

INFRASTRUKTUR

APLIKASI MODEL MANN-KENDALL DAN SEN'S (MAKESENS) UNTUK MENDETEKSI PERUBAHAN IKLIM

Application Model Mann-Kendall and Sen's (Makesens) to Detect Climate Change

I Wayan Sutapa

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : wsutapa@yahoo.com; HP. 08164304590

ABSTRACT

Various scientific studies illustrate that carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere layer that is a consequence of the result of the combustion of coal, timber, oil and gas, has increased by almost nearing 20 % since the start of the industrial revolution. Industrial area are built almost in the entire continent of the world has resulted in waste of "Greenhouse Gases (GHG) such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrousoksida (N₂O) that caused the blanket effect. The purpose of this research was to detect the presence or absence of climate change and determine the projected climate change due to global warming. This research was conducted in the city of Palu, Central Sulawesi, using daily data and analyzed on a daily, monthly and yearly. Trend projections of climate change and changes in the method of analysis Makesens (Mann - Kendall and Sen 'S). The conclusion of this research is the change of climate in the city of Palu is characterized by slowly increasing temperature , increased precipitation and decreased evapotranspiration and the results of the calculation value of Z indicates Makesens method occurs climate trend, either positive direction (increasing) and negative (decreasing). Regression equation projected annual average temperature (as an example) is; $f(\text{year}) = 0.018 (\text{year} - \text{first year}) + 26.931$.

Keywords: climate change, Makesens, Palu

ABSTRAK

Berbagai penelitian ilmiah menggambarkan bahwa karbondioksida (CO₂) di lapisan atmosfer yang merupakan konsekuensi hasil sisa pembakaran dari batu bara, kayu hutan, minyak dan gas, telah meningkat hampir mendekati angka 20% sejak dimulainya revolusi industri. Kawasan perindustrian yang dibangun hampir di seluruh daratan benua dunia telah menghasilkan limbah "Gas Rumah Kaca (GRK) seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrousoksida (N₂O) yang menyebabkan terjadinya efek selimut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi ada tidaknya perubahan iklim dan menentukan proyeksi perubahan iklim akibat pemanasan global. Penelitian ini dilakukan di Kota Palu, Sulawesi Tengah dengan menggunakan data harian dan dianalisis secara harian, bulanan dan tahunan. Trend perubahan iklim dan proyeksi perubahan di analisis dengan Metode Makesens (Mann-Kendall dan Sen'S). Kesimpulan dari penelitian ini adalah terjadi perubahan iklim di Kota Palu yang ditandai dengan peningkatan temperatur secara perlahan, peningkatan curah hujan dan penurunan evapotranspirasi serta hasil perhitungan nilai Z dengan metode Makesens menandakan terjadi trend iklim, baik ke arah positif (naik) maupun negative (menurun). Persamaan garis regresi proyeksi temperatur rerata tahunan (sebagai contoh) adalah; $f(\text{tahun}) = 0,018 (\text{tahun} - \text{tahun awal}) + 26,931$

Kata Kunci : perubahan iklim, Makesens, Kota Palu

PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Fenomena telah terjadinya perubahan iklim tidak dapat lagi dipertentangkan. Berbagai penelitian ilmiah menggambarkan bahwa karbondioksida (CO₂) di lapisan atmosfer yang merupakan konsekuensi hasil sisa pembakaran dari batu bara, kayu hutan, minyak dan gas, telah meningkat hampir mendekati angka 20% sejak dimulainya revolusi industri. Kawasan perindustrian yang dibangun hampir di seluruh daratan benua dunia telah menghasilkan limbah "Gas Rumah Kaca (GRK) seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄)

dan nitrousoksida (N₂O) yang menyebabkan terjadinya efek selimut. Selubung GRK yang terbentuk secara alami di lapisan troposfer, kurang dari 1% dari komposisi atmosfer keseluruhan, memiliki fungsi yang vital untuk iklim di bumi. Ketika energi matahari dalam bentuk gelombang tampak masuk dan menghangatkan permukaan bumi, bumi yang jauh lebih dingin dari matahari kemudian mengemisikan energi tersebut kembali ke angkasa dalam bentuk gelombang inframerah atau thermal. GRK akan menghalangi radiasi inframerah tersebut agar tidak kembali ke angkasa. Efek inilah yang kemudian memicu peningkatan temperatur

udara bumi secara global dari tahun ke tahun secara signifikan. Fenomena ini dikenal sebagai pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim di bumi.

Kenaikan temperatur telah mempercepat siklus hidrologi. Atmosfer yang lebih hangat akan menyimpan lebih banyak uap air sehingga menjadi kurang stabil dan menghasilkan lebih banyak presipitasi terutama dalam bentuk hujan lebat. Panas yang lebih besar juga mempercepat proses evaporasi. Dampak dari perubahan-perubahan tersebut dalam siklus air adalah menurunnya kuantitas dan kualitas air bersih di dunia. Sementara itu, pola angin dan jejak badai juga akan berubah. Intensitas siklon tropis akan semakin meningkat (namuntidak berpengaruh terhadap frekwensi siklon tropis), dengan kecepatan angin maksimum yang bertambah dan hujan yang semakin lebat.

Observasi lapangan dari stasiun meteorologi di Kutub Utara telah menunjukkan adanya peningkatan temperatur tahunan hingga 1°C dalam satu generasi terakhir. Dampak buruk dari meningkatnya suhu tersebut adalah melelehnya gletser (*melting of glaciers*) dan tenggelamnya bongkahan es di wilayah Alaska dan Siberia, sehingga dapat menyebabkan naiknya permukaan laut hingga mampu menenggelamkan pulau-pulau dan menimbulkan banjir besar di berbagai wilayah dataran rendah (Gunther Weller dan Patricia Anderson, 1998).

Bukti-bukti tentang perubahan iklim telah dilaporkan secara sistimatis oleh sumber-sumber resmi, diantaranya: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPPC), *The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) dan *World Wide Fund* (WWF) Indonesia. IPCC dalam laporan ke-3 (*Third Assessment Report*, Houghton et al., 2001 dalam Guobin Fu et al., 2007) menyatakan bahwa temperatur rerata global diproyeksikan naik menjadi 1,4 – 5,8°C antara tahun 1990 sampai 2100. Sebuah skenario perubahan iklim (WWF Indonesia dan IPCC, 1999) memperkirakan bahwa temperatur akan meningkat antara 1.3°C sampai dengan 4.6°C sampai tahun 2100 dengan *trend* sebesar 0.1°C – 0.4°C per tahun.

Penelitian ini dibuat untuk mendeteksi ada tidaknya perubahan iklim dan menentukan proyeksi perubahan iklim akibat pemanasan global dengan menggunakan model Mann-Kendall dan Sen's (Makesens)

b. Tinjauan Pustaka

Iklim cenderung berubah oleh ulah manusia dan aktivitas manusia seperti urbanisasi, deforestasi,

industrialisasi, dan oleh aktivitas alam seperti pergeseran kontinental, letusan gunung api, perubahan orbit bumi terhadap matahari, noda matahari dan peristiwa El Nino. Perubahan iklim baru dapat diketahui setelah periode waktu yang panjang, para ahli klimatologi menggunakan istilah kecenderungan iklim (*climatic trend*). Untuk mengetahui perubahan iklim diperlukan pemodelan iklim dengan beberapa alasan diantaranya (LAPAN, 2009):

- Keadaan planet bumi yang berubah sepanjang sejarah, misalnya awal musim hujan atau kemarau yang bergeser
- Model statistik atau empiris belum mampu memenuhi kebutuhan perkiraan perubahan musim atau iklim yang diperlukan, misalnya dalam bidang pertanian

Model statistik atau empiris juga belum sepenuhnya memperhitungkan pengaruh kegiatan manusia yang juga turut berperan dalam perubahan iklim.

1) Deteksi Perubahan Iklim

Untuk mengetahui *trend* data iklim, maka ditentukan data minimum harian, rerata dan maksimum untuk data iklim. Kemudian dianalisis menggunakan Mann – Kendall analysis (Onoz dan Bayazit, 2003; Sheng dan pilon, 2004 dalam Lorena et al., 2010; Shengping Wang et al., 2008; Aksu. Hakan et al., 2010)

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

$$\sigma_s = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (2)$$

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sigma_s & \text{jika } S > 0 \\ 0 & \text{jika } S = 0 \\ (S+1)/\sigma_s & \text{jika } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Dimana X_j dan X_k adalah data nilai data “j” dan “k”, $j > k$

Setelah dilakukan deteksi ada tidaknya trend peningkatan atau penurunan dengan uji Mann-Kendall, maka untuk mengetahui besaran trend digunakan metode non parametric Sen's (Timo et. Al, 2002; RC Deo et. All, 2005) dengan asumsi trendnya linier, prosedurnya mulai persamaan 1 s/d 3. Kedua metode tersebut digabungkan sehingga disebut metode Makesens.

$$f(t) = Qt + B \quad (4)$$

dimana: Q adalah slope dan B adalah konstanta

Untuk memperoleh slope estimasi Q dalam persamaan (4), maka pertama perlu dihitung slope untuk semua data dengan persamaan:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad (5)$$

dimana $j > k$. Jika ada "n" nilai " X_j " dalam time series, maka didapat sebanyak $N = n(n-1)/2$ slope estimasi Q_i . Estimasi slope Sens adalah median dari N nilai Q_i . Nilai N dari Q_i adalah ranking dari kecil ke besar, dengan estimasi Sens adalah: $Q = Q_{[(N+1)/2]}$ jika N adalah ganjil

atau

$$Q = 0,5 (Q_{(N/2)} + Q_{(N+2)/2}) \quad (6)$$

(jika N adalah genap)

Untuk memperoleh estimasi B pada persamaan (4), nilai n data dari perbedaan $(X_i - Q_i)$ dihitung. Median dari nilai ini adalah estimasi B

2) Evapotranspirasi potensial

Perhitungan Evapotranspirasi potensial (ET_0) dibuat secara bulanan dengan menggunakan metode Penman Monteith. Metode ini lebih dapat dipercaya karena dalam perhitungannya selain membutuhkan data iklim yang benar-benar terjadi di suatu tempat (disebut sebagai data terukur), juga memasukkan faktor-faktor energi. Berikut data terukur untuk perhitungan evapotranspirasi potensial Metode Penman Monteith, yaitu :

- t , temperatur/suhu bulanan rerata ($^{\circ}\text{C}$)
- RH, kelembaban relatif bulanan rerata (%)
- n/N , kecerahan matahari bulanan rerata (%)
- U, kecepatan angin bulanan rerata (m/detik)
- LL, letak lintang daerah yang ditinjau

Persamaan empiris dalam perhitungan evapotranspirasi potensial metode Penman Monteith ini adalah (Nugroho Hadisusanto, 2011; Allen G. Richard, 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta R_n + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (7)$$

dalam hal ini :

$$\begin{aligned} ET_0 &= \text{Evapotranspirasi potensial (mm/hari)} \\ R_n &= \text{radiasi matahari netto di atas permukaan tanaman (MJ/m}^2\text{/hari)} \\ T &= \text{suhu udara rerata (}^{\circ}\text{C)} \\ U_2 &= \text{kecepatan angin pada ketinggian 2 m dari atas permukaan laut (m/dt)} \\ e_s &= \text{tekanan uap air jenuh (kPa)} \\ &= 0,61 \exp \frac{17,27T}{T + 237,3} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} e_a &= \text{tekananan uap air aktual (kPa)} \\ &= e_s \cdot RH \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Delta = \text{kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu (kPa/}^{\circ}\text{C)}$$

$$\gamma = \text{konstanta psikometrik (kPa/}^{\circ}\text{C)}$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (10)$$

$$R_{ns} = \text{radiasi gelombang pendek, (MJ/m}^2\text{/hari)}$$

$$R_{nl} = \text{radiasi gelombang panjang (MJ/m}^2\text{/hari)}$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (11)$$

$$\alpha = \text{koefisien pantulan radiasi tajuk (nilainya 0,23 sampai 0,25)}$$

$$R_s = \text{radiasi matahari (MJ/m}^2\text{/hari)}$$

$$\begin{aligned} &= \left(0,25 + 0,50 \times \frac{n}{N} \right) \times R_a \\ &= \text{matahari ekstraterrestrial (MJ/m}^2\text{/hari)} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} R_a &= \text{matahari ekstraterrestrial (MJ/m}^2\text{/hari)} \\ &= 37,6 \text{ dr (ws sin } \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \sin \text{ws}) \end{aligned} \quad (13)$$

$$n = \text{rerata lamanya matahari bersinar (jam)}$$

$$N = \text{lama maksimum matahari bersinar dalam satu hari (jam)}$$

$$\begin{aligned} \text{ws} &= \text{sudut saat matahari terbenam (rad)} \\ &= \arccos (-\tan \Phi \tan \delta) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{dr} &= \text{jarak relative antara bumi dan matahari} \\ &= 1 + 0,033 \cos(0,0172J) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\delta = \text{sudut deklinasi matahari} = 0,409 \sin(0,0172J - 1,39)$$

$$\Phi = \text{letak lintang (rad), jika berada pada lintang utara nilainya positif pada lintang selatan nilainya negative}$$

$$J = \text{nomor urut hari dalam setahun}$$

$$J_{\text{bulanan}} = \text{Integer}(30,42 M - 15,23) \quad (17)$$

$$J_{\text{harian}} = \text{Integer}(275 (M/9) - 30 + D) - 2 \quad (18)$$

$$M = \text{bulan (1 - 12)}$$

$$D = \text{hari dalam bulan (1 - 31)}$$

Jika tahun normal dan $M < 3$, maka nilai J ditambah nilai 2, Jika tahun kabisat dan $M > 2$, J ditambah nilai 1

$$\begin{aligned} \epsilon &= \text{emisivitas atmosfer} \\ &= 0,34 - 0,14 \cdot e_a^{0,5} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\sigma = \text{konstanta Stefan-Boltzman} = 4,90 \times 10^{-9} \text{ MJ/m}^2\text{/K}^4\text{/hari}$$

$$T_k = \text{suhu udara (}^{\circ}\text{K)}$$

$$\begin{aligned} f &= \text{faktor penutupan awan} \\ &= 0,9 (n/N) + 0,1 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\Delta = \text{kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu udara}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \\ &= \end{aligned} \quad (21)$$

$$\gamma = 0,00163 \frac{P}{\lambda} \quad (22)$$

$$P = \text{tekanan atmosfer (kPa)}$$

$$= 101,3 \times \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (23)$$

$$z = \text{elevasi (m)}$$

$$\lambda = \text{panas laten untuk penguapan (MJ/kg)}$$

$$= 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T \quad (24)$$

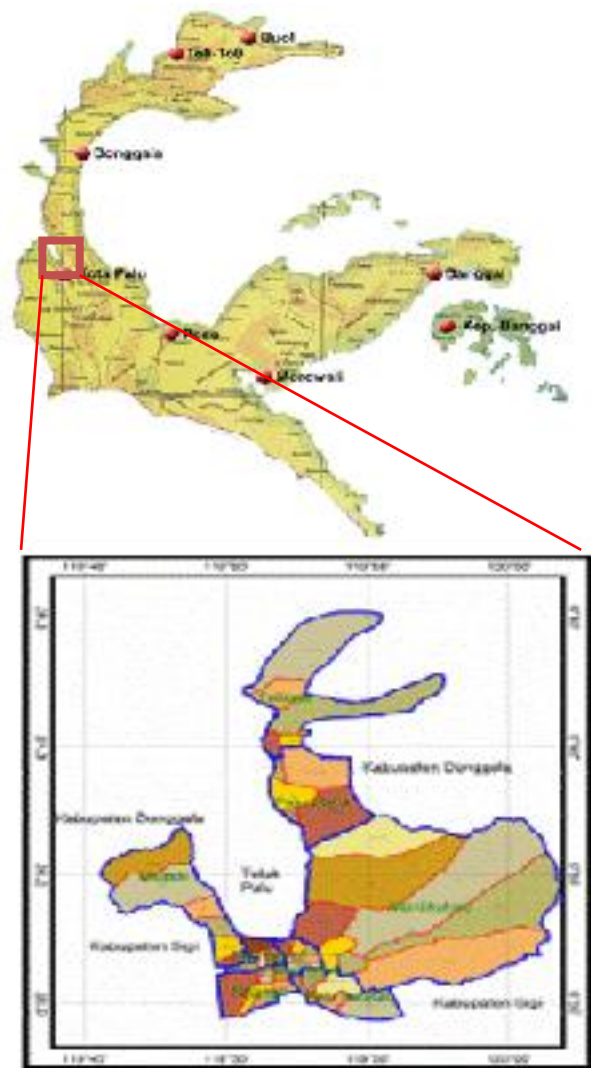
$$R_{n1} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_k^4 \quad (25)$$

$$U_2 = U_z \left(\frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \right)$$

U_z = kecepatan angin pada ketinggian z (m/dt)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah, yang secara geografis terletak antara $00^{\circ} 35' - 00^{\circ} 56'$ LS dan $119^{\circ} 45' - 121^{\circ} 01'$ BT, dengan luas wilayah $395,06 \text{ km}^2$. Lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.

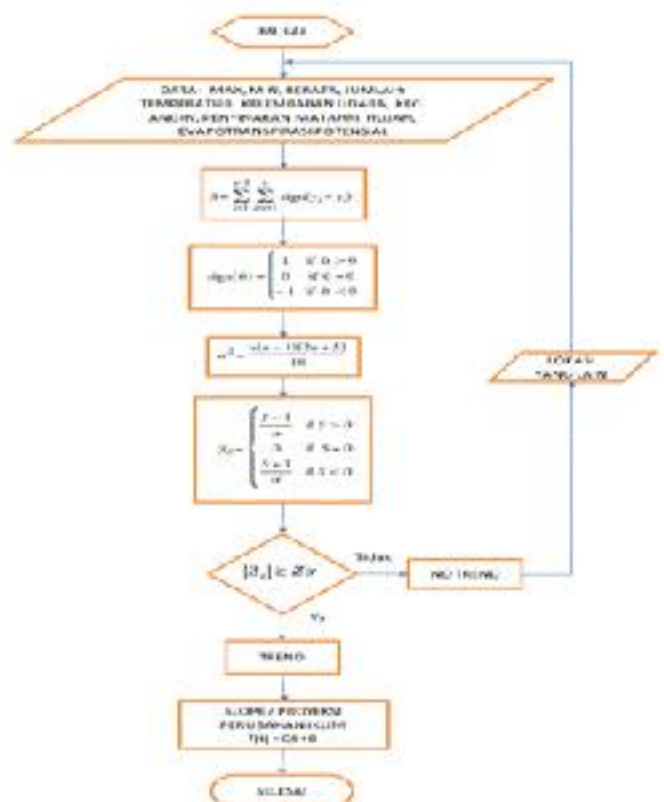


Gambar 1. Lokasi penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dari stasiun Bandara Mutiara Palu yang terdiri dari: 1) Data hujan harian maksimum (1990 – 2013); 2) Data hujan bulanan (1990 – 2013); 3) Data klimatologi (temperatur, kelembaban udara, radiasi matahari, kecepatan angin (1980-2013).

Untuk menyelesaikan penelitian ini dapat dilakukan tahapan berikut:

- 1) Menghitung evapotranspirasi potensial (ET_o) dilakukan dengan bantuan *software CROPWAT 8 for Windows*. Data yang dibutuhkan adalah temperatur (T), kelembaban relatif (RH), kecepatan angin (V) dan penyinaran matahari (SH).
- 2) Menghitung trend data iklim dan hujan dengan menggunakan model Mann – Kendall. Data yang digunakan berupa data temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin, penyinaran matahari, hujan harian maksimum dan hujan bulanan.
- 3) Setelah dilakukan deteksi ada tidaknya trend



Gambar 2. Algoritma trend iklim dan proyeksi perubahannya

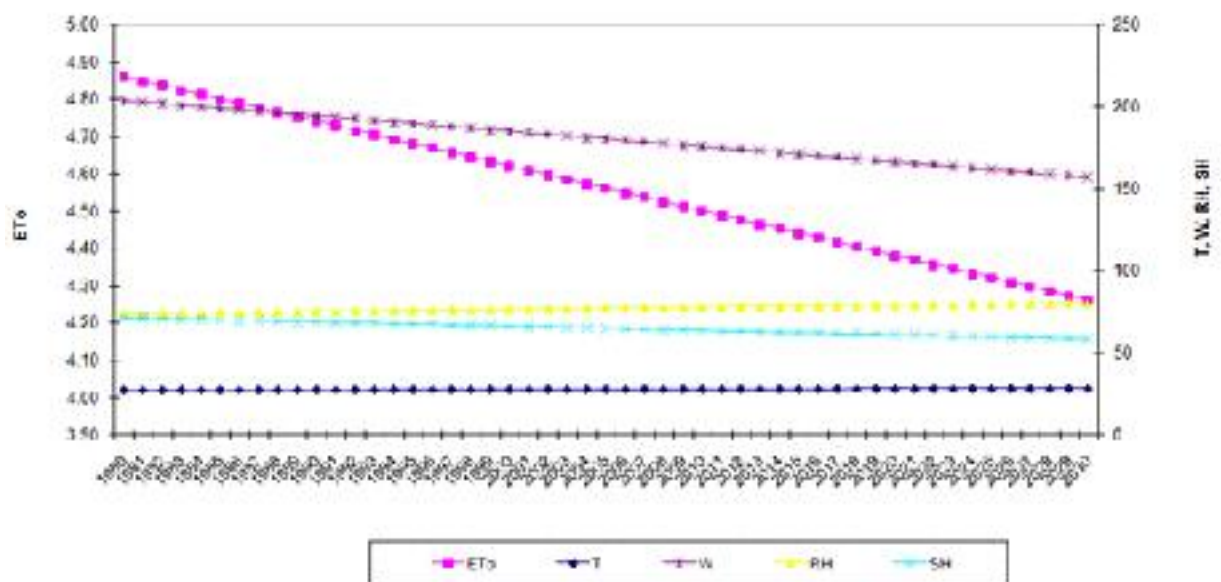
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan evapotranspirasi potensial dengan metode Penman Monteith dengan bantuan *software Cropwat-8 for windows* disajikan pada

Tabel 1 dan grafik hubungan antara evapotranspirasi potensial (ET_o) dengan temperatur (T), kecepatan angin (V), kelembaban udara (RH) dan penyinaran matahari (SH) disajikan pada **Gambar 3**.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungan evapotranspirasi potensial

No.	Tahun	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	BERATA
1	1980	4.46	4.34	4.65	4.55	4.62	3.56	4.05	4.54	5.79	5.24	5.03	4.47	4.72
2	1981	4.7	4.75	5.48	4.78	4.78	4.38	4.55	5.47	4.72	4.93	4.53	4.37	4.77
3	1982	4.57	4.58	4.64	4.92	4.76	4.44	3.55	3.64	3.98	5.76	5.77	5.2	5.25
4	1983	5.02	5.89	5.83	5.99	4.41	5.21	3.47	4.69	5.39	5.66	5.1	4.63	5.09
5	1984	4.89	4.07	5.02	4.86	4.82	3.5	3.54	3.06	3.88	5.24	5.57	5.08	4.98
6	1985	4.77	5.11	5.11	5.02	4.56	4.22	3.88	4.31	4.76	4.86	4.72	4.83	4.59
7	1986	4.54	4.02	4.51	5.46	5.24	4.40	4.91	5.98	5.89	5.40	4.63	5.25	5.12
8	1987	4.26	5.02	5.8	5.52	4.88	5.62	5.97	5.7	6.83	7.66	5.68	5.31	5.54
9	1988	5.79	4.74	5.7	5.74	4.3	4.14	3.76	4.74	4.76	4.69	4.64	3.67	4.85
10	1989	4.4	4.23	4.47	4.85	5.17	4.15	4.04	4.5	4.84	4.65	3.54	3.85	4.54
11	1990	4.12	5.14	5.08	4.9	4.54	4.57	4.54	4.82	5.11	5.89	5.53	4.25	4.75
12	1991	4.11	4.06	5.05	4.75	3.59	4.22	4.23	5.15	5.75	5.16	5.17	4.87	4.73
13	1992	4.88	4.93	5.35	5.31	4.76	4.13	4.03	5.02	4.87	4.56	4.73	4.23	4.74
14	1993	4.99	4.97	4.97	4.45	4.85	4.25	4.23	5.18	5.47	5.33	4.66	4.77	4.74
15	1994	4.81	4.85	3.95	4.35	4.11	3.7	4.38	4.83	5.27	5.73	5.18	4.17	4.57
16	1995	4.93	4.16	4.44	4.25	4.42	3.82	3.87	4.5	4.32	4.84	5.14	4.75	4.15
17	1996	4	4.04	5.31	4.43	4.52	3.78	3.78	4.45	4.43	4.45	4.28	3.74	4.27
18	1997	4.1	5.05	4.42	4.82	4.62	5	4.22	5.63	5.0	5.65	4.92	4.65	4.92
19	1998	5.28	5.52	5.94	4.65	4.34	3.94	4	4.03	4.56	4.74	3.71	4.12	4.57
20	1999	3.88	4.49	4.48	4.43	4.15	3.85	3.97	4.58	4.98	4.87	4.17	4.67	4.17
21	2000	4.25	4.52	4.85	4.85	4.86	4.02	4.2	4.68	5.48	4.87	4.61	4.35	4.63
22	2001	4.54	4.45	4.88	4.84	4.41	4.25	4.65	5.22	5.16	5.09	5.72	4.58	4.72
23	2002	4.48	4.8	4.8	5.01	4.54	4.33	4.92	5.56	5.8	5.17	5.03	5.1	5.05
24	2003	4.67	4.67	5	4.92	4.67	5.1	4.49	5.15	5.31	5.66	5.34	4.14	4.95
25	2004	4.98	4.21	5.05	4.88	4.45	4.72	4.11	5.49	5.85	5.84	5.43	5.1	5.05
26	2005	4.77	4.74	5.46	4.48	4.01	3.56	4.06	5.01	5.01	4.95	4.01	3.45	4.17
27	2006	4.5	4.59	4.28	3.98	4.47	3.74	5.1	5.22	5.3	5.12	5.35	5.25	4.75
28	2007	4.26	4.53	5.7	4.77	4.54	4.23	4.1	4.01	4.25	5.21	5.12	5.52	4.55
29	2008	4.2	4.24	4.25	4.26	3.52	3.84	3.51	3.67	4.47	4.5	4.61	3.93	4.11
30	2009	4.38	4.21	4.56	4.55	4.29	4.04	4.25	5.23	5.88	5.17	5.05	4.65	4.72
31	2010	4.74	5.14	5.44	4.85	4.48	4.11	3.55	4.14	4.58	4.33	4.74	4.14	4.34
32	2011	4.23	3.89	4.08	4.54	4.73	4.02	4.11	4.48	4.28	5.07	4.19	3.83	4.25
33	2012	3.46	4.36	4.59	4.56	4.24	4.16	3.61	4.26	4.98	5.14	4.62	4.52	4.37
34	2013	4.36	4.35	5.35	4.68	4.07	4.39	3.52	4.02	3.92	4.82	4.54	4.22	4.34



Sumber: Hasil perhitungan

Gambar 3. Grafik hubungan antara ET_o dengan T, V, RH, SH

Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa besarnya evapotranspirasi potensial Kota Palu berkisar antara 3,31 mm/hari (Juli 2008) sampai 7,0 mm/hari (Oktober 1987) dan dengan rerata antara 4,11 – 5,64 mm/hari. Pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa terjadi trend penurunan evapotranspirasi potensial (ETo) dari tahun pengamatan (1980 – 2013) dan berlanjut sampai proyeksi tahun 2030. ETo ini berbanding lurus dengan kecepatan angin dan lama penyinaran matahari (trend menurun) dan berbanding terbalik dengan temperatur (T) dan kelembaban udara (RH) (trend naik tetapi tidak terlalu tajam). Secara umum semestinya bahwa kenaikan temperatur akan berbanding lurus dengan naiknya penguapan. Namun dalam hal ini, jika diperhatikan persamaan (7) dimana ETo tidak berbanding lurus dengan temperatur (T) tetapi berbanding lurus dengan penyinaran matahari (SH) dan kelembaban udara (RH). Hal ini menandakan bahwa penguapan dipengaruhi oleh semua faktor iklim.

Hasil perhitungan trend iklim dengan bantuan software Makedens disajikan pada Tabel 2, 3 dan 4 berikut. Trend iklim menggunakan taraf signifikan (α) = 5% dimana dari tabel Z normal didapat $Z_{0,05} = 1,96$. Dengan harga ini maka penentuan ada tidaknya trend/perubahan iklim dengan ketentuan: 1). Jika harga mutlak $|Z_{hit}| > Z\alpha$ berarti ada trend dan signifikan; 2). Jika $Z_{hit} < Z\alpha$ berarti ada trend tetapi tidak signifikan; 3). Jika $Z_{hit} = 0$ berarti tidak ada trend. Tanda positif Z_{hitung} menandakan trend naik dan tanda negative Z_{hitung} menandakan terjadi trend menurun. Dengan kriteria ini maka ada tidaknya trend dan naik turunnya trend data iklim dan hujan dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Temperatur minimum tahunan, terjadi trend naik dan signifikan (Positif and Yes Significans, PYS)
- 2) Temperatur rerata tahunan, terjadi trend naik dan signifikan (Positif and Yes Significans, PYS)
- 3) Kecepatan angin rerata tahunan, terjadi trend menurun tetapi tidak signifikan (Negatif and No Significans, NNS)
- 4) Kecepatan angin maksimum tahunan, terjadi trend menurun tetapi tidak signifikan (Negatif and No Significans, NNS)

- 5) Penyinaran matahari rerata tahunan, terjadi trend menurun dan signifikan (Negatif and Yes Significans, NYS)
- 6) Kelembaban relative minimum tahunan, terjadi trend positif tetapi tidak signifikan (Positif but No Significans, PNS)
- 7) Kelembaban relative rerata tahunan, terjadi trend positif dan signifikan (Positif and Yes Significans, PYS)
- 8) Kelembaban relative maksimum tahunan, terjadi trend positif tetapi tidak signifikan (Positif but No Significans, PNS)
- 9) Evapotranspirasi potensial rerata tahunan, terjadi trend negative dan signifikan (Negatif and Yes Significans, NYS)
- 10) Hujan harian maksimum tahunan, terjadi trend positif tetapi tidak signifikan (Positif No Signifikans, PNS)
- 11) Hujan rerata bulanan, terjadi trend positif tetapi tidak signifikan (Positif but No Signifikans, PNS)
- 12) Hujan tahunan, terjadi trend positif tetapi tidak signifikan (Positif but No Signifikans, PNS)

Setelah dideteksi ada tidak trend iklim dengan metode Mann-Kendall, maka untuk menentukan besaran trend digunakan metode Sen's dengan asumsi trendnya linier. Hasil perhitungan besaran trend disajikan pada Tabel 3. Selanjutnya dari parameter trend ini dapat dibuat persamaan garis regresi yang mengikuti ketentuan: $f(\text{tahun}) = Q(\text{tahun} - \text{tahun awal}) + B$. Sebagai contoh untuk temperatur rerata tahunan, dari Tabel 3 didapat nilai $Q = 0,018$ dan $B = 26,931$, maka persamaan garis regresinya menjadi: $f(\text{tahun}) = 0,018(\text{tahun} - \text{tahun awal}) + 26,931$, dimana $f(\text{tahun})$: merupakan data temperatur rerata dari tahun yang hendak dicari, misalnya tahun 2030; tahun awal: merupakan tahun awal pengamatan (1980). Jadi persamaan garis regresinya: $F(2030) = 0,018(2030 - 1980) + 26,931 = 27,831$. Artinya temperatur rerata tahun 2030 menurut Sen's adalah $27,831^{\circ}\text{C}$. Dengan menggunakan persamaan regresi pada Tabel 4, maka dapat dihitung besaran data iklim dan hujan menurut Sen's. Hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 5 (sebagai contoh).

Tabel 2. Rekapitulasi trend iklim dengan metode Makesens

No.	Urutan	Awal	Akhir	n	Nilai "Z" dan Trend											
					Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
1	Temperatur, T (°C)															
	Test Z, Min Bulanan	1960	2013	34	1.97	2.71	2.16	1.52	1.25	2.0	0.8	2.20	0.72	1.56	2.7	2.25
					PYS	PYS	PYS	PNS	PNS	PYS	PNS	PYS	PYS	PNS	PYS	PNS
	Test Z, Min Tahunan	1960	2013	34	2.55 PYS											
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	31	2.88	0	0.83	0.21	1.5	0.03	1.02	1.53	0.83	1.2	0.83	2.21
					PYS	NT	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PYS
	Test Z, Rata Tahunan	1960	2013	34	2.43 PYS											
2	Kes. Angin, W (km/hr)															
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	34	-1.06	-0.72	-0.75	-1.3	-1.12	-0.99	-0.44	-0.99	-0.47	-1.07	-1.28	-1.38
					NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS
	Test Z, Rata Tahunan	1960	2013	34	-1.27											
	Test Z, Maks Bulanan	1960	2013	31	-0.45	-0.03	-0.23	-1.32	-1.2	-0.95	-0.56	-1.51	-1.00	-0.42	-1.63	0.62
					NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	PNS
	Test Z, Maks Tahunan	1960	2013	34	-1.29 NYS											
3	Penghujan, Hujan, SH (%)															
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	34	-1.65	-1.07	-1.87	-2.42	-1.07	-0.95	-1.09	-1.53	-1.04	-1.53	-1.98	-2.10
					NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS
4	Kelambahan Relatif, RH (%)															
	Test Z, Min Bulanan	1960	2013	34	1.00	0	0.54	0.93	1.01	0.91	0.36	2.10	1.19	1.19	1.03	0.85
					PNS	NT	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PYS	PNS	PNS	PNS	PNS
	Test Z, Min Tahunan	1960	2013	34	0.41 PNS											
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	31	2.14	0.52	1.62	1.32	2.58	1.34	1.19	1.72	1.41	1.43	1.32	0.94
					PYS	PNS	PNS	PNS	PYS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS
	Test Z, Rata Tahunan	1960	2013	34	2.48 PYS											
5	Penguapan, penguapan (PP, mm/hr)															
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	34	-2.59	-1.05	-1.45	-1.6	-2.14	-0.90	-1.07	-1.45	-1.45	-1.20	-1.42	-1.01
					NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS	NYS
6	Hujan Harian Maksimum (mm)															
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	34	0.57	0.12	0.62	1.89	-3.03	1.98	0.70	1.36	1.66	-0.5	1.07	-0.16
					PNS	PNS	PNS	PNS	NYS	PYS	PNS	PYS	PNS	NYS	PNS	NYS
7	Hujan Bulanan (mm)															
	Test Z, Bulanan	1960	2013	31	1.21	0.27	0.65	1.54	1.76	1.58	0.27	1.42	1.74	0.1	1.31	0.5
					PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS	PNS
8	Hujan Tahunan (mm)															
	Test Z, Tahunan	1960	2013	24	1.72 PNS											
	Test Z, Rata Bulanan	1960	2013	24	1.72 PNS											

Keterangan
 PYS = Trend naik dan signifikan
 PNS = Trend naik tetapi tidak signifikan
 NYS = Trend turun dan signifikan
 NNS = Trend turun tetapi tidak signifikan
 NT = Tidak ada trend

$Z_{\alpha} > Z_{\alpha}$ Yes significant (YS)
 $Z_{\alpha} < Z_{\alpha}$ No significant (NS)
 $Z = 0$ No trend (NT)
 Tabel Z standar normal
 $Z_{\alpha} = 1.96$ $\alpha = 5\%$

PYS =
 PNS =
 NYS =
 NNS =
 NT =

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 3. Parameter Makesens

Bulan	Parameter Sens																	
	Suhu Minimum			Suhu Rerata			Suhu Maksimum			Kec. Angin Maks			Kec. Angin Rerata			Penyinaran Matahari Rerata		
	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z
Jan	23.410	0.010	1.970	26.938	0.031	2.576	35.049	0.035	0.323	888.960	0.000	0.448	202.027	0.779	1.059	56.989	0.305	1.552
Feb	23.178	0.016	2.707	26.800	0.000	0.000	35.400	0.067	2.138	888.960	0.000	0.003	210.940	0.551	0.715	58.728	0.237	1.072
Mar	23.829	0.035	2.158	26.911	0.016	0.829	35.007	0.035	0.586	888.960	0.000	0.201	220.163	0.358	0.748	71.675	0.340	1.558
Apr	21.350	0.027	1.517	27.050	0.000	0.202	34.620	0.061	2.226	888.960	0.000	1.324	208.671	-1.331	1.303	73.853	-0.298	-2.820
Mei	21.351	0.026	1.253	27.459	0.018	1.497	35.055	0.041	1.836	914.347	-2.563	-1.200	200.880	-0.888	-1.122	71.677	-0.199	-1.574
Jun	23.685	0.038	2.499	26.900	0.000	0.000	34.866	0.013	0.537	888.960	0.000	-0.947	178.420	-0.661	-0.991	59.505	-0.175	-0.927
Jul	23.925	0.007	0.802	26.117	0.033	1.921	34.676	0.036	0.541	836.873	0.000	-0.562	171.003	-0.464	-0.440	59.789	-0.206	-1.088
Agst	23.382	0.043	2.256	26.594	0.021	1.333	35.200	0.000	0.000	955.838	-3.543	-1.304	196.521	-0.646	-0.994	50.239	-0.273	-1.332
Sep	19.720	0.074	3.516	26.956	0.013	0.393	35.582	0.007	0.227	900.964	-3.256	-1.883	215.928	-0.552	-0.472	78.210	-0.280	-1.040
Oktr	21.150	0.033	1.562	27.481	0.016	1.204	35.433	0.033	1.554	888.960	0.000	-0.422	206.114	-0.543	-1.075	77.001	-0.251	-1.558
Nop	23.924	0.041	2.703	27.277	0.011	0.393	35.023	0.012	0.755	905.850	-1.770	-1.601	208.425	-1.070	-1.285	70.805	-0.185	-0.975
Des	23.760	0.040	2.251	26.503	0.033	2.244	34.625	0.035	1.466	920.264	0.000	0.625	201.516	-0.864	-1.304	58.143	-0.375	-2.150
Min	13.863	0.065	2.554															
Rerata				26.931	0.018	2.433							205.785	-0.536	-1.265	71.148	-0.253	-2.596
Maks							36.217	0.048	2.655	1122.739	-1.648	-1.293						
Jumlah																		

Bulan	Parameter Sens																	
	Kelembaban Udara Maks			Kelembaban Udara Min			Kelembaban Udara Rerata			Evapotranspirasi Rerata			Hujan Harian Maks			Hujan Bulanan		
	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z	B	Q	Z
Jan	95.000	0.041	1.893	40.000	0.000	1.050	74.625	0.129	2.128	4.713	-0.034	-2.287	12.402	0.140	0.571	22.425	1.153	1.315
Feb	95.550	0.000	0.178	41.000	0.000	0.000	75.329	0.398	0.521	5.793	-0.013	-1.053	16.349	0.036	0.128	26.791	0.231	0.278
Mar	95.000	0.000	0.190	43.128	0.083	0.341	75.708	0.116	1.622	5.158	0.035	1.153	12.913	0.228	0.839	35.633	0.398	0.635
Apr	95.000	0.000	-0.153	39.518	0.080	0.929	74.723	0.083	1.321	4.970	0.013	-1.601	7.400	0.900	1.386	31.789	1.896	1.538
Mei	95.000	0.000	0.328	41.845	0.245	1.008	75.866	0.161	2.379	4.733	-0.012	-2.156	30.504	-0.303	-3.020	74.252	-1.655	-1.761
Jun	95.000	0.000	0.999	42.122	0.108	0.919	74.065	0.116	1.320	4.320	-0.006	-0.954	7.038	0.705	1.261	34.230	1.968	1.553
Jul	94.500	0.000	-0.523	43.563	0.073	0.199	76.154	0.109	1.166	4.355	-0.030	-1.068	18.035	0.270	0.794	59.654	0.261	0.273
Agst	92.500	0.000	0.195	33.520	0.500	2.128	71.323	0.157	1.717	5.097	-0.020	-1.453	3.401	0.631	1.905	14.875	1.755	1.413
Sep	92.031	0.669	0.831	38.875	0.250	1.186	70.658	0.158	1.433	5.458	-0.038	-1.453	5.714	0.749	1.503	17.850	2.500	1.737
Oktr	95.000	0.000	-0.147	40.588	0.245	1.186	70.875	0.158	1.431	5.383	-0.013	-1.368	18.611	-0.343	-0.457	35.111	0.027	0.099
Nop	95.000	0.000	0.212	40.774	0.283	1.554	75.284	0.117	1.919	4.963	-0.013	-1.423	11.678	0.222	1.267	37.686	1.221	1.515
Des	94.000	0.000	-0.183	41.717	0.136	0.868	74.798	0.588	0.945	4.574	-0.016	-1.304	17.770	0.000	-0.549	37.195	0.019	0.497
Min				33.741	0.034	0.455												
Rerata							75.091	0.132	2.482	4.561	-0.012	-2.654				44.349	0.586	1.712
Maks	95.000	0.000	0.937										36.504	1.163	1.752			
Jumlah																532.189	9.677	1.712

S

No.	Uraian	Satuan	Persamaan Proyeksi	Rerata Perubahan	
				(°C, mm, km/hr, %)	(%)
1	Suhu Min Tahunan	°C	$f(\text{tahun})=0.053(\text{tahun}-\text{tahun awal})+18,863$	0.06	0.31
2	Suhu Rerata Tahunan	°C	$f(\text{tahun})=0.018(\text{tahun}-\text{tahun awal})+26,931$	0.02	0.07
3	Suhu Maks Tahunan	°C	$f(\text{tahun})=0.048(\text{tahun}-\text{tahun awal})+36,217$	0.05	0.13
4	Kec. Angin Rerata Tahunan	km/hr	$f(\text{tahun})=-0.936(\text{tahun}-\text{tahun awal})+203,785$	-0.94	0.52
5	Kec. Angin Maks Tahunan	km/hr	$f(\text{tahun})=-1.293(\text{tahun}-\text{tahun awal})+1122,739$	-1.65	0.15
6	Penyinaran Matahari Rerata Tahunan	%	$f(\text{tahun})=-0.757(\text{tahun}-\text{tahun awal})+71,148$	-0.25	0.39
7	Kelembaban Udara Min Tahunan	%	$f(\text{tahun})=0.074(\text{tahun}-\text{tahun awal})+33,741$	0.07	0.21
8	Kelembaban Udara Rerata Tahunan	%	$f(\text{tahun})=0.132(\text{tahun}-\text{tahun awal})+73,661$	0.13	0.17
9	Kelembaban Udara Maks Tahunan	%	$f(\text{tahun})=0.000(\text{tahun}-\text{tahun awal})+95,000$	0.00	0.00
10	Evapotranspirasi Rerata Tahunan	mm	$f(\text{tahun})=-0.012(\text{tahun}-\text{tahun awal})+4,861$	-0.01	0.26
11	Hujan Harian Maks Tahunan	mm	$f(\text{tahun})=1.153(\text{tahun}-\text{tahun awal})+36,304$	1.16	1.89
12	Hujan Tahunan	mm	$f(\text{tahun})=9.677(\text{tahun}-\text{tahun awal})+532,189$	9.68	1.28

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 5. Data dan hasil perhitungan temperature rerata tahunan Metode Sen'S

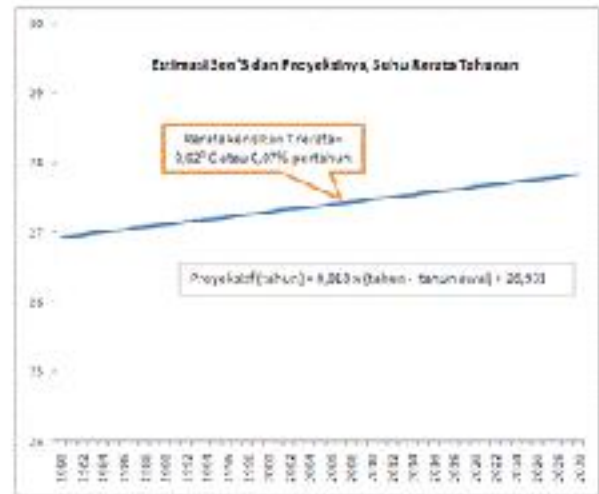
$t(t_{\text{tahun}}) = Q + (t_{\text{tahun}} - t_{\text{tahun awal}}) \cdot a$

B = 26.531
Q = 0.018
Z = 2.43

T rerata tahunan (data dan proyeksi)

Tahun	Data	Tahun	Sen'S	Perubahan
1980	27.08	1980	26.93	
1981	25.17	1981	26.55	0.02
1982	27.07	1982	26.97	0.02
1983	27.86	1983	26.59	0.02
1984	25.41	1984	27.00	0.02
1985	26.56	1985	27.42	0.02
1986	27.10	1986	27.04	0.02
1987	27.93	1987	27.06	0.02
1988	27.25	1988	27.08	0.02
1989	25.79	1989	27.09	0.02
1990	27.23	1990	27.11	0.02
1991	27.13	1991	27.13	0.02
1992	27.16	1992	27.15	0.02
1993	27.15	1993	27.17	0.02
1994	25.89	1994	27.18	0.02
1995	25.49	1995	27.20	0.02
1996	26.81	1996	27.22	0.02
1997	27.08	1997	27.24	0.02
1998	27.42	1998	27.26	0.02
1999	25.53	1999	27.27	0.02
2000	27.34	2000	27.29	0.02
2001	27.02	2001	27.31	0.02
2002	27.91	2002	27.33	0.02
2003	27.46	2003	27.35	0.02
2004	27.51	2004	27.36	0.02
2005	27.13	2005	27.38	0.02
2006	27.29	2006	27.40	0.02
2007	27.29	2007	27.42	0.02
2008	25.58	2008	27.44	0.02
2009	27.57	2009	27.45	0.02
2010	27.71	2010	27.47	0.02
2011	27.98	2011	27.49	0.02
2012	27.51	2012	27.51	0.02
2013	27.53	2013	27.53	0.02
2014	27.54	2014	27.54	0.02
2015	27.56	2015	27.56	0.02
2016	27.58	2016	27.58	0.02
2017	27.60	2017	27.60	0.02
2018	27.62	2018	27.62	0.02
2019	27.63	2019	27.63	0.02
2020	27.65	2020	27.65	0.02
2021	27.67	2021	27.67	0.02
2022	27.69	2022	27.69	0.02
2023	27.71	2023	27.71	0.02
2024	27.72	2024	27.72	0.02
2025	27.74	2025	27.74	0.02
2026	27.76	2026	27.76	0.02
2027	27.78	2027	27.78	0.02
2028	27.80	2028	27.80	0.02
2029	27.81	2029	27.81	0.02
2030	27.83	2030	27.83	0.02
		Rerata	0.02	0.07%

kenaikan suhu dari tahun 1980-2030 = 0.9
kenaikan suhu dari tahun 1980-2011 = 0.56



Sumber: Hasil perhitungan

KESIMPULAN

Berdasarkan data pengukuran harian dan dianalisis secara harian, bulanan dan tahunan dalam

periode 1980 sampai 2013, dapat disimpulkan bahwa telah terjadi perubahan iklim di Kota Palu yang ditandai dengan peningkatan temperatur secara perlahan, peningkatan curah hujan dan penurunan

evapotranspirasi, serta hasil perhitungan nilai Z dengan metode Mann-Kendall dan Sen's (Makesens) menandakan terjadi trend iklim, baik ke arah positif (naik) maupun negative (menurun). Persamaan garis proyeksi temperatur rerata tahunan (sebagai contoh) adalah; $f(\text{tahun}) = 0,018 (\text{tahun} - \text{tahun awal}) + 26,931$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kantor Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Bandara Mutiara, Palu, Sulawesi Tengah yang telah memberikan data hidroklimatologi untuk mendukung penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Aksu Hakan, Kuşçu. Savaş, Şimşek, Osman., 2010, *Trend Analysis of Hydrometeorological Parameters in Climate Regions of Turkey*, Jurnal BALWOIS 2010 – Ohrid, Republic of Macedonia. diakses 17 Mei 2012
- Allen G., Richard, 1998, *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirement-FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*, Food Agriculture Organization of the United Nation, Roma
- Guobin FU, Michael E.B., Shulin Chen, 2007, *Impacts of Climate Change on Regional Hydrological Regims in the Spokane River Watershed*, <http://www.ascelibrary.org>, Journal of Hydrologic Engineering. diakses 19 Oktober 2011
- Gunther Weller dan Patricia Anderson, 1998, *Implications of Global Climate Change in Alaska and Bering Sea Regions*, Center for Global Change and Arctic System Research. University of Alaska Fairbanks.
- Kendall, M.G., 2005, *Mann Kendall Analysis for the Fort Ord Site*, http://dubaobien.vn/dhkhthn/stores/files/0907_Tailieu_CuaLo/TLTK/MANN-KENDALL%20ANALYSIS.pdf. diakses pada tanggal 4 Desember 2010
- LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa). 2009. *Pengantar Pemodelan Iklim*, Bidang Pemodelan Iklim. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN, Bandung
- Lorena Liuzzo, Leonardo V. N., Enrique R. V., and Goffreda L. L., 2010, *Basin-Scale Water Resources Assessment in Oklahoma Under Synthetic Climate Change Scenario Using a Fully Distributed Hydrologic Model*, <http://www.ascelibrary.org>, Journal of Hydrologic Engineering, diakses 19 Oktober 2011
- Nugroho Hadisusanto, 2011, *Aplikasi Hidrologi*, Cetakan ke-1, Jogja Mediautama, Malang
- Onoz, B. & Bayazit, M. 2002, *The Power of Statistical Test for Trend Detection*, <http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/issue/s/muh-03-27-4/muh-27-4-5-0206-6.pdf>, diakses pada tanggal 27 Nopember 2010
- R C Deo, C A McAlpines, J Syktus, H A McGowan and Phinn. 2005, *On Australian Heat Waves: Time Series Analysis of Extreme Temperature Event in Australia, 1950-2005*, Centre for Remote Sensing and Spatial Information Sciences School of Geography, Planning and Architecture The University of Queensland, Brisbane 4072 Australia, Climate Change Centre of Excellence Queensland Department of Natural Resources and Water 80 Meiers Rd, Indooroopilly 4068, Australia
- Sutapa, I Wayan. 2013, *Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Pemodelan Debit*, Disertasi, Universitas Brawijaya. Malang.
- Shengping Wang, Zhiqiang Zhang, Ge Sun, Steven G. McNulty, Huayong Zhang, Jianlao Li, and Manliang Zhang. 2008. *Long-Term Streamflow Response to Climatic Variability in the Loess Plateau, China*, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 44(5):1098-1107. Diakses tanggal 7 Juni 2012
- Timo, Anu Maatta, Pia Anttila, Tuija Ruoho Airola, Toni Amnell. 2002, *Detecting Trends of Annual of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates*, Finnish Meteorological Institute. Helsingki
- WWF Indonesia dan IPCC, 1999