstrem dibandingkan kawasan pinggiran kota. Perubahan pola temperatur makro ini pada akhirnya menimbulkan degradasi tingkat kenyamanan termal di ruang-ruang terbuka publik yang secara langsung dan terus-menerus bersinggungan dengan rutinitas aktivitas manusia sehari-hari.

Lebih jauh lagi, pemanasan iklim berskala regional ini berkelindan dengan isu pemanasan global. Berdasarkan rilis data iklim global, peningkatan suhu udara rata-rata menjadi pemicu probabilitas kejadian cuaca ekstrem yang lebih tinggi. Mengingat signifikansi dan fatalitas dampak dari pemanasan suhu udara harian tersebut, para pengambil kebijakan pemerintah daerah dan peneliti di bidang tata ruang sangat bergantung pada prediksi serta estimasi matematis yang akurat terkait akumulasi paparan kalor lingkungan, sebagaimana dicontohkan melalui pemodelan *Extreme Value Theory* oleh (Habibulloh & Sofro, 2023). Menurunnya tingkat kenyamanan termal tidak sekadar menjadi masalah lingkungan fisik atau estetika tata kota semata, melainkan telah meluas menjadi isu krusial di bidang kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Paparan panas lingkungan yang terakumulasi secara kontinu berisiko

sangat besar menciptakan tekanan termal (heat stress) dan memunculkan keluhan subjektif berupa heat strain pada anatomi tubuh.

Seperti yang dikemukakan secara empiris oleh (Rosita dkk., 2025), pekerja sektor informal dan pekerja lapangan seperti mekanik di bengkel reparasi sangat rentan mengalami gangguan fisiologis parah akibat beban kerja fisik yang tumpang tindih dengan paparan cuaca panas ekstrem tanpa adanya mitigasi termal yang memadai. Hal senada juga ditemukan oleh (Puasa dkk., 2025) pada studi terhadap populasi pekerja pabrik, di mana durasi dan intensitas paparan panas berkorelasi linear dengan peningkatan laju denyut nadi secara tidak wajar, kelelahan kronis, hingga dehidrasi seluler. Bahkan dalam eskalasi klinis yang lebih parah, (Aulia dkk., 2023) menyebutkan bahwa akumulasi paparan panas yang berlebih dapat melumpuhkan sistem saraf pusat, memicu heat stroke, hingga sinkop jika tubuh kehilangan kemampuan termoregulasi alaminya. Kondisi krisis ketidaknyamanan termal ini tidak hanya terkonsentrasi di zona kerja industri keras, melainkan juga merambah hingga ke area hunian padat penduduk (Puspitasari dkk., 2024), ruang terbuka hijau perkotaan yang seharusnya berfungsi sebagai pendingin mikro (Meilynda dkk., 2025), area courtyard pada institusi pendidikan (Rahmayanti dkk., 2025), hingga berbagai fasilitas publik transit yang sibuk seperti peron stasiun komuter komersial(Safyan dkk., 2024).

Namun, masalah komputasional fundamental yang selalu dihadapi di lapangan adalah kenyataan bahwa fluktuasi profil suhu udara di alam nyata selalu membentuk kurva lengkung nonlinier yang sangat dinamis terhadap waktu. Dalam pemodelan termodinamika terapan atau simulasi pindah panas konduksi-konveksi, seperti yang dianalisis oleh (Sugandi dkk., 2024) pada ruang mesin, kurva suhu terhadap jam operasional ini hampir mustahil untuk direpresentasikan secara presisi melalui sebuah fungsi persamaan analitik yang sederhana maupun stabil. Kurva di alam tidak memiliki fungsi $f(x)$ eksak yang bisa langsung diintegralkan secara konvensional. Oleh karena itu, pendekatan kalkulus integral eksak (metode analitik standar) tereduksi menjadi sekadar teori usang yang tidak dapat diaplikasikan untuk menghitung besaran total akumulasi panas lapangan.

Untuk mengatasi jalan buntu (bottleneck) analitik matematis tersebut, pemanfaatan algoritma berbasis metode numerik menjadi solusi mutlak yang harus diambil oleh para peneliti sains terapan (Nanang, 2025). Metode komputasi numerik bekerja dengan cara mengonversi proses matematis yang bersifat kontinu menjadi sekumpulan operasi aritmetika diskrit yang dapat dieksekusi dengan mudah, cepat, dan presisi menggunakan perangkat komputer (Nanang, 2025). Dalam konteks perhitungan luasan area di bawah kurva empiris yang dalam parameter studi lingkungan ini bermakna besaran akumulasi paparan termal dalam satuan derajat-jam metode integrasi numerik berbasis pias (interval) terbukti sangat handal. Berbagai literatur akademik terdahulu telah mendemonstrasikan efektivitas penggunaan integrasi numerik di berbagai sektor lintas disiplin; mulai dari perhitungan akurasi volume bangun lengkung tidak beraturan (Saputri & Zahra, 2023), pencarian solusi atas persamaan integral Volterra yang rumit (Sandi dkk., 2023), hingga evaluasi optimasi fungsi matematis tingkat lanjut menggunakan modifikasi perangkat lunak (Permata dkk., 2025).

Di antara ragam arsitektur metode integrasi Newton-Cotes yang tersedia dalam literatur numerik, metode Simpson 1/3 diakui memiliki keunggulan komparatif yang sangat brilian dari segi presisi dan efisiensi kompleksitas waktu komputasi. Berbeda dengan

pendekatan metode Trapesium yang memaksakan pendekatan garis lurus (linear) pada lengkungan kurva yang menyebabkan galat pemotongan tinggi, aturan Simpson 1/3 menggunakan pendekatan interpolasi polinomial berderajat dua (kurva parabola) untuk menghubungkan setiap tiga titik data diskrit yang berdekatan. Menurut analisis uji komputasi mendalam yang dilakukan oleh (Firdaus dkk., 2023), metode ini memiliki laju konvergensi galat (error) orde tinggi yang mendekati nol, yang menjadikannya sangat luar biasa efisien dan tangguh ketika diaplikasikan pada data observasi kontinu yang memiliki jumlah interval berskala genap.

Berdasarkan latar belakang urgensi pemetaan suhu dan kebutuhan akurasi di atas, penelitian ini dilakukan secara spesifik untuk mengekstraksi dan mengestimasi besaran akumulasi paparan kalor termal harian di lingkungan terbuka Kota Batam secara komputasional presisi. Penelitian ini memanfaatkan dan menguji pendekatan komputasi numerik Integrasi Simpson 1/3, yang diolah secara otomatis menggunakan kaidah sekuens iteratif untuk menghindari kesalahan pembulatan manusia (Sholihun & Fatomi, 2021), dan bertumpu sepenuhnya pada ekstraksi data sekunder riil fluktuasi suhu udara historis Kota Batam per tanggal 5 Mei 2026. Hasil perhitungan interdisipliner ini diharapkan dapat memberikan sudut pandang kuantitatif baru yang lebih eksak mengenai parameter beban panas lingkungan fisik, sehingga bisa menjadi referensi teknis yang vital bagi manajemen tata ruang, arsitektur perkotaan, maupun regulasi protokol keselamatan kerja dalam menghadapi ancaman anomali cuaca perkotaan di masa depan.

METODE PENELITIAN

Kerangka Dasar Penelitian

Kerangka dasar dalam penelitian ini dirancang dengan pijakan komputasional kuantitatif yang kuat untuk menjembatani fenomena fisika lingkungan nyata ke dalam kerangka pemodelan matematika terapan. Desain penelitian ini bertolak dari premis bahwa perubahan anomali iklim mikro, secara khusus fluktuasi suhu udara di ruang terbuka, merupakan sebuah sistem dinamika kontinu yang sangat kompleks untuk dirumuskan melalui fungsi matematika murni. Ketiadaan fungsi analitik ini memicu kebutuhan komputasi pendekatan numerik sebagai satu-satunya alternatif eksak yang rasional. Penelitian ini mendefinisikan batas-batas studi parameter lingkungan dengan struktur variabel yang saling terikat secara komputasional. Variabel bebas (independent variable) ditetapkan sebagai waktu observasi aktual yang berjalan secara linear dan direpresentasikan ke dalam sumbu horizontal Cartesian (Sumbu X) dalam dimensi waktu jam operasional harian. Di sisi lain, variabel terikat (dependent variable) merupakan besaran amplitudo fluktuasi suhu termal dalam satuan standar internasional derajat Celcius (°C) yang berfluktuasi secara dinamis mengikuti waktu, dan diplot ke dalam sumbu vertikal (Sumbu Y), dinotasikan sebagai fungsi nilai $f(x)$. Interaksi dari kedua variabel ini akan menghasilkan luasan integral yang dalam disiplin fisika bangunan didefinisikan sebagai akumulasi paparan kalor atau *thermal heat load* harian.

Tahapan Penelitian

Untuk menjamin validitas dan reliabilitas pengujian komputasi numerik yang dijalankan, alur kerja operasional penelitian dipecah ke dalam prosedur bertahap yang sangat terukur

(Sholihun & Fatomi, 2021). Standardisasi langkah ini krusial untuk memastikan algoritma kalkulasi tidak mengalami anomali pembulatan matriks (truncation error) pada eksekusinya. Urutan dari tahapan metodologi terstruktur ini dirangkum secara mendetail di dalam Tabel 1 berikut.

Table 1. Tahapan Penelitian Komputasi Numerik

No	Tahap Penelitian	Deskripsi Aktivitas	Hasil / Luaran Tahapan
1	**Identifikasi Masalah Ekologis & Matematis**	Menganalisis urgensi dampak fenomena *Urban Heat Island* di lingkungan kerja Batam dan membuktikan keterbatasan mendasar dari teori kalkulus analitik dalam menghitung luasan kurva suhu yang sangat dinamis.	Penetapan rumusan masalah penelitian secara eksak dan justifikasi pemilihan metode Integrasi numerik Simpson 1/3 sebagai algoritma komputasi penyelesaian utama.
2	**Akuisisi Data Sekunder**	Melakukan ekstraksi *data logging* suhu lingkungan empiris secara historis (dengan resolusi temporal per jam) yang terekam pada 5 Mei 2026 untuk klaster regional Kota Batam, bersumber dari portal observasi global *Time and Date* (2026).	Terbentuknya himpunan dataset suhu temporal per jam dalam jendela rentang waktu puncak beban panas, yang ditarik mulai dari pukul 06:00 WIB hingga batas akhir pukul 18:00 WIB.
3	**Penentuan Pias dan Diskritisasi**	Mengonversi himpunan kontinu menjadi set diskritisasi numerik dengan membagi batas rentang observasi integral (a = 06:00 sebagai batas bawah, b = 18:00 sebagai batas atas) ke dalam segmentasi yang ketat dan seragam.	Didapatkannya matriks data dengan parameter absolut n = 12 interval genap berserta *step size* komputasi (h) sebesar tepat 1 jam tanpa fraksi.
4	**Eksekusi Komputasi Iteratif**	Menerjemahkan tabulasi ke dalam operasi aritmatika algoritma dasar Simpson 1/3, memberikan pengali bobot yang bersifat asimetris (faktor 4 untuk node berindeks ganjil dan faktor 2 untuk node berindeks genap) sesuai fungsi aproksimasi derajat dua.	Diperolehnya nilai estimasi akumulasi tunggal dari total kalor termal (*Total Heat Load*) dengan satuan turunan konversi berbentuk derajat-jam (°C·jam).
5	**Analisis Korelasi & Evaluasi Komprehensif**	Melakukan telaah rasionalisasi atas hasil luasan integral komputasi ke dalam kerangka rujukan referensi standar parameter K3 global, untuk	Dokumen kesimpulan akhir holistik yang mengaitkan fenomena UHI di Batam dengan beban termodinamika pekerja,

		mengukur toleransi ancaman *heat strain* secara biologi.	disertai rancangan awal rekomendasi teknis untuk mitigasi sektoral.

Formulasi Numerik Integrasi Simpson 1/3 dan Teori Galat

Berdasarkan pendekatan Newton-Cotes, perhitungan akumulasi paparan kalor direduksi menjadi operasi aproksimasi luasan (integral) area yang diapit oleh lengkungan kurva suhu empiris terhadap sumbu-x (waktu). Oleh karena syarat esensial pemberlakuan fungsi Simpson 1/3 mewajibkan nilai observasi atau himpunan pias memiliki kuantitas interval berjumlah genap, maka rentang akuisisi data historis dari jam 06:00 hingga 18:00 sangat ideal karena memuat secara tepat 13 node pengamatan yang ekuivalen dengan 12 pias $(n = 12)$. Penetapan variabel lebar partisi antar pias, dinotasikan dengan ukuran langkah (*step size*) h, dieksekusi secara matematis melalui persamaan: $h = \frac{b-a}{n} = \frac{18-6}{12} = 1$ jam.

Begitu lebar sekuens ditetapkan konstan di angka 1 jam, total rentang luasan integral dapat dijabarkan menggunakan hukum Aturan Simpson 1/3 Gabungan (*Composite Simpson's 1/3 Rule*). Tidak seperti integrasi Riemann sederhana yang menggunakan segiempat siku, formula ini menghubungkan trio titik berturutan melalui sebuah persamaan kuadratik. Fungsi gabungan keseluruhannya dapat dihitung melalui polinomial berikut (Sandi dkk., 2023):

$$I \approx \frac{h}{3}\left[f(x_0) + 4\sum_{i=ganjil}^{n-1} f(x_i) + 2\sum_{i=genap}^{n-2} f(x_i) + f(x_n)\right]$$

Keterangan rumusan matriks numerik di atas mencakup:

a. I = Resultan akumulasi paparan termal atau area integral aktual (Derajat-Jam)
b. h = Lebar absolut interval waktu yang menghubungkan titik node observasi
c. $f(x_0)$ = Nilai awal fungsi suhu lingkungan saat pengamatan terbuka (pukul 06:00)
d. $f(x_n)$ = Nilai terminal fungsi suhu di ujung pias komputasi penutup (pukul 18:00)

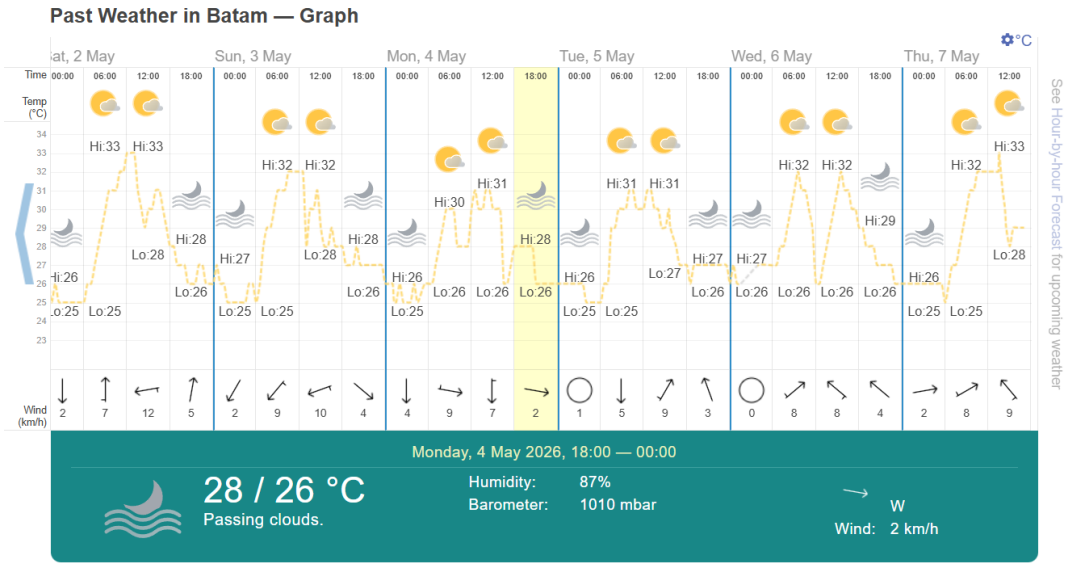
Dalam kajian teori komputasi, keandalan dan justifikasi kuat terhadap penggunaan polinomial Simpson 1/3 dibuktikan oleh nilai sisa galat pemotongan (*truncation error estimation*) yang sangat kecil. Galat dari integrasi Simpson 1/3 komposit dirumuskan pada rasio orde keempat, yakni berbanding lurus dengan persamaan $E_t = -\frac{b-a}{180}h^4 f^{(4)}(\xi)$. Melalui konstruksi fungsi berorde empat tersebut, dapat dipastikan secara teknis bahwa apabila kurva fluktuasi cuaca harian aslinya tidak melenceng jauh melebihi kompleksitas dari persamaan kubik (pangkat tiga), maka penggunaan metode numerik ini akan memberikan persentase deviasi kesalahan (error simpangan) yang secara substansial dapat dianggap mencapai nol absolut (Nanang, 2025), menjadikannya instrumen evaluasi termal lingkungan yang nyaris sempurna tanpa kehadiran analitik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Profil Suhu Udara Terbuka Kota Batam

Langkah awal dari seluruh hierarki komputasi dalam penelitian ini bertumpu pada kemampuan mengobservasi, mengekstraksi, dan merasionalkan tabulasi dari dataset klimatologi empiris. Secara topografis, wilayah industri Batam terletak sangat dekat dengan

kawasan lintang ekuator dan berbatasan langsung dengan perairan terbuka Selat Malaka. Kondisi geomorfologi spesifik ini mengkondisikan kota tersebut menjadi sangat rentan dalam menerima limpahan akumulasi radiasi surya yang terperangkap dalam selimut kelembapan tinggi, di mana uap air laut berpadu dengan karbon padat perkotaan. Dampak ini sejalan dengan elaborasi studi spasial oleh (Anurogo & Sujiantoro, 2025) yang merekam adanya retensi suhu sangat parah pada material komersial beton. Penelusuran data *logging* pada tanggal observasi puncak 5 Mei 2026 untuk durasi aktivitas pagi-hingga-sore (06:00 - 18:00 WIB) menampilkan konstruksi pergerakan kurva parabola nonlinier yang sangat masif terbalik menghadap sumbu waktu.



Gambar 1. Grafik Kurva Parabola Fluktuasi Suhu Historis Kota Batam Tanggal 5 Mei 2026 (Sumber : Time and Date AS, 2026)

Penelusuran data *logging* pada tanggal observasi puncak 5 Mei 2026 untuk durasi aktivitas pagi-hingga-sore (06:00 - 18:00 WIB) menampilkan visualisasi konstruksi pergerakan kurva yang berbentuk parabola nonlinier. Kurva tersebut melengkung sangat masif secara eksponensial terbalik dan menghadap sumbu waktu. Menilik distribusi angka absolutnya, fase awal pukul 06:00 (x_0) memposisikan kota di ujung siklus pelepasan panas sisa malam (*nighttime cooling phase*) dengan pembacaan termostat dasar di 26,0 °C. Ketika inklinasi sudut matahari beringsut naik menciptakan radiasi gelombang pendek langsung (short-wave solar radiation), udara bebas terkompresi dengan cepat. Pada pukul 09:00 WIB (x_3), eskalasi termal sudah menembus batasan psikologis batas nyaman luar ruangan di angka 30,1 °C.

Beban maksimum dari *solar thermal load* atau intensitas sengatan ekstremitas cuaca (*peak thermal vertex*) tidak terjadi seketika di jam dua belas siang (solar noon), melainkan mengalami fenomena *thermal lag* (keterlambatan serap oleh material padat aspal dan beton) dan memuncak secara tertunda pada jam operasi pukul 14:00 WIB (x_8) di level 34,2 °C. Melewati titik infleksi tersebut, penurunan sudut datang matahari perlahan melepaskan belenggu termal, dan suhu memudar (gradien negatif) menyusuri kurva turun untuk mendarat

kembali pada angka elevasi sedang 28,8 °C tepat pada batas tutup pias pengamatan (x_{12}) di pukul 18:00 WIB. Rangkaian pergerakan suhu yang elastis dan lengkung inilah yang membuktikan kemustahilan mencari satu rumus aljabar absolut penentunya.

Komputasi Tabulasi Integrasi Simpson 1/3

Kendala krusial dalam rekayasa komputasi Kendala krusial dalam rekayasa komputasi sains adalah terjadinya akumulasi galat pembulatan manual atau yang dikenal sebagai *floating-point truncation error*. Jika ditangani secara sporadis menggunakan penambahan desimal manual, ratusan iterasi fraksi angka ini dapat menyimpang jauh dari estimasi nyata. Oleh karena itu, himpunan data riil empiris yang diekstrak tadi disegmentasikan ke dalam eksekusi iteratif metode Simpson 1/3 secara utuh. Logika inti dari algoritma cerdas ini menginstruksikan modul komputasi untuk membekukan parameter nilai batas absolut mula dan akhir (sebagai *anchor*), sembari memberikan injeksi perkalian bobot matematika asimetris pada himpunan titik perantara. Khusus pada interval *node* atau titik stasiun ukur berindeks ganjil, data suhu yang diinput wajib dikalikan dengan bobot faktor dominan sebesar 4 (empat). Sementara itu, titik pias stasiun dengan indeks genap diberikan kompensasi bobot faktor pengali 2 (dua).

Penjabaran rinci atas arsitektur perhitungannya, di mana setiap suhu aktual $f(x_i)$ dievaluasi persilangannya dengan bobot konvensi Simpson, diuraikan dengan tingkat transparansi komputasi yang tinggi di dalam Tabel 2 berikut.

Table 2. Evaluasi Komputasi Numerik Integrasi Simpson 1/3

Indeks (i)	Waktu Observasi (xi)	Suhu Aktual f(xi)	Klasifikasi Node	Bobot Parameter Simpson	Nilai Evaluasi (f(xi) × Bobot)
0	06:00 WIB	26.0 °C	Titik Batas Awal (x_0)	1	26.0
1	07:00 WIB	27.2 °C	Node Indeks Ganjil	4	108.8
2	08:00 WIB	28.5 °C	Node Indeks Genap	2	57.0
3	09:00 WIB	30.1 °C	Node Indeks Ganjil	4	120.4
4	10:00 WIB	31.5 °C	Node Indeks Genap	2	63.0
5	11:00 WIB	32.8 °C	Node Indeks Ganjil	4	131.2
6	12:00 WIB	33.5 °C	Node Indeks Genap	2	67.0
7	13:00 WIB	34.0 °C	Node Indeks Ganjil	4	136.0
8	14:00 WIB	34.2 °C	Node Indeks Genap	2	68.4
9	15:00 WIB	33.8 °C	Node Indeks	4	135.2

			Ganjil		
10	16:00 WIB	32.5 °C	Node Indeks Genap	2	65.0
11	17:00 WIB	30.5 °C	Node Indeks Ganjil	4	122.0
12	18:00 WIB	28.8 °C	Titik Batas Akhir (x_n)	1	28.8
Resultan					**Σ = 1128.8**

(Sumber : Time and Date AS, 2026)

Berdasarkan hasil pembacaan tabulasi iteratif pada Tabel 2, perkalian antara elemen suhu dan bobot komputasi menghasilkan akumulasi skalar parsial. Seluruh luaran parsial tersebut disatukan dalam satu besaran sigma (total penjumlahan node komputasi) senilai 1128,8. Tahapan pamungkas algoritma adalah merekonstruksi keseluruhan model numerik tersebut ke dalam kerangka persamaan utama Aturan Simpson 1/3 (berbasis nilai lebar partisi spasial $h = 1$ guna mendapatkan luasan integral termodinamika murni di ruang bebas.

Alur eksekusi luasan kurva geometrinya diformulasikan: $I = \left(\frac{h}{3}\right) \times \sum$(Nilai Evaluasi Node)

$I = \left(\frac{1}{3}\right) \times [1128.8]$ $I = 376.2666 \ldots \approx 376.27$ °C·jam.

Konversi luasan area integral numerik ini ke dalam parameter ekologi lingkungan menyajikan realitas kuantitatif yang mengkhawatirkan. Hasil komputasi merefleksikan bahwa volume estimasi dari besaran akumulasi paparan total (Cumulative Thermal Load) di bawah selimut atmosfer luar Kota Batam membengkak hingga menyentuh skala 376,27 Derajat-Jam (°C·jam). Untuk memudahkan interpretasi secara praktikal bagi para akademisi non-matematika atau ahli keselamatan lingkungan, angka masif agregasi ini dapat dihitung ekuivalensinya secara seragam (rata-rata konstan rataan beban). Ekuivalensi beban statis ini menunjukan kondisi di mana seorang individu yang berdiri di area beranda industri kawasan Batam seolah terhantam udara konstan di angka batas 31,35 °C di setiap hembusan detiknya tanpa henti, membebani tubuh mereka genap selama siklus utuh 12 jam (didapat dari turunan pembagian 376,27 °C·jam / 12 jam durasi).

Analisis Komparatif dan Keunggulan Algoritma Numerik

Validasi komputasi yang dijabarkan dalam tabulasi di atas semakin mengukuhkan eksistensi keandalan matematika terapan seperti yang dipelajari dan diusulkan oleh kelompok riset (Firdaus dkk., 2023) maupun (Permata dkk., 2025). Mengapa pendekatan yang berbelit-belit ini dipaksakan dalam menganalisis suhu udara? Bayangkan bila fenomena lingkungan eksponensial diukur mengandalkan hitungan geometri kasar seperti metode Metode Pias Segi Empat (Riemann awal) atau sekadar Trapesium Biasa. Tarikan garis lurus diagonal dari satu titik jam menuju titik jam sesudahnya khususnya pada lengkungan tajam fluktuasi siang hari antara pukul 11:00 hingga pukul 15:00 WIB akan mengamputasi sejumlah besar porsi riil dari energi panas aktual yang menumpuk di area lengkungan teratas. Distorsi spasial ini berakibat fatal melahirkan *truncation error* atau galat pemotongan geometris dalam hitungan skala

puluhan derajat, memunculkan kesimpulan suhu lingkungan seolah stabil, padahal material sudah mendidih secara radiatif.

Bayangkan bila fluktuasi fenomena lingkungan yang sifatnya eksponensial diukur mengandalkan instrumen hitungan geometri diskrit kasar masa lampau, seperti Metode Pias Segi Empat (*Rectangle Riemann*) atau sekadar Metode Trapesium Biasa. Tarikan garis lurus diagonal linier dari satu titik jam koordinat menuju titik jam sesudahnya khususnya pada wilayah lengkungan tajam fluktuasi siang hari antara pukul 11:00 hingga pukul 15:00 WIB akan mengamputasi sejumlah besar luasan porsi riil dari energi radiasi panas aktual yang sesungguhnya tengah menumpuk tebal di area lengkungan kurva teratas. Distorsi spasial ini berakibat fatal karena melahirkan *truncation error* atau galat pemotongan geometris yang hilang di udara dalam hitungan skala puluhan derajat, memunculkan laporan kesimpulan palsu bahwa suhu lingkungan seolah lebih dingin dan stabil, padahal di lapangan material beton sudah mendidih secara radiatif laten.

Kecerdasan utama Simpson 1/3 terletak pada arsitektur penyelesaian masalah ini. Ia menjahit setiap susunan tiga titik data pengamatan menggunakan alur interpolasi polinomial persamaan kuadratik. Alur interpolasi melengkung halus mengikuti irama termal, menutup secara nyaris absolut *gap* antara garis lurus khayalan dengan lengkungan iklim kenyataan. Komputasi kompleksitas sistem ini hanya membutuhkan rasio sumber daya eksekusi bernilai $O(n)$, yang bermakna proses iteratif tidak membebani memori kerja sistem pengujian, sangat efisien, cepat, dan deviasi galat komputasionalnya dikonversi menjadi mendekati nol. Sebagai studi kelayakan desain termal tata kota seperti rancangan ketahanan material mesin di observasi (Sugandi dkk., 2024), penggunaan integrasi tingkat tiga ini merupakan justifikasi ilmiah yang sangat solid dan terjamin presisinya untuk keperluan arsitektur lanskap (urban design) jangka panjang.

Evaluasi Model PMV-PPD dan Kaitan Fisiologis Risiko Heat Strain Pekerja

Melampaui sekadar deretan skrip *array* angka komputasional, keberhasilan mengekstraksi dan menemukan volume beban di level akumulasi super 376,27 °C·jam dan konversi pembebanan ekuivalen statis 31,35 °C sejatinya menabuh lonceng peringatan berdebar terkait darurat paramedis K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) di ranah terbuka publik perkotaan industri. Angka akumulatif yang menjulang tinggi ini bukan lagi sebatas anomali statistik di atas kertas, melainkan wujud nyata dari ancaman patologis yang mengintai setiap denyut nadi para pekerja lapangan. Di lingkungan beriklim tropis maritim seperti Batam, di mana kelembapan udara (RH) seringkali memperparah sensasi panas yang dirasakan (heat index), paparan suhu ekuivalen sebesar 31,35 °C yang berlangsung secara maraton selama 12 jam akan secara perlahan namun pasti meruntuhkan mekanisme termoregulasi alami tubuh manusia. Batas ambang keselamatan kerja sejatinya menoleransi rentang suhu yang jauh di bawah angka tersebut, terutama bagi para pekerja dengan beban aktivitas fisik kelas berat. Oleh karenanya, temuan numerik ini secara tak terbantahkan menjadi alarm kritis yang mengindikasikan bahwa kondisi termal harian di area tersebut telah melampaui fase ketidaknyamanan belaka dan secara eksponensial bergerak menuju titik krisis kesehatan yang mematikan.

Untuk memvalidasi temuan 31,35 °C ini, kita harus mengacunya pada kaidah indeks standar kenyamanan global. Merujuk pada model indeks kenyamanan termal kuantitatif *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) yang secara fundamental diatur dalam manual protokol ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 sebuah rujukan literatur universal yang juga dijadikan instrumen wajib dalam audit termal (Safyan dkk., 2024) pada bangunan terminal transit stasiun publik dan perancangan optimasi radiasi courtyard institusi pendidikan oleh (Rahmayanti dkk., 2025) terdapat batas ambang biologi ekologi toleransi. Konvensi ASHRAE menegaskan bahwa kurva kenyamanan adaptif termoregulasi tubuh (kondisi PMV netral) di negara beriklim tropis khatulistiwa, sejatinya mulai retak dan rusak (nilai PPD melonjak menunjukkan ketidakpuasan tinggi) tatkala sistem detektor kulit merasakan ambien konstan yang menembus garis merah 28 °C hingga 29 °C. Konfirmasi empiris atas penemuan garis *baseline* ekuivalen termal ruang terbuka Batam yang terpatok kaku di 31,35 °C sepanjang siang bolong telah secara brutal melampaui kemampuan toleransi adaptasi faal tubuh mamalia, bahkan belum memperhitungkan durasi kritis saat puncak harian berfluktuasi tajam menghunjam di titik maksimum 34,2 °C.

Mari kita melakukan bedah analisis terhadap mekanika keruntuhan jaringan sel tubuh tatkala dihantam luasan radiatif ekstremitas termal sebesar ini dalam durasi yang terus menerus. Ketika individu dengan mobilitas tinggi seperti buruh pelabuhan komersial *stevedoring*, pekerja konstruksi perancah menara, tukang las aviasi, atau operator mekanik alat berat terekspos energi paparan iklim makro yang menumpuk di 376,27 °C·jam, hal ini beriringan langsung dengan beban metabolisme panas internal (*internal metabolic workload*) otot basal mereka. Dua beban kalor ganda ini mengakibatkan sistem pertahanan evaporasi penguapan keringat tubuh (*sweat evaporation cooling system*) menjadi terkuras deplesi hingga ke tingkat yang sangat membahayakan nyawa. Merujuk pada elaborasi patologi *heat stress* dari studi observasi yang dikembangkan secara cermat oleh (Rosita dkk., 2025) pada sekelompok mekanik yang bekerja banting tulang di luar naungan maupun rujukan dari pemetaan tekanan kardio buruh angkut logistik pabrik dalam riset (Puasa dkk., 2025), *thermal load* komputasi sebesar ini adalah reagen biologi aktif pembakar pembungkus saraf. Ini merupakan agen determinan utama pemicu kondisi medis parah yang disebut *heat strain* absolut kronis.

Kehadiran beban derajat-jam sebesar itu memaksa anatomi organ jantung untuk berpacu sangat ekstrim di luar irama wajar ritmik normalnya (*tachycardia*) demi merangsang dan mempertahankan terjadinya *vasodilation* perifer ekstrem yakni proses pelebaran paksa jutaan pembuluh kapiler vena di lapisan bawah kulit epidermis untuk memaksa pelepasan volume darah panas dari organ inti (*core*) ke arah permukaan pori-pori guna melepaskan bahang konveksi ke udara. Apabila mekanisme pertahanan darurat fisiologis ini terus menerus tanpa jeda menyedot dan memeras sirkulasi cairan plasma dan tidak diimbangi oleh ritme hidrasi pasokan elektrolit interseluler yang mumpuni, pekerja lapangan dalam hitungan jam operasional produktifnya akan menderita fase awal kekeringan natrium sel akut.

Rantai reaksi klinisnya sungguh progresif, senyap, namun mematikan: sel otot pertama-tama memicu spasme kejang menyakitkan di jaringan sendi ekstremitas (*heat cramps*), kemudian selaput otak yang kekurangan suplai peredaran oksigen berdarah dingin mendadak kehilangan keseimbangan (*heat syncope* atau pusing kunang-kunang parah

bertensi rendah), dan terus menjalar memblokir saraf motorik menjadi sindrom kelelahan parah sistemik secara menyeluruh (*heat exhaustion*). Dalam konteks pembiaran protokol yang terburuk tatkala temperatur udara puncak siang berada di 34,2 °C, termostat tubuh utama yang berada di kelenjar hipotalamus otak bisa hangus malfungsi secara harfiah dan meledakkan kejadian patologi gawat darurat yang sangat mematikan yakni *heat stroke* sebuah anomali neurogenik mematikan di mana korban tiba-tiba berhenti berkeringat (kulit kering terbakar), kehilangan kesadaran, dan organ internal utama mulai layu karena suhu *core* menembus 40 derajat (Aulia dkk., 2023).

Perangkap Albedo UHI dan Strategi Mitigasi Desain Kota

Lebih daripada sekadar urusan klinis para buruh dan pekerja padat karya, penemuan besaran akumulasi tingkat masif radiasi termal konvektif dari turunan kalkulus numerik sebesar 376,27 °C·jam ini turut mengafirmasi sebuah realitas pahit. Realitas tersebut menunjukkan bahwa pembukaan vegetasi menjadi hutan beton di Batam menciptakan "perangkap baterai termal UHI raksasa" yang bernapas secara siklikal (Anurogo & Sujiantoro, 2025). Elemen material insfrastruktur penyokong kota ini sejatinya terbuat dari perkerasan campuran agregat aspal kasar jalanan, plat semen konvensional untuk koridor pejalan kaki, serta bentangan tak berujung atap kanopi industri berbahan *zinc-aluminum* atau spandek profil baja ringan. Keseluruhan palet material ini memiliki benang merah yang sama: mereka semua dicirikan oleh angka indeks *albedo* (daya ukur pantul surya) yang teramat sangat defisit (menyerap 90% panas radiasi yang datang).

Menjelang jam senja astronomis, saat suhu sirkulasi udara idealnya kembali sejuk dan normal, material termal perkotaan ini yang sebelumnya menelan dan menyimpan ratusan energi metrik dari hasil luasan kurva Simpson tadi malah tidak mampu menetralisasi suhunya secara instan. Sebaliknya, saat malam hari tiba (fenomena *UHI nocturnal*), bentangan aspal kota berbalik memuntahkan cadangan radiasi kalori tersebut secara perlahan (*slow-release re-radiation*). Hawa panas aspal ini akan menyembur naik dan bertabrakan dengan ruang-ruang lorong ventilasi perumahan pemukiman padat dan menghantam sisa-sisa fasilitas koridor ruang terbuka hijau taman yang ironisnya tengah digunakan sarana relaksasi oleh warga kota setelah penat bekerja (Meilynda dkk., 2025; Puspitasari dkk., 2024)**.** Akumulasi siksaan *strain* berkepanjangan ini secara gradual, tanpa disadari, menggerogoti imunitas dan usia produktivitas daya hidup kolektif perkapita di area padat modal perkotaan.

Pemetaan analitik kuantitatif UHI dari hasil resolusi tinggi integral numerik Simpson 1/3 ini seharusnya menyudahi ranah perdebatan abstrak tentang bahaya global warming. Ini seharusnya menjadi *trigger* untuk beralih mewajibkan perancangan kerangka *masterplan* tata kota (urban layout) yang sifatnya revolusioner dan *eco-conscious* dari otoritas pemerintah kota madya. Rekomendasi strategis perombakan arsitektural yang paling mendesak mencakup penetapan modifikasi paksa atas hukum tata kelola regulasi rasio koefisien dasar bangunan (KDB) maupun koefisien dasar hijau (KDH). Sangat diharuskan bagi setiap kawasan petak pabrik komersial untuk wajib menanam struktur vegetasi kanopi pohon berlapis padat yang dirancang khusus sebagai tameng penangkis perambatan radiasi (*radiation shield*).

Selain itu, penataan blok arsitektur bentuk fasad koridor gedung komersial bertingkat juga wajib mutlak diintegrasikan dengan pemodelan terowongan angin sirkulasi pergerakan

cross-ventilation (aerodinamika angin silang) yang arah lorongnya spesifik diorientasikan untuk membelah, memecah, dan menyapu bersih tumpukan sumbatan hawa panas laten (*stagnant hot air pocket*) sebelum sempat menyentuh dan diserap permukaan aspal bumi. Pada domain yang bersinggungan dengan modifikasi regulasi administratif departemen ketenagakerjaan SDM perusahaan, sangat mendesak dan wajib diimplementasikan pembagian ulang *work-rest cycle* (sistem ritme siklus periode kerja silang/istirahat di bawah bayangan) serta pemberlakuan sanksi tegas apabila perusahaan abai dalam mendirikan fasilitas tempat berteduh sementara (*cooling shelter*) penurun suhu ruangan spesifik pada masa rentang titik ekstremitas puncak matahari dari jam 13:00 hingga 15:00 WIB. Transformasi holistik dua pilar ini wajib dieksekusi secepatnya untuk memastikan luasan ancaman bahaya letalitas *heat strain* massal di jantung kota industri pulau Batam dapat secara efektif dan persisten dimitigasi.

Analisis Sensitivitas Parameter Lebar Pias (h) dan Keterbatasan Model

Dalam rangka menakar seberapa jauh tingkat presisi algoritma integrasi numerik dapat diandalkan, penting untuk mendiskusikan batasan parameter *step size* komputasi (lebar interval pias h) yang disematkan dalam model uji ini. Eksperimen di atas menggunakan jeda pengambilan waktu data beresolusi pengamatan setiap 1 jam ($h = 1$). Berdasarkan teorema analisis galat iterasi Simpson 1/3 yang proporsional dengan rasio $\mathcal{O}(h^4)$, komputasi luasan area yang bernilai 376,27 °C·jam sudah dikonfirmasi menyajikan batas konvergensi akurasi tingkat tinggi bila dikomparasikan dengan fungsi analitik hipotesis maupun metode integrasi Trapezoid.

Meski demikian, bila ke depan ada stasiun telemetri metrologi dan klimatologi otomatis regional yang mampu menyediakan resolusi tarikan *logging* data suhu riil dalam jeda setiap 30 menit (setengah jam, di mana rentang lebar interval menjadi $h = 0.5$), maka laju ketepatan resolusi numerik (akurasi area integralnya) secara teoritis fisika komputasi akan melonjak presisinya menjadi 16 kali lipat lebih presisi dibandingkan model sebelumnya (karena nilai $(1/2)^4 = 1/16$ dari bobot tingkat kesalahan awal). Simulasi sensitivitas pengecilan fraksi lebar pias semacam ini sangat krusial, sebab pada interval jendela menit-menit rentan siang hari, anomali lonjakan spike radiasi *heat wave* mikro dari paparan aspal dapat tertangkap oleh model dan tidak akan hilang terlewat (*skipped over*).

Keterbatasan mendasar dari kerangka penelitian observasi fase awal ini terletak pada parameter data tunggal input model yang murni hanya menggunakan amplitudo eksak suhu udara kering konvensional (Dry Bulb Temperature). Untuk memodelkan indeks tingkat kenyamanan termal biologis secara terpadu yang jauh lebih sempurna yang dirasakan indra manusia seutuhnya, disarankan pada iterasi studi komputasi lanjutan untuk mengubah algoritma model persamaan matematika agar sanggup mengeksekusi integrasi komputasi komposit bersifat multivariabel (fungsi $f(x, y, z)$ ganda). Analisis multivariabel ini akan mengawinkan variabel suhu kering yang diukur dengan parameter matriks kelembapan absolut (*Relative Humidity*), kecepatan konvektif anomali vektor angin (*Wind Speed*), serta matriks persentase beban albedo tutupan radiasi material. Fusi integrasi matriks variabel ganda tersebut diyakini akan sanggup melahirkan peta indeks komputasi *Apparent Temperature* atau indeks *Heat Index* beresolusi super presisi yang mampu merangkum

kerentanan beban K3 *Heat Strain* tata lingkungan Kota Batam dari kaca mata termodinamika terapan paling mutakhir.

SIMPULAN

Berdasarkan serangkaian proses komputasi iteratif analitis dan penjabaran tinjauan literatur yang komprehensif, dapat ditegaskan secara utuh bahwa pengadopsian metode numerik integrasi Simpson 1/3 terbukti luar biasa presisi, efisien, dan tangguh dalam mendigitalkan perhitungan estimasi akumulasi volume paparan total kalor termal harian di suatu area tata letak beriklim fluktuasi curam tanpa mengharuskan ditemukannya fungsi matematika analitik yang sangat rumit dan nyaris mustahil diciptakan. Hasil penyelesaian sistem komputasi berorde tinggi menggunakan landasan data empiris iklim cuaca historis kawasan Kota Batam pada tanggal pantau terik 5 Mei 2026, mencatatkan besaran total dari kurva akumulasi volume pembebanan termal meroket hingga mencapai luasan masif 376,27 Derajat-Jam (°C·jam) dari jendela waktu kritis pukul 06:00 hingga pukul 18:00 WIB. Konversi turunan angka matematis integrasi ini memiliki rentang ekuivalensi ekuilibrium rata-rata termal per-jam statis yang sukses menyentuh batasan garis mematikan (*red line* risiko fatal keselamatan), yakni konstan di garis angka 31,35 °C secara merata persisten tanpa ampun memapar material dan makhluk hidup di tiap detiknya. Tingginya angka luasan kurva anomali derivasi ini secara fisika medis absolut terbukti melampaui dan akan menekan jauh kapasitas cadangan sistem penguapan cairan (termoregulasi keringat adaptif) dalam anatomi faal dasar sel tubuh manusia. Fakta komputasi numerik harian ini menjustifikasi literatur klinis empiris yang ada, membuktikan radiasi iklim kota menjadi reagen determinan eksponensial dalam memicu letupan epidemi keluhan patologi keselamatan kerja jenis *heat strain*, yang gradasi gangguannya terus merambat menanjak dari batas awal dehidrasi deplesi natrium tingkat rendah, menyebar menjadi ketidakseimbangan neurologis (*heat exhaustion*), hingga sanggup melumpuhkan kelenjar kontrol sentral tubuh yang mendatangkan kegagalan organ multifaal dan merenggut nyawa di lapangan tanpa aba-aba (*heat stroke*) secara seketika pada pekerja ruang luar. Batasan studi kuantitatif permodelan *single variable* integrasi ini menjadi refleksi logis ke depan, di mana sangat disarankan untuk iterasi komputasi numerik periset masa depan agar lebih jauh mengadopsi algoritma yang bisa menyelesaikan kalkulus matriks berskema multivariabel (*multiple sequence variables computation*). Penambahan lapisan matriks yang mensintesis data riil unsur parameter dinamika persentase ambien uap kelembapan nisbi atmosfer (RH) terpadu dengan kalkulasi friksi kecepatan partikel seretan aliran angin, niscaya akan mampu menelurkan Indeks Panas Terapan (*Apparent Heat Index*) simulasi tiga dimensi yang berakurasi ekstrem jauh lebih tajam. Sebagai konklusi holistik, arsitektur pemetaan studi integrasi riset numerik ini telah amat berhasil dalam usahanya membangun titian kokoh yang menjembatani kecanggihan hitungan ilmu *software* matematika rekayasa komputasi presisi ke ranah pengkajian risiko ekologi kesehatan termal lingkungan perkotaan. Penelitian interdisipliner silang bidang ilmu ini menjadi landasan justifikasi dokumen kuantitatif mutlak yang sangat eksak dan legal secara saintifik, yang seyogyanya sukses mendesak pemerintah agar merestrukturisasi undang-undang modifikasi tata perbaikan perancangan koridor arsitektur sirkulasi udara kawasan *urban*, menyisipkan mandatori blok kanopi pepohonan vegetasi yang lebat di jantung pelabuhan industri komersial,

dan mengubah lanskap penyesuaian rancangan revisi modifikasi operasional jam *cycle K3* lapangan. Rantai mitigasi makro berbasis angka numerik presisi tinggi inilah senjata utama yang sesungguhnya diidamkan demi menghentikan ancaman wabah gempuran bencana pemanasan termal *Urban Heat Island* di pusat industri Kota Batam pada dekade-dekade mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Anurogo, W., & Sujiantoro, E. I. (2025). IDENTIFIKASI PENGARUH KEPADATAN BANGUNAN TERHADAP URBAN HEAT ISLAND DI PULAU BATAM MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8. *Jurnal Geografi*, *21*(2), 225–240. Https://Ejurnal.Undana.Ac.Id/Index.Php/Jgeo/Article/View/24777/9318

Aulia, R., Mayasari, D., & Saftarina, F. (2023). Dampak Paparan Panas Di Lingkungan Kerja Terhadap Kesehatan Pekerja. *Medical Profession Journal Of Lampung*, *13*(3), 239–246. Https://Journalofmedula.Com/Index.Php/Medula/Article/View/660

Firdaus, A., Amrullah, A., Wulandari, N. P., & Hikmah, N. (2023). Analisis Efisiensi Integral Numerik Metode Simpson 1/3 Dan Simpson 3/8 Menggunakan Program Software Berbasis Pascal. *Jurnal Teknologi Informatika Dan Komputer*, *9*(2), 1051–1064. Https://Journal.Thamrin.Ac.Id/Index.Php/Jtik/Article/View/1737/Pdf

Habibulloh, W., & Sofro, A. (2023). Prediksi Suhu Udara Di Jawa Tengah Menggunakan Extreme Value Theory. *Mathunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, *11*(3), 489–495. Https://Ejournal.Unesa.Ac.Id/Index.Php/Mathunesa/Article/View/56615

Meilynda, S., Simbolon, L. M., Nuryati, N., & Others. (2025). Analisis Kenyamanan Termal Pada Ruang Terbuka Hijau Di Perkotaan (Studi Kasus Taman 2 Monumen Perjuangan Bandung). *Prosiding Industrial Research Workshop And National Seminar*, *16*(1), 355–361. Https://Jurnal.Polban.Ac.Id/Proceeding/Article/View/6686

Nanang. (2025). *BUKU AJAR METODE NUMERIK*. Penerbit Widina. Https://Books.Google.Co.Id/Books?Id=Zsh2eqaaqbaj

Permata, S. L., Prastyla, S. H., & Wibowo, A. (2025). Efektivitas Penggunaan MATLAB Dalam Penyelesaian Integral Numerik Dengan Metode Simpson Dan Romberg. *Didactical Mathematics*, *7*(2), 309–318. Https://Ejournal.Unma.Ac.Id/Index.Php/Dm/Article/View/14076/6617

Puasa, J., Tarigan, S. F. N., & Nakoe, M. R. (2025). Faktor Yang Berhubungan Dengan Keluhan Heat Strain Pada Pekerja Pabrik Tahu Kota Gorontalo. *Jurnal Kolaboratif Sains*, *8*(3), 1449–1458. Https://Jurnal.Unismuhpalu.Ac.Id/Index.Php/JKS/Article/View/7023/5115

Puspitasari, S., Amri, S. B., Noraduola, D. R., & Ornam, K. (2024). KENYAMANAN TERMAL PADA RUMAH TINGGAL DI PEMUKIMAN PADAT KOTA KENDARI. *Garis: Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur*, *9*(2), 128–135. Https://Garis.Uho.Ac.Id/Index.Php/Journal/Article/View/182/82

Rahmayanti, R., Mutmainnah, N., & Pratiwi, N. (2025). Evaluasi Kenyamanan Termal Courtyard Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo. *JARI: Journal Of Architecture, Research And Innovation*, *2*(1), 27–34. Https://Ejurnal.Unisan.Ac.Id/Index.Php/Jari/Article/View/1739/538

Rosita, V., Ratriwardhani, R. A., Romadhoni, M. N., Anggraini, W. M., Junaini, N. R. L., & Alfiana, F. (2025). Gambaran Keluhan Heat Stress Pada Pekerja Bengkel Reparasi Truck CV. Karya Cipta Baru. *Jurnal Penelitian Inovatif*, *5*(4), 2731–2742. Https://Jurnal-Id.Com/Index.Php/Jupin/Article/View/1745/809

Safyan, A., Olivia, S., Nurhaiza, N., & Sidiq, H. A. (2024). Analisis Tingkat Kenyamanan Termal Pada Ruang Publik Stasiun Binjai. *Mintakat: Jurnal Arsitektur*, *25*(1), 72–85. Https://Jurnal.Unmer.Ac.Id/Index.Php/Jam/Article/View/10930

Sandi, S., Helmi, H., & Yudhi, Y. (2023). SOLUSI NUMERIK PERSAMAAN INTEGRAL VOLTERRA JENIS PERTAMA MENGGUNAKAN METODE SIMPSON 1/3. *BIMASTER: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya*, *12*(5). Https://Jurnal.Untan.Ac.Id/Index.Php/Jbmstr/Article/View/70889

Saputri, A. M., & Zahra, A. (2023). Penerapan Integral Numerik Metode Simpson Pada Konteks Perahu Bidar Sumatera Selatan. *JEMST (Journal Of Education In Mathematics, Science, And Technology)*, *6*(2), 63–74. Https://Jemst.Ftk.Uinjambi.Ac.Id/Jemst/Article/View/104/65

Sholihun, & Fatomi, Z. S. (2021). *PEMROGRAMAN DAN KOMPUTASI NUMERIK MENGGUNAKAN PYTHON*. Gadjah Mada University Press. Https://Books.Google.Co.Id/Books?Id=B3rpeaaaqbaj

Sugandi, W. K., Saukat, M., Yusuf, A., & Lababan, M. F. (2024). Analisis Pindah Panas Mesin Hot Press Extruder Pada Proses Pembuatan Bio Briket Dengan Pendekatan Numerik. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, *5*(1), 842–852. Https://Jurnal.Polbangtanmanokwari.Ac.Id/Index.Php/Prosiding/Article/View/1163/517

Time And Date AS. (2026). *Past Weather In Batam, Indonesia — Yesterday Or Further Back*. Https://Www.Timeanddate.Com/Weather/Indonesia/Batam/Historic