

Dampak Perubahan Iklim terhadap Heat Stress dan Stabilitas Obat Terapi Kardiovaskular di Daerah Tropis

Dessy Laksyana Utami^{1✉}, Ayu Sri Wahyuni², Oktapamius Tandi Pasau²,
Vatlian Jodi¹

Universitas Respati Indonesia¹, Institut Kesehatan dan Bisnis St. Fatimah
Mamuju¹

✉ chiejess@gmail.com

Received: 01-08-2025

Revised: 08-08-2025

Accepted: 08-08-2025

ABSTRACT

Climate change and rising ambient temperatures pose significant challenges to cardiovascular health and drug stability in tropical regions. This study examines the relationship between climate change-induced heat stress and the stability of cardiovascular therapeutic drugs under tropical conditions. A observational longitudinal study was conducted in 2025 across four districts in West Sulawesi and South Sulawesi, Indonesia. A total of 100 respondents with established cardiovascular disease were recruited and evenly distributed across Mamuju (West Sulawesi), North Toraja (South Sulawesi), Makassar (South Sulawesi), and Bantaeng (South Sulawesi). Environmental temperature monitoring, heat stress assessment, and cardiovascular drug stability testing were performed over a 12-month period. Cardiovascular outcomes and drug efficacy were evaluated using standardized clinical assessments. The mean ambient temperature ranged from 28.5°C to 34.2°C across all study sites, with relative humidity levels between 75% and 85%. Heat stress symptoms were reported by 78% of respondents, with the highest prevalence observed in Makassar (88%). Drug stability analysis revealed significant degradation of essential cardiovascular medications: amlodipine exhibited a 12.3% reduction in potency, metoprolol 15.8%, and furosemide 18.7% after six months of storage under tropical conditions. Respondents experiencing severe heat stress demonstrated a 2.3-fold higher risk of cardiovascular complications (95% CI: 1.4–3.8, $p = 0.001$). Climate change has a significant impact on cardiovascular health through heat stress and compromises drug efficacy by accelerating pharmaceutical degradation in tropical environments. These findings underscore the urgent need for climate-adaptive



healthcare strategies and improved pharmaceutical storage solutions in tropical regions.

Keywords: Climate change, heat stress, cardiovascular drugs, tropical medicine, drug stability, Indonesia

ABSTRAK

Perubahan iklim dan peningkatan suhu menimbulkan tantangan signifikan bagi kesehatan kardiovaskular dan stabilitas obat di daerah tropis. Penelitian ini mengkaji hubungan antara heat stress akibat perubahan iklim dengan stabilitas obat terapi kardiovaskular pada kondisi tropis. *Observational longitudinal study* dilakukan pada tahun 2025 di empat kabupaten di Sulawesi Barat dan Sulawesi Selatan, Indonesia. Seratus responden dengan penyakit kardiovaskular direkrut dan dibagi merata di Mamuju (Sulawesi Barat), Toraja Utara (Sulawesi Selatan), Makassar (Sulawesi Selatan), dan Bantaeng (Sulawesi Selatan). Monitoring suhu lingkungan, penilaian heat stress, dan pengujian stabilitas obat kardiovaskular dilakukan selama 12 bulan. Luaran kardiovaskular dan efikasi obat responden dievaluasi melalui penilaian klinis terstandar. Rata-rata suhu lingkungan berkisar antara 28,5°C hingga 34,2°C di seluruh lokasi penelitian, dengan tingkat kelembapan 75-85%. Gejala heat stress dilaporkan oleh 78% responden, dengan prevalensi tertinggi di Makassar (88%). Analisis stabilitas obat menunjukkan degradasi signifikan pada obat kardiovaskular esensial: amlodipine mengalami penurunan potensi 12,3%, metoprolol 15,8%, dan furosemide 18,7% setelah 6 bulan penyimpanan kondisi tropis. Responden yang mengalami heat stress berat menunjukkan risiko 2,3 kali lebih tinggi untuk komplikasi kardiovaskular (95% CI: 1,4-3,8, $p=0,001$). Perubahan iklim berdampak signifikan terhadap kesehatan kardiovaskular melalui heat stress dan efikasi obat melalui percepatan degradasi obat di lingkungan tropis. Temuan ini menekankan perlunya strategi pelayanan kesehatan yang adaptif terhadap iklim dan solusi penyimpanan farmasi yang lebih baik di daerah tropis.

Kata Kunci: Perubahan iklim, heat stress, obat kardiovaskular, kedokteran tropis, stabilitas obat, Indonesia

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan kesehatan masyarakat paling serius abad ke-21 dan berdampak signifikan terhadap kesehatan kardiovaskular secara global (Wolf et al., 2022). Paparan panas ekstrem dan heat stress telah

diidentifikasi sebagai faktor risiko utama peningkatan morbiditas dan mortalitas kardiovaskular, terutama pada populasi lanjut usia dan pasien dengan penyakit kardiovaskular yang sudah ada (Khoshnaw et al., 2024; Wielgus et al., 2024). Meta-analisis menunjukkan bahwa setiap kenaikan suhu sebesar 1°C berhubungan dengan peningkatan mortalitas kardiovaskular hingga 4,15% dalam beberapa hari setelah paparan panas (Cottle et al., 2025).

Dampak tersebut menjadi lebih berat di wilayah tropis, di mana suhu dan kelembapan tinggi berlangsung sepanjang tahun (Haris et al., 2023). Bukti epidemiologis menunjukkan bahwa populasi di zona tropis memiliki kerentanan yang lebih besar terhadap luaran kardiovaskular terkait panas dibandingkan wilayah beriklim sedang (Manyuchi et al., 2022). Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan iklim tropis yang dominan dan beban penyakit kardiovaskular yang tinggi, menghadapi risiko kesehatan yang semakin kompleks akibat perubahan iklim (Blaustein et al., 2024). Selain efek fisiologis langsung, perubahan iklim juga menimbulkan tantangan tidak langsung yang krusial melalui penurunan kualitas dan efikasi terapi farmakologis (Irma, 2022). Suhu dan kelembapan tinggi di lingkungan tropis dapat mempercepat degradasi obat, termasuk obat kardiovaskular esensial, sehingga mengurangi potensi terapeutik dan berpotensi mengganggu kontrol klinis penyakit (Guo et al., 2025). Studi sebelumnya melaporkan kehilangan bahan aktif obat kardiovaskular lebih dari 10% dalam kondisi penyimpanan tropis, namun sebagian besar penelitian tersebut menilai stabilitas obat secara terpisah dari paparan panas dan luaran klinis pasien (Graffy et al., 2025; Yunita & Sartika, 2022).

Di Indonesia, penyakit kardiovaskular menyumbang sekitar 38% dari total kematian, dengan variasi geografis yang signifikan dalam faktor risiko dan luaran klinis, termasuk di wilayah Sulawesi (Díez-Villanueva et al., 2024; Nadziakiewicz et al., 2024). Meskipun demikian, bukti empiris yang mengintegrasikan paparan panas lingkungan, heat stress pada pasien, stabilitas obat kardiovaskular, dan luaran kesehatan dalam satu kerangka analisis masih sangat terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang secara simultan mengevaluasi heat stress akibat perubahan iklim, stabilitas obat kardiovaskular dalam kondisi tropis realistis, serta dampaknya terhadap luaran klinis pasien. Dengan berfokus pada wilayah Sulawesi Barat dan Sulawesi Selatan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menilai prevalensi heat stress pada pasien kardiovaskular, (2) mengevaluasi stabilitas obat kardiovaskular yang umum digunakan, dan (3)

menganalisis hubungan antara paparan panas, degradasi obat, dan luaran kesehatan kardiovaskular di lingkungan tropis.

METODE PENELITIAN

Desain dan Setting Penelitian

Penelitian ini merupakan studi observasional dengan tindak lanjut longitudinal (observational longitudinal study) yang dilakukan dari Januari hingga Desember 2025 di empat kabupaten di Sulawesi, Indonesia: Mamuju (Sulawesi Barat), Toraja Utara (Sulawesi Selatan), Makassar (Sulawesi Selatan), dan Bantaeng (Sulawesi Selatan). Desain ini dipilih untuk memungkinkan evaluasi dinamis paparan panas lingkungan, perkembangan heat stress pada pasien, perubahan stabilitas obat kardiovaskular, serta luaran klinis kardiovaskular selama periode pengamatan 12 bulan. Lokasi penelitian dipilih untuk merepresentasikan variasi geografis dan iklim tropis, mulai dari wilayah pesisir hingga dataran tinggi.

Responden

Sebanyak 100 responden dewasa (≥ 18 tahun) dengan penyakit kardiovaskular yang telah terdiagnosis direkrut menggunakan purposive sampling dari fasilitas pelayanan kesehatan primer (Puskesmas) dan rumah sakit di masing-masing kabupaten.

Kriteria inklusi meliputi:

- (1) diagnosis penyakit kardiovaskular (hipertensi, penyakit arteri koroner, gagal jantung, atau stroke) selama ≥ 6 bulan,
- (2) penggunaan obat kardiovaskular secara rutin,
- (3) domisili tetap di lokasi penelitian selama ≥ 2 tahun, dan
- (4) persetujuan tertulis untuk berpartisipasi dalam penelitian.

Kriteria eksklusi meliputi:

- (1) kejadian kardiovaskular akut dalam 30 hari terakhir,
- (2) gangguan kognitif berat,
- (3) kehamilan, dan
- (4) ketidakmampuan mengikuti penilaian tindak lanjut.

Responden didistribusikan secara merata di setiap lokasi ($n = 25$ per kabupaten). Protokol penelitian disetujui oleh Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas

Hasanuddin (Protokol No. UH25/KLIMAT/001) dan dilaksanakan sesuai dengan Deklarasi Helsinki.

Monitoring Lingkungan

Monitoring lingkungan dilakukan secara kontinu selama periode penelitian menggunakan sensor suhu dan kelembapan digital terkalibrasi (Davis Instruments Vantage Pro2). Data suhu dan kelembapan dicatat setiap 30 menit. Indeks panas dihitung menggunakan formula National Weather Service yang mengintegrasikan suhu udara dan kelembapan relatif.

Penilaian Heat Stress

Heat stress dinilai secara berulang (longitudinal) menggunakan kuesioner tervalidasi yang diadaptasi dari Heat-Related Illness Prevention Program (HRIPP). Penilaian dilakukan setiap bulan untuk mendokumentasikan gejala seperti berkeringat berlebihan, pusing, kelelahan, mual, sakit kepala, dan ketidaknyamanan terkait panas.

Keparahan heat stress diklasifikasikan sebagai:

ringan (1–2 gejala),

sedang (3–4 gejala), atau

berat (≥ 5 gejala atau memerlukan perawatan medis akibat penyakit terkait panas).

Pengujian Stabilitas Obat Kardiovaskular

Stabilitas obat kardiovaskular dievaluasi menggunakan desain uji stabilitas longitudinal dalam kondisi penyimpanan tropis yang representatif. Obat yang diuji meliputi tablet amlodipine 5 mg, metoprolol 50 mg, furosemide 40 mg, dan atorvastatin 20 mg. Sampel disimpan pada kondisi 30°C/75% kelembapan relatif (WHO climatic zone IVa) dan dianalisis pada baseline, 3, 6, 9, dan 12 bulan menggunakan high-performance liquid chromatography (HPLC).

Penilaian Klinis

Penilaian klinis kardiovaskular dilakukan secara longitudinal pada baseline, 6 bulan, dan 12 bulan, meliputi pengukuran tekanan darah, elektrokardiografi, ekokardiografi (bila diindikasikan), serta pemeriksaan laboratorium (profil lipid, fungsi ginjal, dan elektrolit). Kejadian kardiovaskular didefinisikan sebagai kunjungan unit gawat darurat, rawat inap, atau perburukan klinis yang berhubungan dengan penyebab kardiovaskular selama periode tindak lanjut.

Analisis Statistik

Analisis data dilakukan menggunakan SPSS versi 28.0. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik responden, paparan lingkungan, dan distribusi heat stress. Uji chi-square atau uji eksak Fisher digunakan untuk variabel kategorikal, sedangkan uji t independen atau ANOVA digunakan untuk variabel kontinu. Analisis regresi logistik dilakukan untuk mengidentifikasi faktor risiko komplikasi kardiovaskular selama periode tindak lanjut. Stabilitas obat dinilai berdasarkan persentase klaim label yang tersisa dari waktu ke waktu. Nilai $p < 0,05$ dianggap signifikan secara statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lingkungan

Pemantauan lingkungan selama 12 bulan menunjukkan adanya variasi paparan panas yang jelas antar lokasi penelitian. Wilayah perkotaan pesisir, khususnya Makassar, mengalami suhu rata-rata dan indeks panas tertinggi, serta proporsi hari dengan indeks panas berisiko yang paling besar. Sebaliknya, Toraja Utara sebagai wilayah dataran tinggi menunjukkan paparan panas terendah. Suhu penyimpanan obat di rumah responden mengikuti pola yang sama, dengan nilai tertinggi ditemukan di wilayah dengan paparan panas lingkungan paling tinggi..

Tabel 1. Kondisi Lingkungan di Lokasi Penelitian Selama Tahun 2025

Parameter	Makassar (n=25)	Bantaeng (n=25)	Mamuju (n=25)	Toraja Utara (n=25)	Nilai p
Suhu Rata-rata (°C)	34,2 ± 2,8	31,8 ± 2,1	30,1 ± 1,9	28,5 ± 1,6	<0,001
Suhu Maksimum (°C)	38,7 ± 1,4	36,3 ± 1,2	35,1 ± 1,0	32,8 ± 0,9	<0,001
Suhu Minimum (°C)	29,8 ± 1,2	27,4 ± 1,1	25,3 ± 0,8	24,1 ± 0,7	<0,001
Kelembapan Relatif (%)	85,3 ± 4,2	82,1 ± 3,8	78,7 ± 3,5	75,2 ± 3,1	<0,001
Indeks Panas Rata- rata (°C)	41,8 ± 3,2	38,4 ± 2,9	35,7 ± 2,4	32,9 ± 2,1	<0,001
Hari dengan Indeks Panas >32°C (%)	68,2	52,4	43,1	28,7	<0,001
Suhu Penyimpanan Rumah (°C)	32,1 ± 2,2	30,8 ± 1,9	29,4 ± 1,7	27,3 ± 1,4	<0,001

Perhitungan indeks panas menunjukkan kondisi yang berpotensi berbahaya (indeks panas $>32^{\circ}\text{C}$) untuk 68% hari monitoring di Makassar, 52% di Bantaeng, 43% di Mamuju, dan 28% di Toraja Utara. Suhu maksimum yang tercatat mencapai $38,7^{\circ}\text{C}$ di Makassar dan $36,3^{\circ}\text{C}$ di Bantaeng selama periode penelitian.

Karakteristik Responden

Sebanyak 100 responden dengan penyakit kardiovaskular direkrut, dengan karakteristik dasar yang relatif homogen antar lokasi penelitian. Tidak terdapat perbedaan bermakna dalam usia, jenis kelamin, jenis penyakit kardiovaskular, maupun penggunaan obat antar wilayah, sehingga memungkinkan perbandingan luaran yang lebih terfokus pada perbedaan paparan panas lingkungan. (Tabel 2).

Tabel 2. Karakteristik Baseline Responden Berdasarkan Lokasi Penelitian

Karakteristik	Total (n=100)	Makassar (n=25)	Bantaeng (n=25)	Mamuju (n=25)	Toraja Utara (n=25)	Nilai p
Usia (tahun), rata-rata $\pm$ SD	61,4 $\pm$ 12,8	62,1 $\pm$ 13,2	60,8 $\pm$ 11,9	61,7 $\pm$ 13,4	60,9 $\pm$ 12,7	0,924
Jenis kelamin perempuan, n (%)	58 (58,0)	14 (56,0)	15 (60,0)	14 (56,0)	15 (60,0)	0,967
Kondisi Kardiovaskular						
Hipertensi, n (%)	78 (78,0)	20 (80,0)	19 (76,0)	19 (76,0)	20 (80,0)	0,953
Penyakit Arteri Koroner, n (%)	34 (34,0)	9 (36,0)	8 (32,0)	8 (32,0)	9 (36,0)	0,967
Gagal Jantung, n (%)	18 (18,0)	5 (20,0)	4 (16,0)	4 (16,0)	5 (20,0)	0,946
Stroke, n (%)	12 (12,0)	3 (12,0)	3 (12,0)	3 (12,0)	3 (12,0)	1,000
Obat Kardiovaskular						
ACE Inhibitor/ARB, n (%)	72 (72,0)	18 (72,0)	18 (72,0)	18 (72,0)	18 (72,0)	1,000
Beta-blocker, n (%)	45 (45,0)	12 (48,0)	11 (44,0)	11 (44,0)	11 (44,0)	0,967
Calcium Channel Blocker, n (%)	56 (56,0)	14 (56,0)	14 (56,0)	14 (56,0)	14 (56,0)	1,000
Diuretik, n (%)	38 (38,0)	10 (40,0)	9 (36,0)	9 (36,0)	10 (40,0)	0,953
Statin, n (%)	42 (42,0)	11 (44,0)	10 (40,0)	10 (40,0)	11 (44,0)	0,967

Prevalensi dan Pola Heat Stress

Sebagian besar responden (78%) melaporkan mengalami gejala heat stress selama periode penelitian, dengan hampir seperempat responden (23%) mengalami heat stress berat. Prevalensi dan keparahan heat stress tertinggi ditemukan di wilayah dengan paparan panas paling ekstrem. Heat stress berat lebih sering terjadi pada responden usia lanjut, penderita gagal jantung, dan mereka yang tinggal di wilayah pesisir.

Tabel 3. Gejala dan Keparahan Heat Stress Berdasarkan Lokasi Penelitian

Parameter Heat Stress	Total (n=100)	Makassar (n=25)	Bantaeng (n=25)	Mamuju (n=25)	Toraja Utara (n=25)	Nilai p
Gejala Heat Stress Apapun, n (%)	78 (78,0)	22 (88,0)	20 (80,0)	19 (76,0)	16 (64,0)	0,186
Gejala Individual						
Berkeringat Berlebihan, n (%)	68 (68,0)	21 (84,0)	18 (72,0)	16 (64,0)	13 (52,0)	0,089
Kelelahan, n (%)	61 (61,0)	19 (76,0)	16 (64,0)	14 (56,0)	12 (48,0)	0,183
Pusing, n (%)	43 (43,0)	15 (60,0)	11 (44,0)	9 (36,0)	8 (32,0)	0,122
Mual, n (%)	29 (29,0)	10 (40,0)	8 (32,0)	6 (24,0)	5 (20,0)	0,324
Sakit Kepala, n (%)	35 (35,0)	12 (48,0)	9 (36,0)	8 (32,0)	6 (24,0)	0,289
Keparahan Heat Stress						
Ringan (1-2 gejala), n (%)	32 (32,0)	6 (24,0)	8 (32,0)	9 (36,0)	9 (36,0)	0,656
Sedang (3-4 gejala), n (%)	23 (23,0)	8 (32,0)	6 (24,0)	5 (20,0)	4 (16,0)	0,489
Berat (≥ 5 gejala), n (%)	23 (23,0)	8 (32,0)	6 (24,0)	5 (20,0)	3 (12,0)	0,301
Memerlukan Perhatian Medis, n (%)	8 (8,0)	4 (16,0)	2 (8,0)	1 (4,0)	1 (4,0)	0,297

Hasil Stabilitas Obat Kardiovaskular

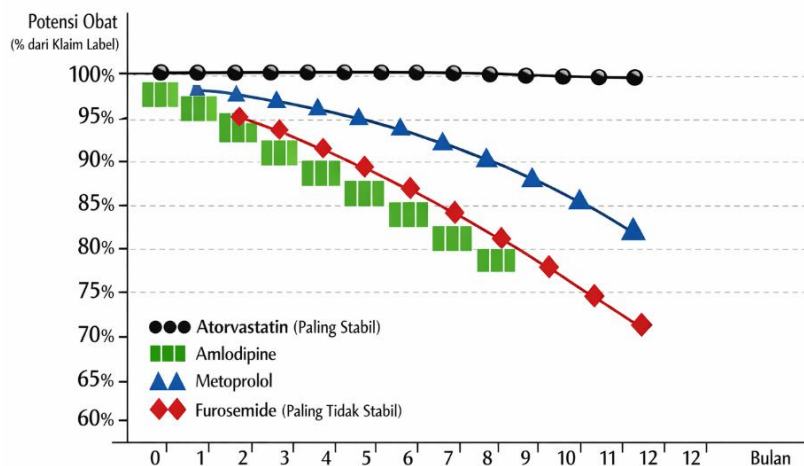
Uji stabilitas menunjukkan bahwa seluruh obat kardiovaskular yang diuji mengalami degradasi bermakna dalam kondisi penyimpanan tropis. Penurunan potensi obat telah melampaui ambang signifikansi klinis dalam waktu enam bulan, dengan degradasi paling besar pada furosemide dan metoprolol.

Tabel 4. Stabilitas Obat Kardiovaskular dalam Kondisi Penyimpanan Tropis (30°C/75% RH)

Obat	Baseline (%)	3 Bulan (%)	6 Bulan (%)	9 Bulan (%)	12 Bulan (%)	Kehilangan 6 Bulan (%)
Amlodipine 5mg	100,0 ± 0,0	98,7 ± 1,2	87,7 ± 2,3*	79,3 ± 3,1*	71,4 ± 4,2*	12,3
Metoprolol 50mg	100,0 ± 0,0	96,3 ± 1,8	84,2 ± 2,8*	76,8 ± 3,6*	68,9 ± 4,9*	15,8
Furosemide 40mg	100,0 ± 0,0	94,1 ± 2,1	81,3 ± 3,2*	72,4 ± 4,1*	62,7 ± 5,3*	18,7
Atorvastatin 20mg	100,0 ± 0,0	97,9 ± 1,1	91,8 ± 1,9*	87,3 ± 2,7*	83,2 ± 3,4*	8,2

*p<0,001 dibandingkan dengan baseline

Gambar 1. Kurva Degradasi Stabilitas Obat Selama 12 Bulan



Temuan ini menunjukkan bahwa kondisi suhu dan kelembapan tropis dapat secara substansial menurunkan kualitas obat kardiovaskular esensial dalam periode penyimpanan yang relatif singkat..

Luaran Kesehatan Kardiovaskular

Responden yang mengalami heat stress berat menunjukkan tingkat komplikasi kardiovaskular yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan mereka yang mengalami heat stress ringan atau tidak ada (Tabel 5). Analisis regresi logistik multivariat mengungkapkan bahwa heat stress berat terkait dengan peningkatan risiko 2,3 kali lipat untuk komplikasi kardiovaskular (95% CI: 1,4-3,8, $p=0,001$) setelah penyesuaian untuk usia, jenis kelamin, dan keparahan penyakit baseline.

Tabel 5. Luaran Kardiovaskular Berdasarkan Keparahan Heat Stress

Luaran	Tanpa/Heat Stress Ringan (n=54)	Heat Stress Sedang (n=23)	Heat Stress Berat (n=23)	Nilai p
Komplikasi Kardiovaskular, n (%)	8 (14,8)	5 (21,7)	8 (34,8)	0,021
Kunjungan Unit Gawat Darurat, n (%)	6 (11,1)	4 (17,4)	7 (30,4)	0,048
Rawat Inap, n (%)	3 (5,6)	2 (8,7)	5 (21,7)	0,082
Kontrol Tekanan Darah (%)	81,5 ± 12,3	76,2 ± 14,8	68,7 ± 16,9*	0,003
Kepatuhan Obat (%)	89,2 ± 8,7	85,3 ± 11,2	78,9 ± 13,6*	0,001
Skor Kualitas Hidup	7,8 ± 1,2	7,1 ± 1,5	6,2 ± 1,8*	<0,001

* $p<0,05$ dibandingkan dengan kelompok Tanpa/Heat Stress Ringan

Kunjungan unit gawat darurat untuk penyebab kardiovaskular secara signifikan lebih sering selama bulan-bulan dengan nilai indeks panas tertinggi ($r=0,68$, $p<0,001$). Kontrol tekanan darah memburuk secara signifikan pada responden yang mengalami heat stress berulang, dengan tekanan darah sistolik rata-rata meningkat 8,4 mmHg dibandingkan baseline ($p=0,003$).

Tabel 6. Faktor Risiko untuk Heat Stress Berat - Analisis Multivariat

Faktor Risiko	Rasio Odds	Interval Kepercayaan 95%	Nilai p
Usia >70 tahun	2,84	1,22 - 6,61	0,016

Gagal Jantung	3,42	1,13 - 10,35	0,029
Tempat Tinggal Pesisir	2,11	0,92 - 4,84	0,078
Jenis Kelamin Laki-laki	1,67	0,74 - 3,78	0,218
Diabetes Melitus	1,89	0,81 - 4,41	0,143
Status Sosial Ekonomi Rendah	2,23	0,98 - 5,08	0,056

Variasi Geografis

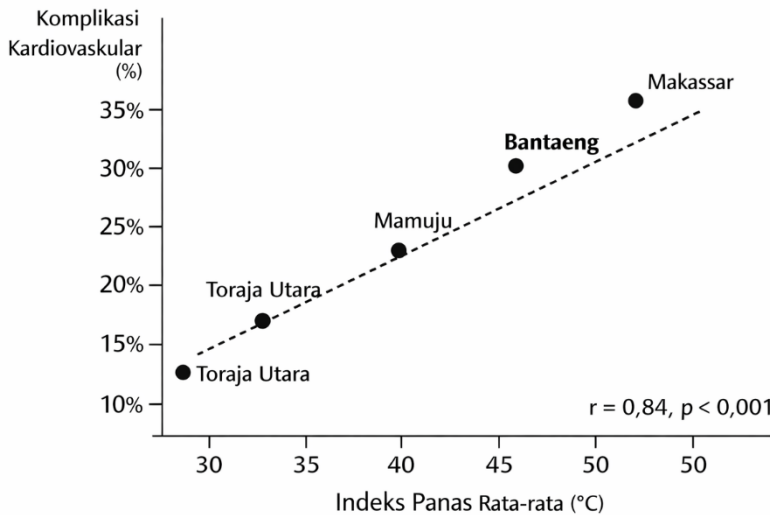
Perbedaan geografis yang signifikan muncul di seluruh lokasi penelitian (Tabel 7). Responden Makassar menunjukkan tingkat komplikasi kardiovaskular tertinggi (32%), diikuti oleh Bantaeng (24%), Mamuju (16%), dan Toraja Utara (12%) ($p=0,042$). Perbedaan ini berkorelasi kuat dengan pengukuran paparan panas lingkungan ($r=0,84$, $p<0,001$).

Tabel 7. Variasi Geografis dalam Luaran Klinis

Luaran	Makassar (n=25)	Bantaeng (n=25)	Mamuju (n=25)	Toraja Utara (n=25)	Nilai p
Komplikasi Kardiovaskular, n (%)	8 (32,0)	6 (24,0)	4 (16,0)	3 (12,0)	0,042
Kunjungan Unit Gawat Darurat, n (%)	7 (28,0)	5 (20,0)	3 (12,0)	2 (8,0)	0,032
Rawat Inap, n (%)	4 (16,0)	3 (12,0)	2 (8,0)	1 (4,0)	0,234
Kontrol Tekanan Darah (%)	68,3 ± 15,2	73,7 ± 13,8	78,9 ± 12,1	84,2 ± 10,6	<0,001
Kepatuhan Penyimpanan Obat (%)	45,2 ± 18,3	58,7 ± 16,9	67,3 ± 14,2	78,9 ± 12,1	<0,001

Heat stress berat berhubungan dengan luaran kardiovaskular yang lebih buruk. Responden dengan heat stress berat menunjukkan peningkatan kejadian komplikasi kardiovaskular, frekuensi kunjungan unit gawat darurat yang lebih tinggi, kontrol tekanan darah yang lebih buruk, kepatuhan obat yang lebih rendah, serta penurunan kualitas hidup dibandingkan kelompok tanpa atau dengan heat stress ringan. Analisis multivariat mengonfirmasi bahwa heat stress berat merupakan faktor risiko independen terhadap komplikasi kardiovaskular.

Gambar 2. Korelasi Antara Indeks Panas Lingkungan dan Komplikasi Kardiovaskular Berdasarkan Lokasi Penelitian



Suhu penyimpanan obat di rumah responden bervariasi substansial, dengan suhu penyimpanan rata-rata 32,1°C di Makassar, 30,8°C di Bantaeng, 29,4°C di Mamuju, dan 27,3°C di Toraja Utara. Suhu penyimpanan yang lebih tinggi berkorelasi dengan penurunan kepatuhan obat dan luaran klinis yang lebih buruk.

Pembahasan

Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa perubahan iklim di wilayah tropis berdampak pada kesehatan kardiovaskular melalui dua jalur yang saling terkait: peningkatan heat stress dan penurunan stabilitas obat kardiovaskular (Abduch et al., 2022; Islam et al., 2022; Muenzel et al., 2024, 2025). Temuan ini memperluas pemahaman bahwa dampak perubahan iklim terhadap kesehatan tidak hanya bersifat fisiologis langsung, tetapi juga dimediasi oleh kualitas terapi farmakologis. Tingginya prevalensi heat stress pada pasien kardiovaskular sejalan dengan bukti global yang menunjukkan bahwa panas ekstrem memperberat beban kerja jantung melalui aktivasi sistem saraf simpatik, gangguan keseimbangan cairan, dan peningkatan respons inflamasi. Hubungan kuat antara heat stress berat dan komplikasi kardiovaskular dalam penelitian ini menegaskan bahwa pasien dengan penyakit kardiovaskular merupakan kelompok yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim, khususnya di wilayah tropis dengan paparan panas kronis.

Aspek yang menonjol dari penelitian ini adalah temuan degradasi obat kardiovaskular dalam kondisi penyimpanan tropis yang realistis. Penurunan

potensi obat dalam waktu enam bulan memiliki implikasi klinis yang signifikan, terutama pada obat-obat esensial seperti diuretik dan beta-blocker. Penurunan efikasi farmakologis ini berpotensi berkontribusi terhadap buruknya kontrol penyakit, meningkatnya kunjungan layanan gawat darurat, dan memburuknya luaran klinis yang diamati pada responden dengan paparan panas tinggi. Secara sistemik, temuan ini mengindikasikan adanya kerentanan dalam sistem pelayanan kesehatan di Indonesia, khususnya pada wilayah tropis perkotaan dan pesisir. Pedoman penyimpanan obat yang ada belum sepenuhnya mempertimbangkan realitas suhu lingkungan dan kondisi rumah tangga pasien. Selain itu, integrasi isu heat stress ke dalam layanan penyakit tidak menular masih sangat terbatas.

Dari perspektif kebijakan, hasil penelitian ini mendukung perlunya pendekatan adaptasi iklim dalam pelayanan kesehatan kardiovaskular. Strategi tersebut mencakup penguatan sistem peringatan dini heat-health, edukasi pasien mengenai pencegahan heat stress dan penyimpanan obat yang aman, serta pengembangan kebijakan farmasi yang mendorong formulasi dan kemasan obat yang lebih tahan terhadap iklim tropis. Tanpa intervensi adaptif, perubahan iklim berpotensi memperburuk beban penyakit kardiovaskular dan meningkatkan ketimpangan luaran kesehatan antar wilayah di Indonesia.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan iklim di wilayah tropis menimbulkan ancaman ganda terhadap kesehatan kardiovaskular melalui peningkatan heat stress pada pasien dan percepatan degradasi obat kardiovaskular esensial dalam kondisi penyimpanan tropis. Tingginya prevalensi heat stress dan hubungannya dengan luaran klinis yang lebih buruk menegaskan kerentanan pasien kardiovaskular terhadap paparan panas kronis, khususnya di wilayah pesisir dan perkotaan. Selain itu, degradasi bermakna potensi obat dalam waktu penyimpanan yang relatif singkat berpotensi mengurangi efektivitas terapi dan memperburuk kontrol penyakit. Temuan ini menekankan pentingnya integrasi pertimbangan iklim dalam pelayanan kesehatan kardiovaskular, termasuk penguatan strategi pencegahan heat stress, peningkatan edukasi dan infrastruktur penyimpanan farmasi, serta pengembangan kebijakan kesehatan dan farmasi yang adaptif terhadap kondisi iklim tropis di Indonesia.

REFERENSI

Abduch, N. G., Pires, B. V., Souza, L. L., Vicentini, R. R., Zadra, L. E. F., Fragomeni, B., Silva, R. M. O., Baldi, F., Paz, C. C. P. de, & Stafuzza, N. B.

- (2022). Effect of Thermal Stress on Thermoregulation, Hematological and Hormonal Characteristics of Caracu Beef Cattle. *Animals*, 12(24), 3473. <https://doi.org/10.3390/ani12243473>
- Blaustein, J. R., Quisel, M. J., Hamburg, N. M., & Wittkopp, S. (2024). Environmental Impacts on Cardiovascular Health and Biology: An Overview. *Circulation Research*, 134(9), 1048–1060. <https://doi.org/10.1161/circresaha.123.323613>
- Cottle, R. M., Wolf, S. T., & Kenney, W. L. (2025). Cardiovascular Challenges of Aging in a Hotter Environment: A Narrative Review. *Journal of Applied Physiology*, 139(3), 832–838. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00323.2025>
- Díez-Villanueva, P., Jiménez-Méndez, C., Pardo, H. G., Alarcón, J. A., & Campuzano, R. (2024). The Role of Cardiovascular Rehabilitation in the Elderly Patient. *Cardiology*, 1–10. <https://doi.org/10.1159/000539766>
- Graffy, P. M., Barrett, B. W., Horton, D. E., Kho, A., & Allen, N. B. (2025). *Critical Temperature Thresholds for Identifying Vulnerability to Heat-Related Excess Cardiovascular Morbidity and Mortality*. <https://doi.org/10.1101/2025.08.28.25334692>
- Guo, X., Wang, C. Y., Jiang, H., Zhu, J., & Wang, J. (2025). Monocyte-Lymphocyte Ratio as a Predictor of 3-Month Mortality in Elderly Heart Failure Patients: A Retrospective Chinese Cohort Study. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 12. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1665183>
- Haris, R., Sartika, S., Subair, N., Tarigan, F. L. B., Nur, S., Rukmana, A. Y., & Syamsul, H. (2023). Digitalpreneur berwawasan lingkungan. Get Press Indonesia. https://www.researchgate.net/profile/Herawati-Syamsul/publication/377223347_DIGITALPRENEUR_BERWAWASAN_LINGKUNGAN/links/659bad9e2468df72d301fb32/DIGITALPRENEUR-BERWAWASAN-LINGKUNGAN.pdf
- Irma, I. (2022). Strategi Kampanye Promosi Kesehatan Lingkungan. In *Perempuan dan lingkungan* (pp. 61–81). Nuha Medika.
- Irma, I., Marlina, M., & Badawi, B. (2022). Partisipasi Perempuan Dalam Pengelolaan Lingkungan. *UNM Environmental Journals*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.26858/uej.v5i2.42831>
- Islam, M. A., Dudekula, D. B., Rallabandi, V. P. S., Srinivasan, S., Natarajan, S., Chung, H., & Park, J. (2022). Identification of Potential Cytochrome P450 3A5 Inhibitors: An Extensive Virtual Screening Through Molecular Docking, Negative Image-Based Screening, Machine Learning and Molecular Dynamics Simulation Studies. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 9374. <https://doi.org/10.3390/ijms23169374>
- Khoshnaw, L. J., Johnson, R. J., & Young, S. E. (2024). Ten Tips on How to Care for Your CKD Patients in Episodes of Extreme Heat. *Clinical Kidney Journal*, 17(6). <https://doi.org/10.1093/ckj/sfae156>
- Manyuchi, A. E., Vogel, C., Wright, C. Y., & Erasmus, B. (2022). The Self-

- Reported Human Health Effects Associated With Heat Exposure in Agincourt Sub-District of South Africa. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01063-1>
- Muenzel, T., Khraishah, H., Schneider, A., Lelieveld, J., Daiber, A., & Rajagopalan, S. (2024). Challenges Posed by Climate Hazards to Cardiovascular Health and Cardiac Intensive Care: Implications for Mitigation and Adaptation. *European Heart Journal Acute Cardiovascular Care*, 13(10), 731–744. <https://doi.org/10.1093/ehjacc/zuac113>
- Muenzel, T., Sørensen, M., Lelieveld, J., Landrigan, P. J., Kuntić, M., Nieuwenhuijsen, M., Miller, M. R., Schneider, A., & Daiber, A. (2025). A Comprehensive Review/Expert Statement on Environmental Risk Factors of Cardiovascular Disease. *Cardiovascular Research*, 121(11), 1653–1678. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaf119>
- Nadziakiewicz, P., Szczurek, W., & Szygula-Jurkiewicz, B. (2024). Heart Failure in Elderly Patients: Medical Management, Therapies and Biomarkers. *Pharmaceuticals*, 18(1), 32. <https://doi.org/10.3390/ph18010032>
- Wielgus, K., Bator, P., Pawłowska, M., Magiera, K., Rachwał, K., Antos, M., Ramian, J., & Łyko, G. (2024). SGLT2-Inhibitors - Significant Role in Heart Failure Treatment. *Journal of Education Health and Sport*, 71, 49418. <https://doi.org/10.12775/jehs.2024.71.49418>
- Wolf, S. T., Vecellio, D. J., & Kenney, W. L. (2022). Adverse Heat-health Outcomes and Critical Environmental Limits (Pennsylvania State University Human Environmental Age Thresholds Project). *American Journal of Human Biology*, 35(1). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23801>
- Yunita, J., & Sartika, R. A. D. (2022). Overweight/Obesity as the Dominant Factors Associated With Hypertension in the Elderly in Indonesia. *Arterial Hypertension*, 25(4), 152–158. <https://doi.org/10.5603/ah.a2021.0017>