



Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Lab. Bio-Environmental Management and Control Engineering

Agricultural Engineering Department - Jenderal Soedirman University

Mata Kuliah : Hubungan Tanah, Air dan Tanaman





Pokok Bahasan

*Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)*

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- 1 Water Stress pada Tanaman
- 2 Metode Perhitungan Water Stress
- 3 Contoh Perhitungan



Proses Terjadinya *Water Stress* pada Tanaman

*Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)*

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Terjadi *water stress* (stress kekurangan air) pada tanaman, karena :

- Air dalam media tanam tidak cukup
- Transpirasi yang berlebihan
- Kombinasi dari dua faktor di atas



Absorpsi Air (Akar) dan Transpirasi (Daun)

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Faktor-faktor berikut mempengaruhi Absorpsi Air (*Water Uptake*) dan Transpirasi

Absorpsi Air dipengaruhi oleh :

- Kecepatan kehilangan air
- Sebaran perakaran
- Potensial air tanah
- Konduktivitas hidrolis tanah

Transpirasi ditentukan oleh :

- Luas dan struktur daun
- Stomata
- Faktor lingkungan (tekanan uap luar)

Kecepatan absorpsi air oleh akar dan kehilangan air oleh daun tidak selalu sama



Absorpsi dan Transpirasi Harian pada Beberapa Tanaman

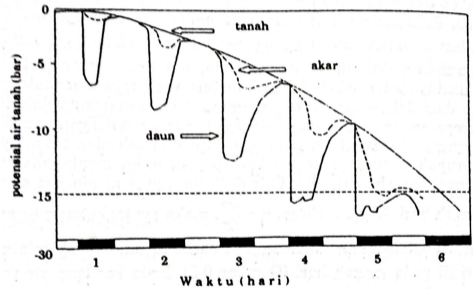
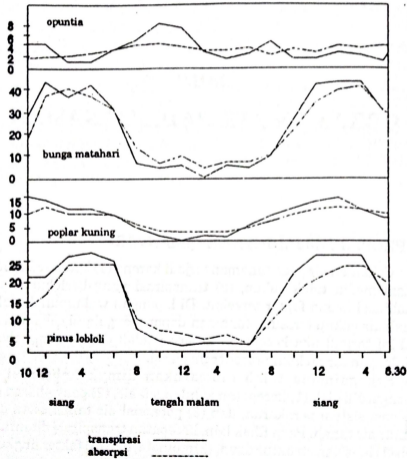
Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Ardiansyah et al.,
Lab. TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan



Potensial air pada tanah (ψ_s), akar (ψ_r) dan daun (ψ_L) harian pada tanaman yang bertranspirasi, hingga tanah kering



Analogi Aliran Air pada Tanaman

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

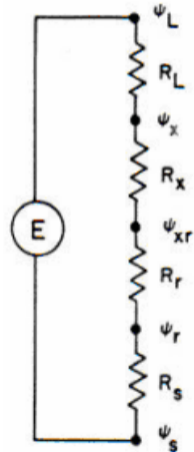
Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Analogi aliran air pada tanaman dengan resistansi (R) dan potensial (ψ). Seperti listrik, aliran terjadi karena perbedaan potensial : $E = \frac{\psi_s - \psi_L}{R_{total}}$
- Pada kondisi siang terik (air cukup) : Stomata terbuka \Rightarrow Air menguap dari daun \Rightarrow Potensial air pada daun (ψ_L) turun \Rightarrow Aliran air dari tanah ke tanaman (karena perbedaan potensial tanah (ψ_s) dan $\psi_L \Rightarrow$ Agar tidak layu, pengambilan air oleh akar harus sama dengan aliran air dalam tanaman
- Pada kondisi tidak ada penambahan air di tanah : Potensial air tanah (ψ_s) turun \Rightarrow Pergerakan air tanah berkurang (R_s meningkat) \Rightarrow Potensial air pada akar (ψ_r) harus lebih turun ($E = \frac{\psi_s - \psi_r}{R_s}$)





Analogi Aliran Air pada Tanaman

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Laju Transpirasi :

$$E = \frac{\psi_x - \psi_L}{R_L} = \frac{\psi_{xr} - \psi_x}{R_X} = \frac{\psi_r - \psi_{xr}}{R_r} = \frac{\psi_s - \psi_r}{R_s} \quad (1)$$

Analogi dengan aliran listrik :

$$E = \frac{\psi_s - \psi_L}{R_{total}} \quad (2)$$

dimana $\psi_L = \text{Leaf water potential}$ dan persamaan 2 dapat ditulis ulang dalam bentuk

$$\psi_L = \psi_s - ER_{total} \quad (3)$$

- ψ_L akan selalu berada di bawah ψ_s (dengan selisih nilai sebesar ER_{total}) agar terjadi transpirasi
- Ketika kadar air tanah (θ) bukan faktor pembatas (air cukup tersedia), nilai E independen terhadap ψ_L dan R_{total} bernilai konstan



Pengaruh *Water Stress* terhadap Tanaman

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan

Pengaruh *water stress* terhadap metabolisme tanaman :

- *Water stress* mempengaruhi proses fisiologi dan biokimia tanaman
- *Water stress* mempengaruhi tekanan turgor tanaman => mempengaruhi perbanyakan sel tanaman, buka-tutup stomata => proses fotosintesis dan penyaluran hasil fotosintesis untuk pertumbuhan tanaman
- *Water stress* menyebabkan stomata menutup => berkurangnya respirasi dan fotosintesis
- Metabolisme karbohidrat, nitrogen dan protein terganggu



Mekanisme Tanaman Menghindari Dehidrasi

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Untuk menghindari atau menunda dehidrasi protoplasma dalam sel tanaman, maka tanaman :

- Meningkatkan kemampuan akar mengabsorpsi air (memanjangkan akar)
- Mengurangi transpirasi dengan menutup stomata
- Penyesuaian waktu pertumbuhan, misal : melengkapi fase perkecambahan-tumbuh-berbunga, ketika ada air
- Peningkatan efisiensi penggunaan air (kg berat kering tanaman/mm air). Misal nenas mampu menyimpan CO_2 yang diambil malam hari. Siang hari stomata menutup, namun tetap bisa berfotosintesis karena sudah mempunyai CO_2



Metode Perhitungan *Water Stress*

*Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)*

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Metode yang paling umum digunakan untuk perhitungan *Water Stress* pada tanaman adalah dengan mengukur temperatur permukaan tanaman



Metode Perhitungan *Water Stress*

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan

- Metode yang paling umum digunakan untuk perhitungan *Water Stress* pada tanaman adalah dengan mengukur temperatur permukaan tanaman
- Hubungan antara temperatur permukaan dan *Water Stress* karena ada asumsi bahwa ketika terjadi transpirasi, panas akan diserap uap air pada daun, sehingga temperatur daun dingin



Metode Perhitungan *Water Stress*

*Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)*

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

*Water Stress
pada
Tanaman*

*Metode
Perhitungan
Water Stress*

*Contoh
Perhitungan*

- Metode yang paling umum digunakan untuk perhitungan *Water Stress* pada tanaman adalah dengan mengukur temperatur permukaan tanaman
- Hubungan antara temperatur permukaan dan *Water Stress* karena ada asumsi bahwa ketika terjadi transpirasi, panas akan diserap uap air pada daun, sehingga temperatur daun dingin
- Ketika tidak terjadi transpirasi, panas radiasi akan memanaskan daun, sehingga temperatur daun meningkat



Radiasi dari Permukaan Benda

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Radiasi dari permukaan suatu benda digambarkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \epsilon \sigma T_s^4$$

dimana R = Radiasi yang dipancarkan benda (W/m^2); ϵ = emissivitas permukaan; σ = Tetapan Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$); T_s = temperatur permukaan (K)



Radiasi dari Permukaan Benda

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Radiasi dari permukaan suatu benda digambarkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \epsilon \sigma T_s^4$$

dimana R = Radiasi yang dipancarkan benda (W/m^2); ϵ = emissivitas permukaan; σ = Tetapan Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$); T_s = temperatur permukaan (K)

- Pengukuran suhu permukaan dengan menggunakan termometer infrared dimungkinkan ($\lambda = 8-13 \mu m$), dimana panjang gelombangnya biasa digunakan untuk thermal remote sensing



Temperatur Permukaan dan *Water Stress*

Thermal Infrared Image of Field

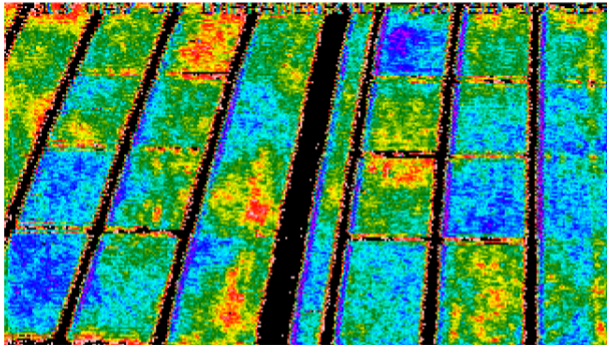
Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan



- Warna hijau dan biru → temperatur lebih rendah → irigasi tinggi atau nilai infiltrasi rendah
- Image ini belum memberikan informasi apakah perlu dilakukan irigasi atau tidak



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Estimasi *Plant Water Stress* dapat menggunakan sebuah indeks yang dinamakan *Crop Water Stress Index (CWSI)*, dengan persamaan :

$$CWSI = \frac{dT - dT_{low}}{dT_{up} - dT_{low}}$$

dimana dT = perbedaan temperatur antara permukaan (*surface*) kanopi tanaman (T_s) dan udara (T_a); dT_{up} = nilai dT yang tertinggi (pada tanaman tidak bertranspirasi); dT_{low} = nilai dT yang terendah (pada tanaman yang cukup air/bertranspirasi maksimum)



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Estimasi *Plant Water Stress* dapat menggunakan sebuah indeks yang dinamakan *Crop Water Stress Index (CWSI)*, dengan persamaan :

$$CWSI = \frac{dT - dT_{low}}{dT_{up} - dT_{low}}$$

dimana dT = perbedaan temperatur antara permukaan (*surface*) kanopi tanaman (T_s) dan udara (T_a); dT_{up} = nilai dT yang tertinggi (pada tanaman tidak bertranspirasi); dT_{low} = nilai dT yang terendah (pada tanaman yang cukup air/bertranspirasi maksimum)

- Nilai $CWSI = 0$ \rightarrow tidak terjadi *water stress*



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Estimasi *Plant Water Stress* dapat menggunakan sebuah indeks yang dinamakan *Crop Water Stress Index (CWSI)*, dengan persamaan :

$$CWSI = \frac{dT - dT_{low}}{dT_{up} - dT_{low}}$$

dimana dT = perbedaan temperatur antara permukaan (*surface*) kanopi tanaman (T_s) dan udara (T_a); dT_{up} = nilai dT yang tertinggi (pada tanaman tidak bertranspirasi); dT_{low} = nilai dT yang terendah (pada tanaman yang cukup air/bertranspirasi maksimum)

- Nilai $CWSI = 0$ \rightarrow tidak terjadi *water stress*
- Nilai $CWSI = 1$ \rightarrow terjadi *water stress* yang maksimum



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Estimasi *Plant Water Stress* dapat menggunakan sebuah indeks yang dinamakan *Crop Water Stress Index (CWSI)*, dengan persamaan :

$$CWSI = \frac{dT - dT_{low}}{dT_{up} - dT_{low}}$$

dimana dT = perbedaan temperatur antara permukaan (*surface*) kanopi tanaman (T_s) dan udara (T_a); dT_{up} = nilai dT yang tertinggi (pada tanaman tidak bertranspirasi); dT_{low} = nilai dT yang terendah (pada tanaman yang cukup air/bertranspirasi maksimum)

- Nilai $CWSI = 0$ \rightarrow tidak terjadi *water stress*
- Nilai $CWSI = 1$ \rightarrow terjadi *water stress* yang maksimum
- Nilai $CWSI$ tergantung pada jenis tanaman, kebutuhan irigasi tergantung pada ketahanan tanaman terhadap stress, nilai ekonomi tanaman, harga air



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan

- Contoh : Reginato dan Howe (1985) : tanaman kapas akan menunjukkan penurunan hasil, ketika nilai *CWSI* lebih besar dari 0.2



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan

- Contoh : Reginato dan Howe (1985) : tanaman kapas akan menunjukkan penurunan hasil, ketika nilai *CWSI* lebih besar dari 0.2
- Metode untuk menentukan batas atas dan bawah pada persamaan *CWSI*. Idso et al. (1981) menentukan berdasarkan *Vapor Pressure Deficit (VPD)*



Estimasi *Plant Water Stress*

Crop Water Stress Index (CWSI)

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- Contoh : Reginato dan Howe (1985) : tanaman kapas akan menunjukkan penurunan hasil, ketika nilai *CWSI* lebih besar dari 0.2
- Metode untuk menentukan batas atas dan bawah pada persamaan *CWSI*. Idso et al. (1981) menentukan berdasarkan *Vapor Pressure Deficit (VPD)*
- $VPD = e_{sat} - e$;
 e_{sat} = tekanan maksimum uap jenuh pada udara (*kPa*); e = tekanan aktual uap pada udara (*kPa*)
Jika kelembaban relatif, $RH = \frac{e}{e_{sat}}$, maka $e = e_{sat} RH$, sehingga
 $VPD = e_{sat} (1 - RH)$
- $e_{sat} = 0.611 e^{\left(\frac{17.502 T}{T+240.97}\right)}$, dimana T = temperatur udara ($^{\circ}C$)



dT_{low} Sebagai Fungsi dari VPD

Contoh untuk Tanaman Kedelai (Soybean)

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

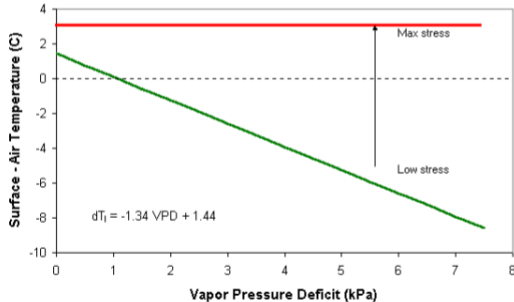
Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan

Example of VPD Baseline for Soybeans



- VPD rendah \rightarrow kelembaban tinggi \rightarrow transpirasi berlangsung lambat
- Garis hijau \rightarrow dT_{low} : garis dimana tidak terjadi *water stress*
- Garis merah \rightarrow dT_{up} : nilai $T_s - T_a$ maksimum karena tanaman tidak bertranspirasi



Nilai *Slope* dan *Intercept* Beberapa Tanaman

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Crop	Intercept	Slope
Alfalfa	0.51	-1.92
Barley (pre-heading)	2.01	-2.25
Barley (post-heading)	1.72	-1.23
Bean	2.91	-2.35
Beet	5.16	-2.30
Corn (No Tassels)	3.11	-1.97
Cowpea	1.32	-1.84
Cucumber	4.88	-2.52
Lettuce, leaf	4.18	-2.96
Potato	1.17	-1.83
Soybean	1.44	-1.34
Tomato	2.86	-1.96
Wheat (pre-heading)	3.38	-3.25
Wheat (post-heading)	2.88	-2.11



Perhitungan dT_{up} dan dT_{low}

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

- $dT_{low} = Intercept + Slope \cdot VPD$
- $dT_{up} = Intercept + Slope \cdot (e_{sat}(T_a) - e_{sat}(T_a + Intercept))$
- Dengan demikian dengan pengukuran : kelembaban, temperatur udara, dan temperatur kanopi, dapat diperoleh nilai *CWSI*



Contoh Soal

Water Stress dan Thermal Crop Water Stress Indices (CWSI)

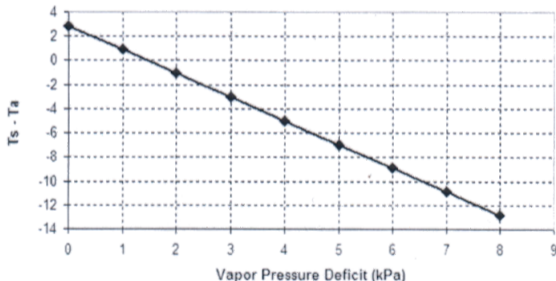
Ardiansyah et al.,
Lab.TPPBL

Water Stress pada Tanaman

Metode Perhitungan Water Stress

Contoh Perhitungan

Diketahui hubungan antara $T_s - T_a$ dengan Vapor Pressure Deficit (VPD) adalah sebagai berikut.



- 1 Tentukan persamaan dT_{low} sebagai fungsi dari VPD
- 2 Tentukan berapa Indeks water stress (CWSI) dan jelaskan angka tersebut jika diketahui $RH = 70\%$ dan $T_s = 32\text{ }^\circ\text{C}$, $T_a = 28\text{ }^\circ\text{C}$



Contoh Soal 1

Jawaban

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Jawab No.1

Untuk mendapatkan persamaan dT_{low} dari garis pada grafik, diperlukan dua titik (sembarang pada garis, misalnya) : A(3, -3.02), B(6, -8.9)

Rumus persamaan garis adalah

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}, \text{ memasukkan dua titik, diperoleh : } \frac{y-(-3.02)}{-8.9-(-3.02)} = \frac{x-3}{6-3}$$

Penyusunan kembali persamaan mendapatkan :

$$y = -1.96 x + 2.86 \text{ atau } dT_{low} = -1.96 VPD + 2.86$$

Sehingga diperoleh : **Intercept = 2.86, Slope = -1.96**

Jawab No.2



Contoh Soal II

Jawaban

Water Stress
dan Thermal
Crop Water
Stress Indices
(CWSI)

Ardiansyah et
al.,
Lab.TPPBL

Water Stress
pada
Tanaman

Metode
Perhitungan
Water Stress

Contoh
Perhitungan

Untuk mengetahui CWSI, diperlukan dT_{up} , dengan persamaan :

$$dT_{up} = Intercept + Slope \cdot (e_{sat}(T_a) - e_{sat}(T_a + Intercept))$$

$$dT_{up} = 2.86 + -1.96 \cdot (e_{sat}(28) - e_{sat}(28 + 2.86))$$

$$\blacksquare e_{sat}(28) = 0.611 e^{\left(\frac{17.502 T}{T+240.97}\right)} \implies e_{sat}(28) = 0.611 e^{\left(\frac{17.502 \cdot 28}{28+240.97}\right)}, e_{sat} = 3.78$$

$$\blacksquare e_{sat}(28 + 2.86) = 0.611 e^{\left(\frac{17.502 T}{T+240.97}\right)} \implies e_{sat}(30.86) = 0.611 e^{\left(\frac{17.502 \cdot 30.86}{30.86+240.97}\right)}, e_{sat} = 4.46$$

$$\blacksquare dT_{up} = 2.86 + -1.96 \cdot (3.78 - 4.46) = 4.19$$

$$VPD = e_{sat}(1 - RH) \implies VPD = 3.78 (1 - 0.7) \implies VPD = 1.13$$

$$dT_{low} = -1.96 VPD + 2.86 \implies dT_{low} = -1.96 \cdot 1.13 + 2.86 = 0.65$$

$$CWSI = \frac{dT - dT_{low}}{dT_{up} - dT_{low}} \implies CWSI = \frac{(32-28) - 0.65}{4.19 - 0.65} = 0.94 \text{ (mendekati 1, terjadi water stress)}$$