

KAJIAN SIMULASI ADAPTASI TERHADAP TINGKAT KENYAMANAN TERMAL AKIBAT PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DI KOTA PADANG

STUDY OF ADAPTATION SIMULATION ON TERMAL COMFORT-ABLENESS LEVEL CAUSED BY GLOBAL CLIMATE CHANGE ON PADANG

Sugeng Nugroho

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang – BMKG
Jln. Raya Bukittinggi-Medan Km 17, Palupuh, Kab. Agam, Prov. Sumatera Barat
Telp.: 0752-7446089, Fax.: 0752-7446449
e-mail: sugeng_ho@yahoo.com

ABSTRACT

Climate change will affect the thermal comfortableness level in the urban area therefore adaptation is needed to reduce its impact. Thermal comfortableness level was determined base on climate scenario data emission A2 and B2 on the period of 1961-2100. Adaptation simulation is conducted by modifying mean radiant temperature, increasing wind speed and cloth coefficient value on the thermal comfortableness level calculation. Result showed that generally, thermal comfortableness level in Padang on the period of 1961-2100 was in the uncomfot level category. Adaptation simulation which had the most influence on the thermal comfortableness level was by modifying mean radiant temperature and increasing wind speed on the original data.

Keywords: *Climate change, Thermal comfortableness level, Simulation adaptation*

ABSTRAK

Perubahan iklim akan memengaruhi tingkat kenyamanan termal di daerah perkotaan sehingga perlu dilakukan adaptasi untuk mengurangi dampaknya. Tingkat kenyamanan termal dihitung berdasarkan data iklim skenario emisi A2 dan B2 periode 1961-2100. Sementara simulasi adaptasi dilakukan dengan modifikasi faktor kecepatan angin dan nilai koefisien pakaian pada perhitungan tingkat kenyamanan termalnya. Hasil penelitian menunjukkan secara umum tingkat kenyamanan termal di Kota Padang pada periode 1961-2100 berada pada kategori tidak nyaman. Simulasi adaptasi yang paling berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan termal adalah dengan menambah kecepatan angin pada data aslinya.

Kata Kunci: *Perubahan iklim, Tingkat kenyamanan termal, Simulasi adaptasi.*

PENDAHULUAN

Tingkat kenyamanan termal di suatu daerah perkotaan sangat berpengaruh terhadap kegiatan dan aktivitas manusia, salah satunya terkait dengan suhu tubuh manusia. Di daerah perkotaan yang beriklim tropis dan lembab, faktor klimatis terutama temperatur dan kelembaban udaranya yang relatif tinggi merupakan penyebab utama

situasi tidak nyaman secara termal bagi tubuh manusia, selain faktor jenis pakaian yang dikenakan, tingkat aktivitas, dimensi tubuh, dan laju keringat yang dikeluarkan.¹

Salah satu standar indeks yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kenyamanan termal adalah *physiological equivalent temperature* (PET). PET merupakan model yang digunakan untuk menyatakan tingkat kenyamanan

termal berdasarkan keseimbangan energi tubuh manusia. PET dinyatakan dalam satuan derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$) sehingga hasilnya akan lebih mudah dimengerti dibandingkan dengan hasil dari indeks kenyamanan termal lainnya.²

Pertumbuhan jumlah penduduk dan laju urbanisasi yang tidak terkendali, serta pembangunan secara fisik yang berlebihan di daerah perkotaan akan menyebabkan semakin tingginya temperatur udara di daerah perkotaan (*urban heat island*), yang selanjutnya tentu akan berpengaruh pada tingkat kenyamanan termal di daerah perkotaan tersebut.³

Perubahan iklim merupakan fenomena yang terjadi secara global, namun dampak dari perubahan iklim tersebut tidak dirasakan sama untuk semua tempat. Tempat-tempat yang diduga akan paling merasakan dampak perubahan iklim tersebut adalah daerah perkotaan, dengan perubahan unsur iklim yang pasti adalah meningkatnya temperatur udara. Pada tahun 1990–2100, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memproyeksikan temperatur permukaan bumi akan meningkat antara $1,4\text{--}5,8^{\circ}\text{C}$.⁴

Untuk mengetahui perubahan iklim yang terjadi di masa yang akan datang, IPCC membuat beberapa skenario emisi (*special report on emissions scenario*, SRES) yang digunakan untuk mengetahui proyeksi iklim ke depan dengan mempertimbangkan kondisi iklim saat ini. Skenario emisi A2 menggambarkan konsep dunia yang lebih heterogen, perkembangan ekonomi, sosial, dan lingkungan berorientasi regional dengan jumlah penduduk yang terus bertambah, namun pendapatan perkapitanya rendah dan perkembangan teknologi yang lambat. Sedangkan pada skenario emisi B2, perkembangan ekonomi, sosial, dan lingkungan lebih pada skala lokal, dengan laju peningkatan ekonomi ada pada tahap menengah, dan lebih bersahabat kepada lingkungan.⁵

Adaptasi adalah suatu strategi penyesuaian diri yang digunakan untuk merespons perubahan-perubahan lingkungan yang terjadi. Untuk melihat kemungkinan adaptasi terhadap tingkat kenyamanan termal akibat perubahan iklim yang terjadi, maka dilakukan simulasi adaptasi dengan melakukan modifikasi baik pada faktor iklim maupun faktor termofisiologi.^{1,6}

Perubahan iklim merupakan suatu keniscayaan yang dampaknya terhadap tingkat kenyamanan termal tidak dapat dihindari. Untuk itu dalam makalah ini akan dikaji kemungkinan-kemungkinan simulasi adaptasi yang dapat dilakukan untuk menghadapi dampak perubahan tersebut.

METODOLOGI

Data yang digunakan adalah data model iklim harian hasil analisis *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (CCCma) *couple general circulation model* generasi kedua (CGCM2), dengan menggunakan skenario emisi A2 dan B2 pada periode tahun 1961–2100.⁷ Selain itu juga digunakan data iklim harian hasil pengamatan di Stasiun Meteorologi Tabung ($0^{\circ}53'$ LS dan $100^{\circ}22'$ BT) periode tahun 1982–2008. Data hasil pengamatan di Stasiun Meteorologi Tabung diasumsikan dapat mewakili kondisi iklim Kota Padang secara umum.

Data iklim pada model CCCma CGCM2 merupakan data grid dengan resolusi $3,75^{\circ} \times 3,75^{\circ}$. Pada model tersebut grid yang terdekat dengan Tabung adalah Grid 1 (1.86°LS , 97.5°BT), Grid 2 (1.86°LS , 101.25°BT), Grid 3 (1.86°LU , 97.5°BT), Grid 4 (1.86°LU , 101.25°BT), seperti yang terlihat pada Gambar 1.

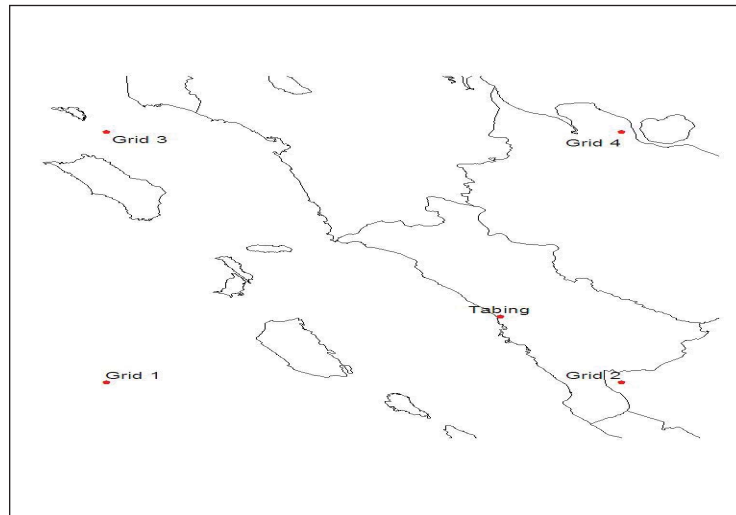
Data iklim Tabung ditentukan dengan melakukan *downscaling* terhadap data iklim hasil model CCCma CGCM2 yang berupa data grid tersebut dengan menggunakan metode regresi,⁸ yaitu melakukan hubungan regresi antara data hasil observasi (titik Tabung) dengan data model (titik Grid 1–4) pada periode yang sama. Persamaan regresi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memproyeksikan data model CCCma CGCM2 di titik Tabung pada periode tahun 1961–2100.

Tingkat kenyamanan termal dinyatakan dengan menggunakan indeks PET, seperti yang terlihat pada Tabel 1. PET dihitung dengan menggunakan program RayMan,⁹ yang dikembangkan untuk menentukan indeks kenyamanan termal pada kondisi lingkungan sederhana maupun kompleks berdasarkan faktor iklim (suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari) dan faktor termofisiologi (pakaian dan aktivitas).^{10,11}

Hasil perhitungan PET dibagi menjadi tiga kelompok: yaitu hasil perhitungan PET dengan menggunakan data iklim hasil model dan data yang telah dimodifikasi untuk simulasi adaptasi pada periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100, baik pada skenario emisi A2 maupun B2. Kemudian dihitung frekuensi kejadian

nilai PET dan tingkat persepsi termalnya dengan kategori seperti yang tercantum pada Tabel 1.

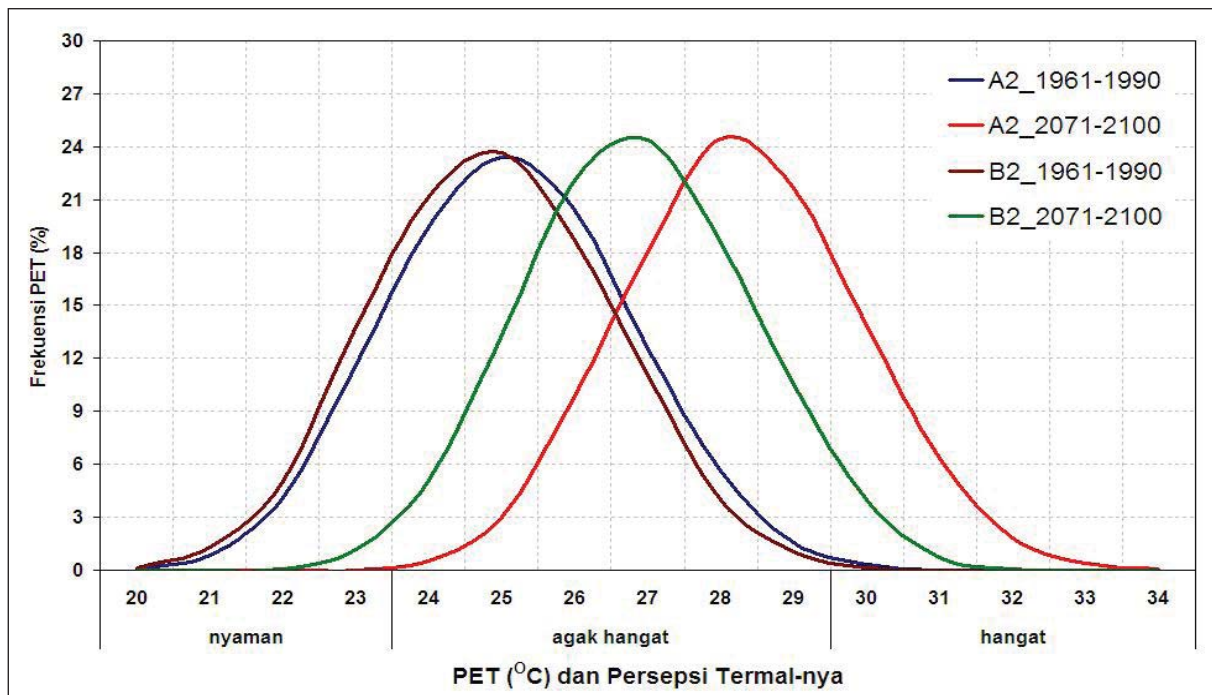
Simulasi adaptasi dilakukan dengan cara memodifikasi data temperatur radiant rata-rata (temperatur karena pengaruh radiasi matahari) dengan temperatur udara rata-rata (simbol: $T_a = T_r$), menambah dan mengurangi kecepatan angin sebesar 1 m/det (simbol: $w+1$ dan $w-1$) dan



Gambar 1. Posisi Tabing terhadap titik-titik grid pada model CCCma CGCM2.

Tabel 1. Persepsi Termal dan Tekanan Fisiologi yang Dirasakan Oleh Manusia Pada Indeks PET yang Berbeda.²

PET (°C)	Persepsi termal	Tingkat tekanan fisiologi
4	Sangat dingin	Dingin yang ekstrem
8	Dingin	Dingin yang kuat
13	Sejuk	Dingin yang sedang
18	Agak sejuk	Agak dingin
23	Nyaman	Tidak ada tekanan thermal
29	Agak hangat	Agak panas
35	Hangat	Panas yang sedang
41	Panas	Panas yang kuat
	Sangat panas	Panas yang ekstrem



Gambar 2. Distribusi nilai PET periode 1961–1990 dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang.

merubah koefisien pakaian menjadi 0.6 dan 1.0 (simbol: $clo = 0.6$ dan $clo = 1.0$).^{1,6} Untuk melihat pengaruh simulasi adaptasi yang dilakukan maka data hasil simulasi adaptasi dibandingkan dengan tingkat kenyamanan termal yang dihitung dengan menggunakan data aslinya (data tanpa modifikasi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi nilai PET di Kota Padang periode 1961–1990 dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa keempat kurva merupakan perbandingan distribusi nilai PET periode 1961–1990 dengan periode 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2. Dibandingkan periode 1961–1990, distribusi nilai PET periode 2071–2100 mengalami pergeseran, baik pada skenario emisi A2 maupun B2, dengan nilai pergeseran nilai tengah PET pada skenario emisi A2 sebesar 3,2°C lebih jauh dibandingkan nilai tengah PET pada skenario emisi B2 yang sebesar 2,0°C. Pergeseran nilai PET ini tentu saja juga diikuti oleh pergeseran tingkat persepsi kenyamanan termalnya, dari tingkat nyaman ke tingkat agak hangat dan hangat.

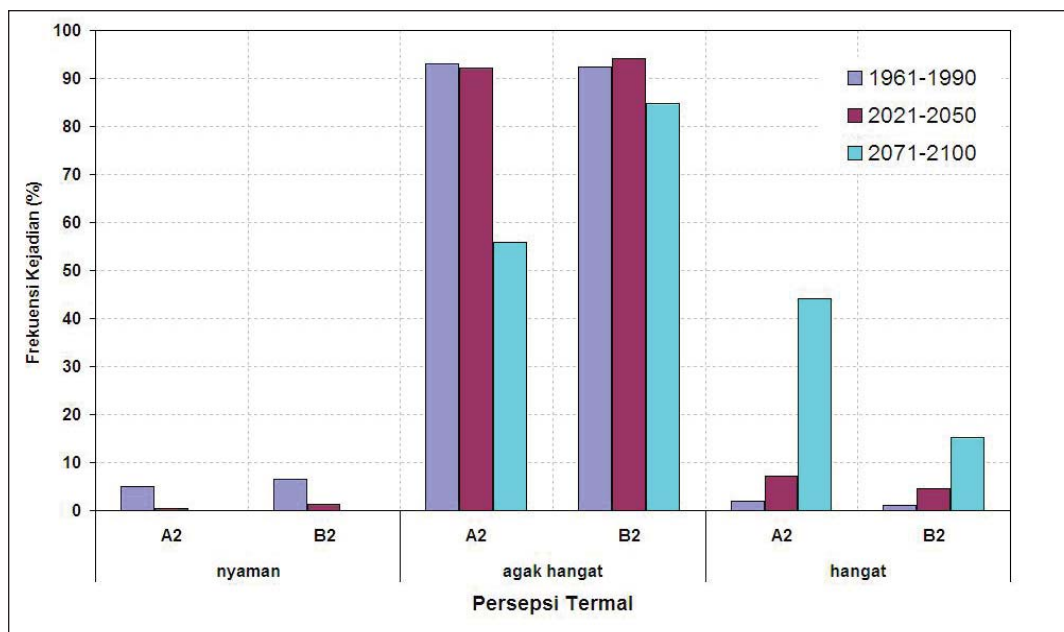
Dari Gambar 2 juga dapat diartikan bahwa skenario perubahan iklim yang dikelompokkan dalam skenario emisi perubahan iklim A2, seperti laju pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang tidak terkontrol dan tingkat kemiskinan yang tinggi, akan menyebabkan meningkatkan nilai PET.

Distribusi tingkat kenyamanan termal periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang berada pada rentangan tingkat kenyamanan termal kategori nyaman, agak hangat dan hangat ditunjukkan pada Gambar 3. Kondisi yang ada menunjukkan bahwa persentase frekuensi kejadian dengan tingkat kenyamanan termal kategori nyaman di Kota Padang, periode 1961–1990 kurang dari 10%, kurang dari 5% pada periode 2021–2050, dan 0% pada periode 2071–2100. Sebagian besar frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal Kota Padang berada pada kategori agak hangat, dengan kisaran persentase sebesar 90% pada periode 1961–1990 dan 2021–2050. Sementara pada periode 2071–2100, sebesar 55% pada skenario emisi A2 dan 85% pada skenario emisi B2. Sedangkan tingkat kenyamanan termal kategori hangat, frekuensi kejadian terbanyak terjadi pada periode 2071–2100

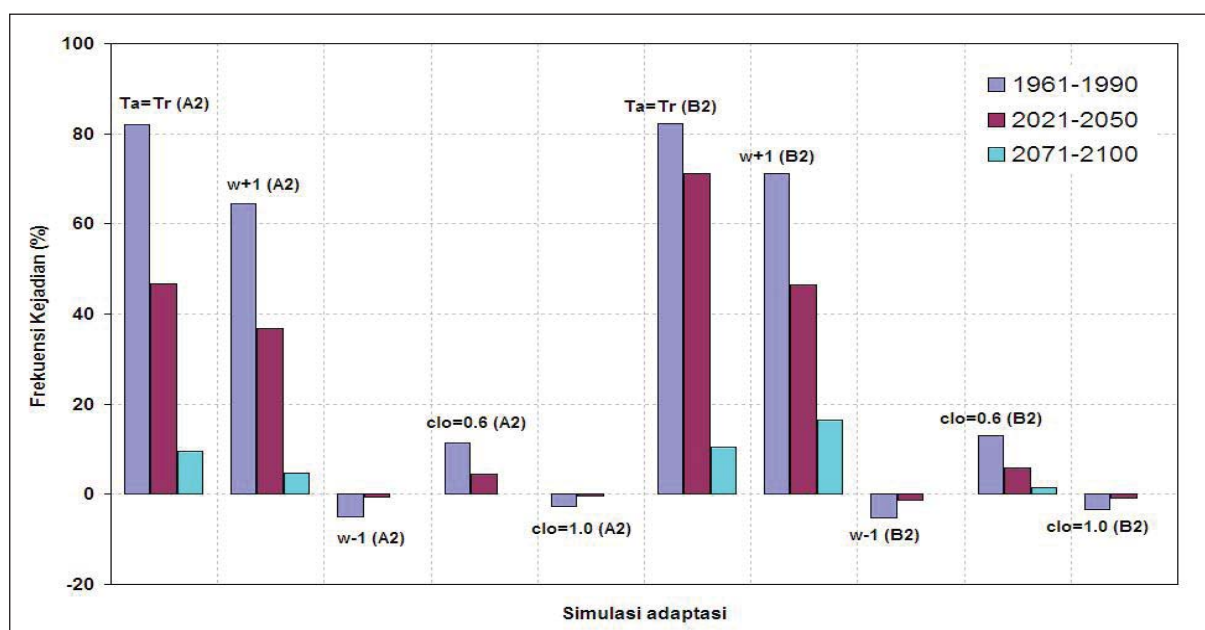
sebesar 45% dan 15%, masing-masing pada skenario emisi A2 dan B2. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa secara umum tingkat kenyamanan termal di Kota Padang berada pada kategori tidak nyaman. Kondisi seperti ini secara tidak langsung dipengaruhi oleh letak geografi dan kondisi fisiografi Kota Padang yang telah

membentuk kota tersebut mempunyai iklim yang relatif hangat.

Pengaruh beberapa hasil simulasi adaptasi yang dilakukan terhadap tingkat kenyamanan termal kategori nyaman periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang ditunjukkan pada Gambar 4. Pengaruh positif dari



Gambar 3. Distribusi tingkat kenyamanan termal periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang.



Gambar 4. Pengaruh beberapa simulasi adaptasi yang dilakukan terhadap tingkat kenyamanan termal kategori nyaman periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang.

simulasi adaptasi yang dilakukan terlihat terjadi pada simulasi adaptasi $Ta = Tr$, $w+1$ dan $clo = 0.6$, sedangkan pengaruh negatif terjadi pada simulasi adaptasi $w-1$ dan $clo = 1.0$ untuk ketiga periode tahun, pada skenario emisi perubahan iklim A2 maupun B2.

Hasil simulasi adaptasi $Ta = Tr(A2)$ dan $w+1(A2)$ dapat meningkatkan persentase frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori nyaman menjadi sebesar 65–82% pada periode 1961–1990, sebesar 36–48% pada periode 2021–2050, dan sebesar 2–5% pada periode 2071–2100. Simulasi adaptasi $clo = 0.6(A2)$ hanya dapat meningkatkan persentase frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori nyaman menjadi sebesar 11% pada periode 1961–1990 dan sebesar 5% pada periode 2021–2050. Simulasi adaptasi ini tidak mampu menciptakan tingkat kenyamanan termal kategori nyaman pada periode 2071–2100.

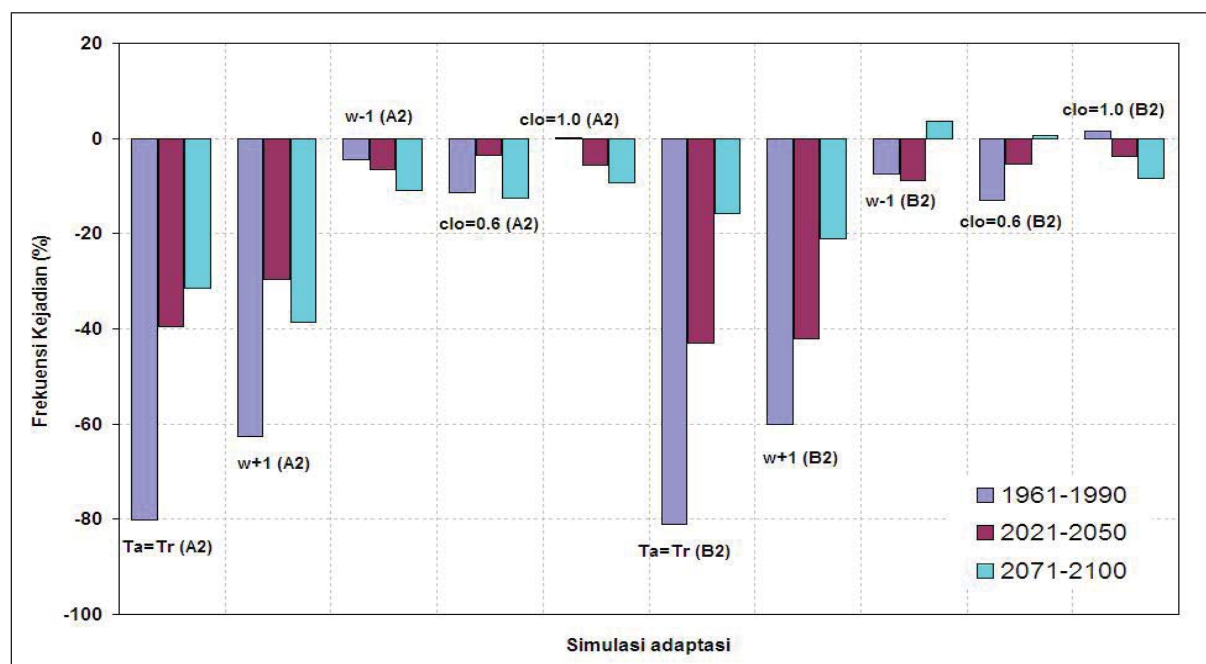
Simulasi adaptasi $Ta = Tr(B2)$ dan $w+1(B2)$ dapat meningkatkan persentase frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori nyaman menjadi sebesar 72–82% pada periode 1961–1990, sebesar 46–72% pada periode 2021–2050 dan sebesar 10–16% pada periode 2071–2100. Simulasi adaptasi $clo = 0.6(B2)$ dapat meningkatkan

persentase frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori nyaman menjadi sebesar 14% pada periode 1961–1990, sebesar 6% pada periode 2021–2050, dan sebesar 1% pada periode 2071–2100.

Simulasi adaptasi $w-1(A2)$, $clo = 1.0(A2)$, $w-1(B2)$ dan $clo = 1.0(B2)$ memberikan pengaruh yang negatif dengan besaran sekitar 5% sehingga akan mengurangi persentase frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori nyaman sebesar 5% jika dibandingkan dengan data aslinya.

Pengaruh beberapa hasil simulasi adaptasi yang dilakukan terhadap tingkat kenyamanan termal kategori agak hangat periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5, terlihat bahwa hampir semua simulasi adaptasi yang dilakukan memberikan pengaruh yang negatif, dengan dua simulasi adaptasi yang paling besar pengaruhnya yaitu simulasi adaptasi $Ta = Tr$ dan $w+1$.

Simulasi adaptasi $Ta = Tr(A2)$ dan $w+1(A2)$ dapat mengurangi frekuensi tingkat kenyamanan termal kategori agak hangat sebesar 62–80%



Gambar 5. Pengaruh beberapa simulasi adaptasi yang dilakukan terhadap tingkat kenyamanan termal kategori agak hangat periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang.

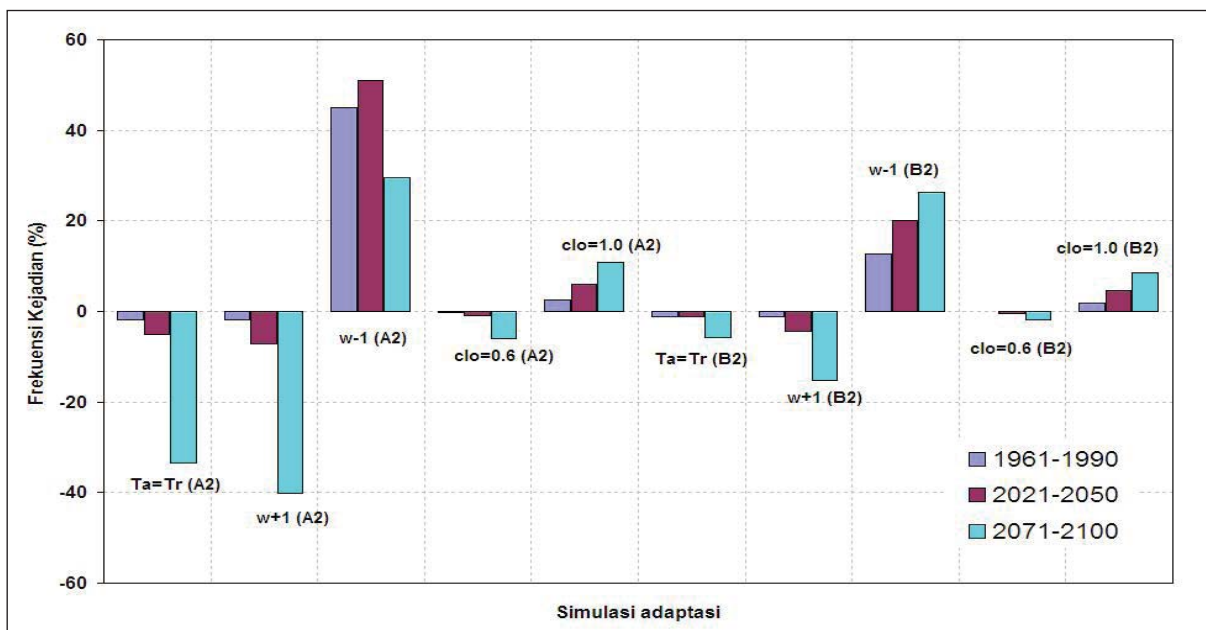
pada periode 1961–1990, 30–40% pada periode 2021–2050, dan sebesar 32–38% pada periode 2071–2100, Simulasi adaptasi $T_a = Tr(B2)$ dan $w+1(B2)$ dapat mengurangi frekuensi tingkat kenyamanan termal kategori agak hangat sebesar 60–80% pada periode 1961–1990, sekitar 40% pada periode 2021–2050, dan sebesar 17–22% pada periode 2071–2100. Sedangkan simulasi adaptasi yang lainnya hanya mampu mengurangi frekuensi tingkat kenyamanan termal kategori agak hangat ini kurang dari 10%.

Pengaruh beberapa hasil simulasi adaptasi yang dilakukan terhadap tingkat kenyamanan termal kategori hangat periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario emisi perubahan iklim A2 dan B2 di Kota Padang ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil simulasi adaptasi pada tingkat kenyamanan termal kategori hangat ini terlihat bahwa pengaruh dari simulasi adaptasi $w-1(A2)$ dan $w-1(B2)$ lebih besar dibandingkan pada tingkat kenyamanan termal kategori nyaman dan agak hangat. Karena bernilai positif berarti simulasi adaptasi $w-1(A2)$ dan $w-1(B2)$ berpengaruh meningkatkan frekuensi terjadinya tingkat kenyamanan termal kategori hangat sebesar 45% pada periode 1961–1990, sebesar 50% pada periode 2021–2050, dan sebesar 30% pada periode 2071–2100.

pada periode 2071–2100. Untuk skenario emisi A2 dan sebesar 12% pada periode 1961–1990, sebesar 20% pada periode 2021–2050, dan sebesar 27% pada periode 2071–2100 untuk skenario emisi B2.

Simulasi adaptasi $T_a = Tr(A2)$ dan $w+1(A2)$ mampu menurunkan frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori hangat ini sebesar 32% dan 42% pada periode 2071–2100. Sedangkan simulasi adaptasi $T_a = Tr(B2)$ dan $w+1(B2)$ hanya dapat menurunkan frekuensi kejadian tingkat kenyamanan termal kategori hangat ini sebesar 5% dan 15% pada periode yang sama.

Hasil simulasi adaptasi $T_a = Tr(A2)$, $T_a = Tr(B2)$, $w+1(A2)$ dan $w+1(B2)$ menunjukkan bahwa simulasi-simulasi adaptasi tersebut memberikan pengaruh yang besar dalam meningkatkan frekuensi terjadinya tingkat kenyamanan termal kategori nyaman dan mengurangi frekuensi terjadinya tingkat kenyamanan termal kategori tidak nyaman dibandingkan dengan simulasi-simulasi adaptasi lainnya. Simulasi adaptasi $T_a = Tr$ berarti mengurangi panas yang disebabkan radiasi matahari, baik gelombang pendek maupun gelombang panjang. Hal tersebut dapat dilakukan adalah dengan pembuatan naungan baik secara alami maupun buatan. Sedangkan simulasi



Gambar 6. Pengaruh beberapa simulasi adaptasi yang dilakukan terhadap tingkat kenyamanan termal kategori hangat periode 1961–1990, 2021–2050, dan 2071–2100 pada skenario perubahan iklim SRES A2 dan B2 di Kota Padang.

adaptasi $w+1$ yang dapat diartikan menambah kecepatan angin yang dapat dilakukan dengan penataan bangunan sehingga tidak mengurangi laju kecepatan angin. Simulasi adaptasi $clo = 0,6(A2)$ dan $clo = 0,6(B2)$ merupakan simulasi adaptasi dengan menggunakan faktor pakaian dengan nilai koefisien 0,6 (pakaian kerja harian) yang dapat meningkatkan kenyamanan jika dibandingkan dengan simulasi adaptasi $clo = 1,0(A2)$ dan $clo = 1,0(B2)$. Walaupun pengaruhnya tidak begitu besar, akan tetapi simulasi adaptasi ini dapat memberikan alternatif cara beradaptasi terhadap tingkat kenyamanan termal.

Sebuah simulasi adaptasi tidak selamanya dapat meningkatkan tingkat kenyamanan termal, hal ini tergantung dari besaran simulasi adaptasi yang digunakan. Jika diperhatikan hasil simulasi pada Gambar 4 hingga 6, pada umumnya simulasi adaptasi yang dilakukan akan mengalami penurunan seiring dengan periode waktunya. Hasil simulasi adaptasi terbesar terjadi pada periode 1961–1990 dan paling kecil pada periode 2071–2100. Hal ini menunjukkan kemampuan besaran simulasi adaptasi untuk menurunkan suhu sehingga dapat meningkatkan tingkat kenyamanan termalnya pada periode 1961–1990 lebih besar dibandingkan periode 2071–2100 (dalam perubahan iklim temperatur udara periode 2071–2100 lebih besar daripada periode 1961–1990) sehingga perlu adanya modifikasi-modifikasi simulasi adaptasi lainnya (misal: penambahan kecepatan angin menjadi 2 m/det). Pengaruh suatu simulasi adaptasi juga tergantung dari kategori tingkat kenyamanan termalnya, sebagai contoh simulasi adaptasi $T_a = T_r$ dan $w+1$ sangat baik pengaruhnya pada tingkat kenyamanan termal kategori nyaman tetapi kurang baik pada tingkat kenyamanan termal kategori hangat.

KESIMPULAN

Perubahan iklim yang terjadi menyebabkan bergesernya nilai PET menjadi lebih tinggi dan menurunkan tingkat kenyamanan termal di Kota Padang. Secara umum tingkat kenyamanan termal di Kota Padang pada periode 1961–2100 berada pada kategori tidak nyaman. Simulasi adaptasi $T_a = T_r(A2)$, $T_a = T_r(B2)$, $w+1(A2)$ dan $w+1(B2)$ memberikan pengaruh yang besar dalam meningkatkan frekuensi terjadinya tingkat kenyamanan

termal kategori nyaman dan mengurangi frekuensi terjadinya tingkat kenyamanan termal kategori tidak nyaman dibandingkan dengan simulasi-simulasi adaptasi lainnya.

Besarnya pengaruh suatu simulasi adaptasi yang diterapkan tergantung pada periode waktu dan kategori tingkat kenyamanan termalnya. Suatu simulasi adaptasi akan lebih besar hasilnya pada periode 1961–1990 dibandingkan periode 2071–2100 dan akan lebih besar pengaruhnya pada tingkat kenyamanan termal kategori nyaman dibandingkan pada kategori hangat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada Bapak Prof. Masno Ginting, M.Sc yang telah membimbing dalam pembuatan makalah ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Sangkertadi. 1998. “Simulasi Kenyamanan Termal Untuk Lingkungan Beriklim Tropis Lembab”. *Dimensi Arsitektur* Vol. 26:35–40.
- ²Matzarakis A, Mayer H dan Iziomon MG. 1999. “Application of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature”. *Int J Biometeorol* 43:76–84.
- ³Emmanuel, Rohinton. 2009. “Sustainable Urbanity and Urban Climate Change: Amelioration of UHI’s as a Quality-of-Life Agenda for Tropical Mega-Cities Climate Change and Urban Bioclimate: Adaptation Possibilities”. *The Seventh International Conference on Urban Climate*. Yokohama 29 Juni–3 Juli.
- ⁴Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001 : The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 881.
- ⁵Nakicenovic, N., D. Davidson, A. Grubler, T. Kram. E.L. La Rovere, B. Metz, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, A. Sankovski, P. Shukla, R. Swarrt, R. Waston, Z. Dadi. 2000. *IPCC Special Report on Emission Scenario*. Cambridge University Press, Cambridge.
- ⁶Matzarakis, A dan Endler C. 2009. “Climate Change and Urban Bioclimate: Adaptation Possibilities. *The seventh International Conference on Urban Climate*. Yokohama 29 Juni–3 Juli

⁷http://www.ipcc-data.org/sres/cgcm2_download.html, diakses tanggal 14 April 2010.

⁸Wilby, Robert L dan Dawson, Christian W. 2004. *Using SDSM Version 3.1—A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts*. Canadian Climate Impacts Scenarios (CCIS) Project and Environment Agency of England and Wales

⁹<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>, diakses tanggal 23 Maret 2010.

¹⁰Matzarakis A, Rutz F dan Mayer H. 2007. “Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments – Application of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 52:323–334.

¹¹Matzarakis, Andreas. 2009. “Additional Features of the RayMan Model”. *The seventh International Conference on Urban Climate*. Yokohama 29 Juni–3 Juli.

