

## Variasi Nilai *Equivalent Water Height* Di Indonesia dan Kaitannya dengan Bencana Hidrometeorologi (Banjir dan Kekeringan)

Safri Yanti Rahayu\*<sup>1</sup> Atika Sari <sup>1</sup> Ririn Utari <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141, Indonesia

[safriyanti.rahayu@gmail.com](mailto:safriyanti.rahayu@gmail.com)

(Diterima 15 Maret 2025, Disetujui 10 Juni 2025)

### Abstrak

Indonesia yang merupakan wilayah tropis adalah negara dengan intensitas bencana alam yang tinggi. Kondisi iklim tropis yang sudah sangat bervariasi akibat siang dan malam yang relative sama mengalami perubahan yang cukup ekstrem pada tahun 2016. Hal ini menyebabkan terjadinya bencana hidrometeorologi yang berkepanjangan sepanjang tahun 2016. Satelit Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) yang digunakan untuk pemantauan gravitasi dapat digunakan untuk mengamati variasi massa air. Data GRACE disediakan melalui pengukuran variasi massa temporal yang sebagian besar merupakan variasi volume air seperti air permukaan dan air tanah. Karena massa air di wilayah Indonesia didominasi oleh banyaknya curah hujan secara tidak langsung. Spherical harmonik yang diperoleh dari data satelit GRACE berubah kepadatan massa permukaan. Hasil yang diperoleh dari data pengolahannya menunjukkan bahwa  $t$  ia tertinggi Setara Air Tinggi ( EWH ) nilai selama tahun 2016 sebesar 8,66 cm pada bulan Agustus (wilayah Aceh) sedangkan nilai EWH terendah berada di wilayah Nusa Tenggara pada bulan yang sama. Curah hujan terbesar terdapat di wilayah Kalimantan dengan nilai 0,61 mm / jam pada bulan Februari 2016 sedangkan curah hujan terendah terdapat di wilayah Nusa Tenggara pada bulan Agustus. Dan korelasi antara Ketinggian Air Setara dan curah hujan lebih sedang, lemah dan sangat lemah.

**Kata kunci:** *Equivalent Water Height (EWH), GRACE, Presipitasi*

### 1. Pendahuluan

Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satelit yang digunakan untuk gravitasi monitoring dapat digunakan untuk mengamati variasi massa air [1,2]. Data GRACE disediakan melalui pengukuran variasi massa temporal yang sebagian besar merupakan variasi volume air seperti air permukaan dan air tanah dkk., 2011). Variasi massa air yang diperoleh dari data GRACE Satellite dinyatakan dalam bentuk Equivalent Water Height / Thickness (EWH / EWT)[1].

EWH adalah solusi perbedaan bulanan (seperti gangguan potensial, geoid undulasi), yang disebabkan oleh redistribusi massa dalam pengukuran gravitasi, ada efek pengukuran (seperti tekanan udara dan

pasang) yang dapat model yang led dan dihilangkan dari data pengukuran. Perbedaan tersisa yang dihasilkan setelah menghilangkan efek tersebut disebabkan oleh redistribusi air [3].

Iklim adalah kondisi cuaca rata-rata area yang luas dalam waktu yang lebih lama, setidaknya 30 tahun. Iklim dipengaruhi oleh lokasi geografis dan topografi bumi[4]. Perubahan iklim adalah perubahan unsur iklim yang memiliki kecenderungan naik atau turun, secara nyata[5]. Perubahan iklim di Indonesia ditunjukkan dengan adanya perubahan parameter utama musim, salah satunya adalah perubahan pola curah hujan [4]. Variasi iklim berkaitan erat dengan distribusi massa air di permukaan bumi [6].

Karena massa perairan di wilayah Indonesia didominasi oleh jumlah curah hujan, secara tidak langsung variasi nilai EWH di Indonesia juga menunjukkan variasi nilai curah hujan atau musim. Tahun 2016 adalah salah satu tahun terpanas yang merupakan anomali suhu adalah  $0,94^{\circ}\text{C}$  [7].

Perubahan iklim juga akan mengakibatkan terjadinya bencana hidrometeorologi. Bencana hidrometeorologi (bencana alam meteorologi) adalah bencana

## 2. Metode Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam penelitian dalam penelitian ini adalah Indonesia. Dimana letak geografis  $95^{\circ}\text{BT}$  -  $141^{\circ}\text{BT}$  dan  $6^{\circ}\text{LU}$  -  $11^{\circ}\text{LS}$ . Indonesia merupakan negara yang terletak di kawasan ekuator. Hal ini menandakan lamanya siang dan malam di wilayah Indonesia hampir sama dan intensitas cahaya matahari yang diterima pada siang dan malam sangat kontras. Hal ini akan menyebabkan sifat cuaca pada siang dan malam hari menjadi berbeda. Proses ini terjadi secara terus menerus sehingga Indonesia memiliki variasi cuaca yang sangat cerah dan perubahan yang terjadi pada variasi cuaca tersebut dapat diamati dengan jelas [16]

### Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data satelit GRACE level 2 berupa *spherical harmonics coefficient* (shc) tahun 2016. Data yang tersedia pada tahun 2016 adalah data Februari, Maret, Mei, Juni, Juli, Agustus, November dan Desember. Processing data GRACE level 2 membutuhkan beberapa data pendukung [17],

$$\Delta\bar{\sigma}(\phi, \lambda) = \frac{2\pi a \rho_{ave}}{3} \sum_{l=0}^L \frac{2l+1}{1+k_1} W_1 \sum_{m=0}^l \bar{P}_{lm}(\sin\phi) (\Delta\bar{C}_{lm} \cos(m\lambda) + (\Delta\bar{S}_{lm} \sin(m\lambda))) \quad (1)$$

$\phi$  menunjukkan garis lintang bumi,  $\lambda$  menunjukkan bujur bumi,  $a$  adalah jari-jari bola bumi,  $\bar{P}_{lm}$  adalah fungsi Legendre,  $k_1$  adalah love number,  $W_1$  bobot kesalahan frekuensi pada tingkat tinggi,  $l$  menunjukkan derajat,  $m$  menunjukkan urutan [20].  $\Delta\bar{\sigma}/\rho_w$  adalah perubahan massa permukaan yang dinyatakan dalam EWH[1].

alam yang berhubungan dengan iklim. Bencana hidrometeorologi berupa banjir, longsor, puting beliung, gelombang pasang, dan kekeringan [8]

Berdasarkan faktor penyebab, banjir dibagi menjadi empat jenis, yaitu banjir sungai, banjir pesisir pantai, banjir urban dan banjir bandang. Sedangkan kekeringan terdiri dari kekeringan meteorologi, kekeringan agronomis pertanian, kekeringan hidrologi dan kekeringan sosio ekonomis[9]

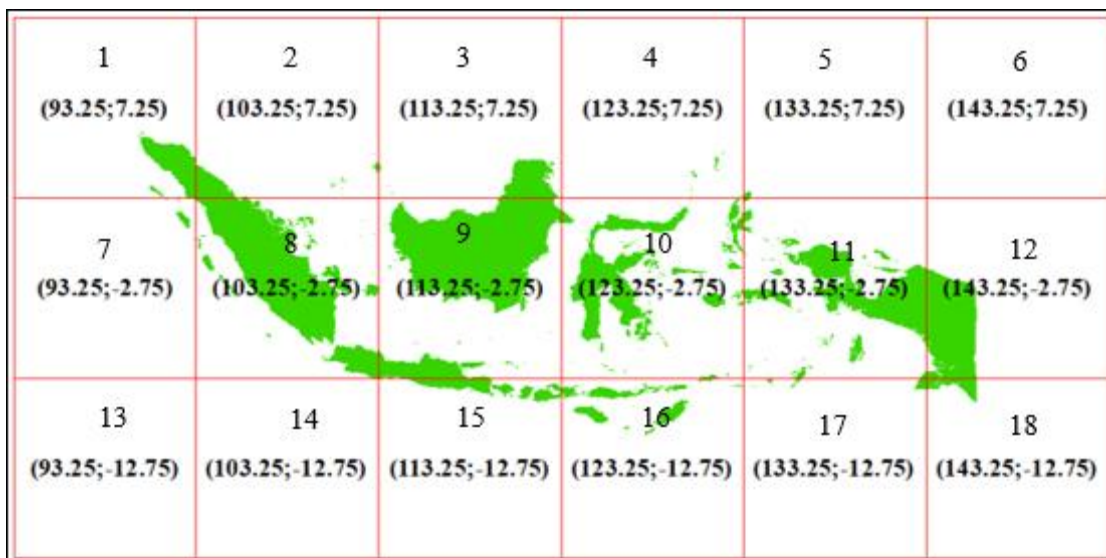
yaitu shc C20 diperlukan karena koefisien C20 (degree 2 orde 0) tidak memiliki nilai pasti, sehingga diperkirakan dari *Satellite Laser Ranging* (SLR) untuk mengganti data asli. Selanjutnya adalah data shc *degree* 1 yang merupakan data tentang pusat massa bumi serta data koreksi *Glacial isostatic* (GIA).

Data lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah data satelit TRMM 3B43 yang sudah berupa curah hujan bulanan. Data ini digunakan sebagai pembanding nilai EWH yang diperoleh dari hasil pengolahan.

### Metode

Data GRACE level 2 merupakan data shc[18]. Komponen koefisien harmonik data terdiri dari komponen sinus dan cosinus yang diberi simbol  $C_{lm}$  dan  $S_{lm}$  [19]. Potensial gravitasi yang diukur oleh satelit GRACE diwakili oleh  $\bar{\sigma}$ . Untuk mengubah harmonik bola menjadi massa jenis permukaan dapat digunakan persamaan 1 [1].

Nilai curah hujan diekstrak dari data satelit TRMM. Kemudian data EWH dan curah hujan diuji korelasinya untuk melihat hubungan antara kedua data tersebut. Untuk mempermudah penghitungan korelasi, wilayah Indonesia dibagi menjadi grid per  $10^{\circ}$ .

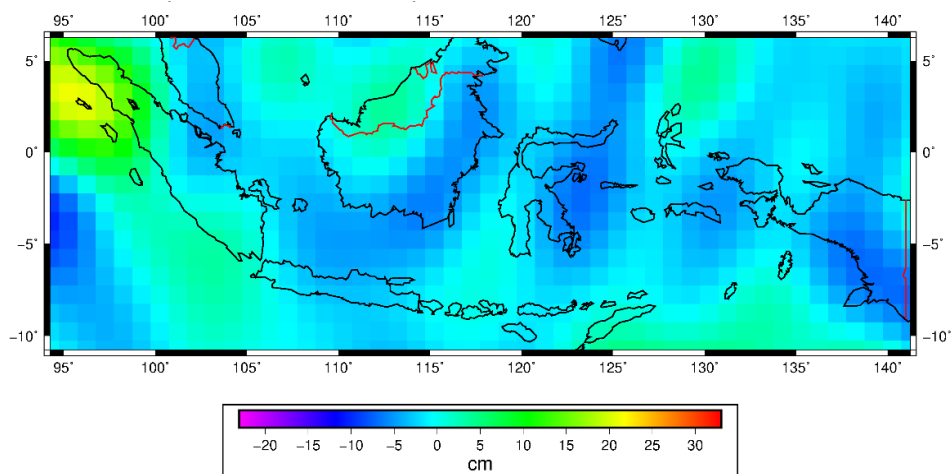


**Gambar 1** Pembagian wilayah Indonesia per 10 °

Area yang akan dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah wilayah Indonesia saja, sehingga grid yang tidak termasuk dalam wilayah Indonesia (6, 13, 14, dan 18) tidak perlu diperhitungkan. Wilayah yang akan dipelajari adalah wilayah 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, dan 17

### EWH dari Grace level 2

Ekstraksi *Equivalent Water Height* (EWH) dari data spherical harmonic dilakukan menggunakan GRACE Matlab Toolbox. Hasil yang diperoleh dari pengolahan data adalah nilai EWH pada bulan Februari, Maret, Mei, Juni, Juli, Agustus, November dan Desember. Gambar 2 menunjukkan nilai *equivalent water height* pada Bulan Februari tahun 2016. EWH bulan Maret, Mei, Juni, Juli, Agustus, November dan Desember dilampirkan pada lampiran 1.

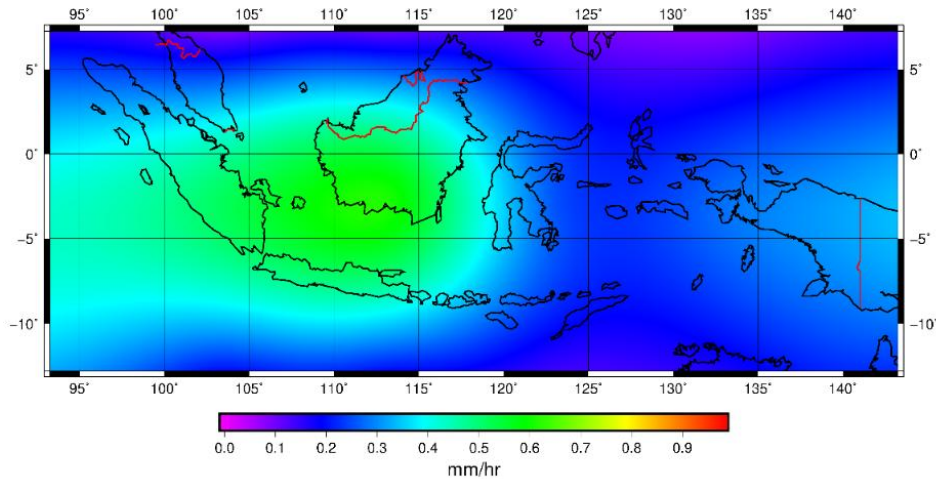


**Gambar 2** EWH Indonesia Februari 2016

### Curah Hujan

Nilai curah hujan diekstrak dari data TRMM 3B43 yang telah diunduh. Untuk melihat nilai spasial curah hujan, dilakukan

plotting nilai curah hujan menggunakan software GMT. Gambar 3 menunjukkan nilai curah hujan pada Bulan Februari tahun 2016. Curah hujan bulan Maret, Mei, Juni, Juli, Agustus, November dan Desember dilampirkan pada lampiran 2.



**Gambar 3** PCP Indonesia Februari 2016

### Deret Waktu dan Tren

Tren dan time series nilai EWH dan PCP diplot berdasarkan pembagian wilayah Indonesia (per 10 °). Tabel 1 berisi persamaan

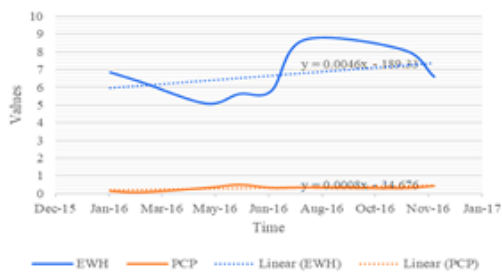
linier trend EWH dan PCP masing-masing daerah, yang tersusun dari elemen y yaitu nilai EWH atau PCP dan x yang menunjukkan waktu.

**Tabel 1** Persamaan Tren

Area	Persamaan	
	EWH	PCP
1	$y = 0.0046x - 189.33$	$y = 0.0008x - 34.676$
2	$y = 0.0271x - 1153.7$	$y = -0.001x + 43.075$
3	$y = 0.0216x - 918.21$	$y = 0.0013x - 53.319$
4	$y = 0.127x - 540.07$	$y = 0.0009x - 37.987$
5	$y = 0.082x - 347.79$	$y = -0.001x - 43.599$
7	$y = 0.008x - 339.94$	$y = -4E - 05x + 2.0656$
8	$y = -0.0015x + 65.371$	$y = -2E - 05x + 1.0752$
9	$y = 0.0111x - 471.59$	$y = -0.0003x + 12.211$
10	$y = 0.0164x - 697.71$	$y = 2E - 05x - 0.7379$
11	$y = 0.0095x - 403.19$	$y = 0.0001x - 5.2658$
12	$y = 0.0023x - 98.084$	$y = 0.0003x - 12.138$
15	$y = 0.01x - 425.22$	$y = 0.0003x - 12.204$
16	$y = 0.0034x - 145.88$	$y = 0.0003x - 11.814$
17	$y = -0.0264x + 1121.8$	$y = 1E - 05x - 0.291$

Tabel 1 menunjukkan bahwa daerah yang hampir semua EWH yang memiliki tren naik kecuali 2 area yaitu 8 dan 17. Akan tetapi tren PCP tidak mengalami penurunan. Area 8 adalah sebagian besar, pulau Sumatera yang meliputi lebih dari setengah bagian pulau

Sumatera. Area 7 merupakan wilayah laut yang berada di Selatan pulau Papua. Tren PCP bervariasi. Perbandingan tren EWH dan PCP area 1 dapat dilihat pada Gambar 4. Perbandingan tren EWH dan PCP pada wilayah yang lainnya (wilayah 2 sampai wilayah 18) dilampirkan pada lampiran 3.



**Gambar 4** Time Series dan Tren Area 1

**Korelasi**

Korelasi dari data EWH dan PCP didominasi oleh kategori sedang ke lemah. Hal ini dapat diartikan bahwa perubahan curah

hujan pada tahun 2016 tidak terlalu mempengaruhi EWH, karena pada kenyataannya perubahan EWH bergantung pada banyak hal, seperti bencana geologi dan pemanasan global. Namun korelasi positif antara kedua data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar intensitas curah hujan maka akan semakin banyak air yang terserap ke dalam tanah sehingga suatu saat akan melebihi batas tersebut dan akan terjadi banjir di wilayah tertentu. Sedangkan di tempat yang lain akan terjadi kemarau berkepanjangan. Hal ini disebabkan oleh perubahan iklim yang akan mempengaruhi laju perubahan siklus air permukaan. Korelasi EWH dan PCP dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2** Korelasi EWH dan PCP

Area	Koordinat tengah		Nilai Korelasi	Tingkat Korelasi
	Longitude	Latitude		
1	93.25	7.25	-0.09	Sangat Lemah
2	103.25	7.25	0.66	Kuat
3	113.25	7.25	0.44	Sedang
4	123.25	7.25	0.53	Sedang
5	133.25	7.25	0.55	Sedang
7	93.25	-2.75	0.28	Lemah
8	103.25	-2.75	-0.05	Sangat Lemah
9	113.25	-2.75	-0.02	Sangat Lemah
10	123.25	-2.75	0.32	Lemah
11	133.25	-2.75	0.30	Lemah
12	143.25	-2.75	-0.16	Sangat Lemah
15	113.25	-12.75	0.29	Lemah
16	123.25	-12.75	0.91	Sangat Kuat
17	133.25	-12.75	0.67	Kuat

Hanya ada dua bagian yang memiliki korelasi kuat yaitu bagian dan dan bagian 17 dan bagian awal yang memiliki korelasi kuat antara EWH dan PCP yaitu bagian 16. Hal ini dikarenakan perubahan iklim membutuhkan waktu yang sangat lama dan perubahan yang lambat. Selain itu, wilayah pengamatan yang hanya mencakup wilayah Indonesia tidak dapat merepresentasikan perubahan iklim secara signifikan. Karena hanya bisa dilihat dari curah hujan dan suhu.

**4. Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai EWH tertinggi selama 2016 adalah 8,66 cm pada bulan Agustus (di wilayah Aceh) sedangkan nilai EWH terendah di wilayah Nusa Tenggara pada bulan yang sama. Curah hujan terbesar terdapat di wilayah Kalimantan dengan nilai 0,61 mm / jam pada bulan Februari 2016 sedangkan curah hujan terendah terdapat di wilayah Nusa Tenggara pada bulan Agustus. Korelasi antara EWH dan PCP yang cenderung sedang ke rendah

menunjukkan bahwa variabilitas EWH tidak dipengaruhi secara signifikan oleh intensitas curah hujan. Meski begitu, fenomena ini menyebabkan banyaknya terjadi banjir sekaligus kekeringan di beberapa wilayah di Indonesia pada tahun 2016.

Oleh karena korelasi nilai EWH dan PC banyak yang memiliki tingkat korelasi lemah, yang mengindikasikan hasil penelitian kurang kuat sehingga disarankan untuk memasukkan variable lain (seperti indeks ENSO) untuk penelitian selanjutnya.

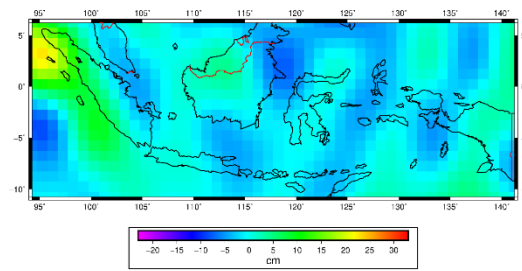
### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST., M. Phil., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam melakukan penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.

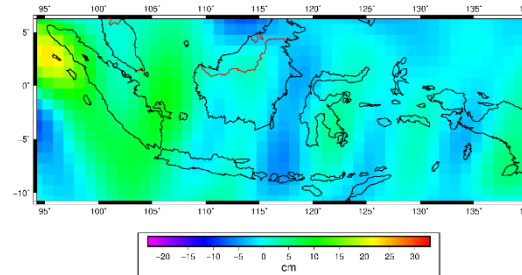
### Daftar Pustaka

1. Wahr J, Molenaar M, Bryan F. Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. 1998;103:205–29.
2. Ahmed M, Sultan M, Wahr J, Yan E, Milewski A, Mohsen F, et al. Use of GRACE data to monitor climate change-induced variations in water storage availability in the African continent [Internet]. 2011 [cited 2018 Dec 29]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/260164054\\_Use\\_of\\_GRACE\\_data\\_to\\_monitor\\_climate\\_change-induced\\_variations\\_in\\_water\\_storage\\_availability\\_in\\_the\\_African\\_continent/related](https://www.researchgate.net/publication/260164054_Use_of_GRACE_data_to_monitor_climate_change-induced_variations_in_water_storage_availability_in_the_African_continent/related)
3. ICGEM. ICGEM Service Frequently Asked Questions (FAQs). 2017;21. Available from: <https://icgem.gfz-potsdam.de/faq>
4. Hairiah K, Rahayu S, Suprayogo D, Prayogo C. Perubahan iklim: SEBAB DAN DAMPAKNYA TERHADAP KEHIDUPAN. Malang,: World Agroforestry Centre (ICRAF); 2016.
5. Irawati I, Handoko EY, Anjasmara IM. Studi Variasi Temporal Distribusi Massa Air Menggunakan Data Water Thickness Satelit Grace. Geoid. 2008;3:181–92.
6. Tapley BD, Bettadpur S, Ries JC, Thompson PF, Watkins MM. GRACE measurements of mass variability in the Earth system. Science (1979). 2004;305(5683):503–5.
7. NOAA. Global Climate Report - February 2022 | National Centers for Environmental Information (NCEI) [Internet]. NOAA. Available from: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202202>
8. Qodriyatun N. BENCANA HIDROMETEOROLOGI DAN UPAYA ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM. 2013 [cited 2025 May 29]; Available from: [www.dpr.go.id](http://www.dpr.go.id)
9. Susetyo HP. Bencana Alam (Banjir dan Kekeringan) Penghambat Produksi Hortikultura.
10. Hartawan R, Sarjono A. Karakteristik Fisik dan Produksi Kelapa Dalam (Cocos Nucifera L) di Berbagai Ekologi Lahan. Jurnal Media Pertanian. 2016;1(2):45–54.
11. Marzukhi F, Noor S, Sauti S. Application of Remote Sensing In The Investigation of Maturity Age Of Palm Oil Trees In Pasir Puteh , Kelantan. Jurnal Intelek. 2018;13(1):44–57.
12. Mahabir R, Croitoru A, Crooks AT, Id AS. A critical review of high and very high-resolution remote sensing approaches for detecting and mapping slums : trends, challenges and

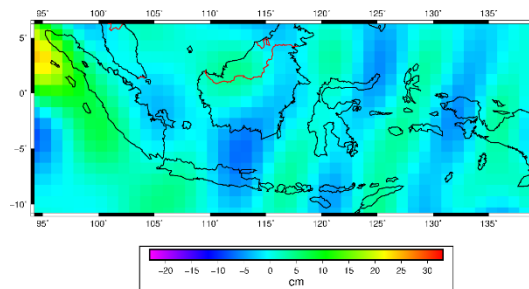
- emerging opportunities. urban science. 2018;2(8):38.
13. Maulana MM, Awaluddin M, Janu F. Jurnal Geodesi Undip Oktober 2017. Jurnal Geodesi Undip. 2017;6(4):342–50.
  14. Ismail A, Rachmadi M, Bana N. Eksplorasi jenis-jenis pisang plantain lokal asal desa Sukaharja dan desa Sukamulih Tasikmalaya, Jawa barat sebagai sumber bibit unggul. Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat. 2014;3(2):92–7.
  15. Trenberth KE, Hurrell JW, Stepaniak DP. The Asian monsoon: Global perspectives. In: Wang B, editor. The Asian Monsoon. 1st ed. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg; 2006. p. 67–87.
  16. Wirjohamidjoyo S, Swarinoto Y. Iklim Kawasan Indonesia (Dari Aspek Dinamik - Sinoptik). Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika; 2010.
  17. Feng W. GRAMAT: a comprehensive Matlab toolbox for estimating global mass variations from GRACE satellite data. Earth Sci Inform. 2018;
  18. Joodaki G. Earth Mass Change Tracking Using GRACE Satellite Gravity Data. [Trondheim]: Norwegian University of Science and Technology; 2014.
  19. Torge W. Geodesy. 2nd ed. Berlin: De Gruyter; 1991.
  20. Anjasmara IM. Spatio-Temporal Analysis of GRACE Gravity Field Variations Using the Principal Component Analysis. Curtin University of Technology; 2008.



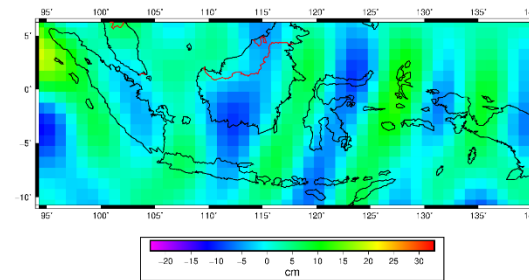
**Gambar 5.** EWH Indonesia Maret 2016



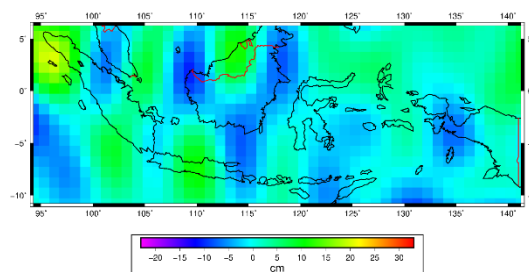
**Gambar 6.** EWH Indonesia Mei 2016



**Gambar 7.** EWH Indonesia Juni 2016



**Gambar 8.** EWH Indonesia Juli 2016

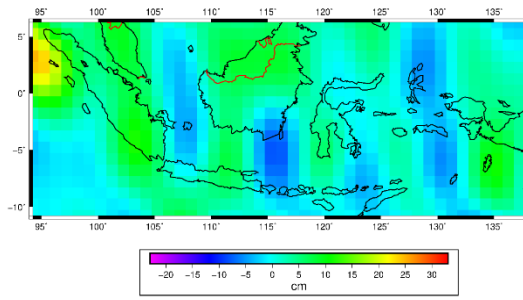


**Gambar 9.** EWH Indonesia Agustus 2016

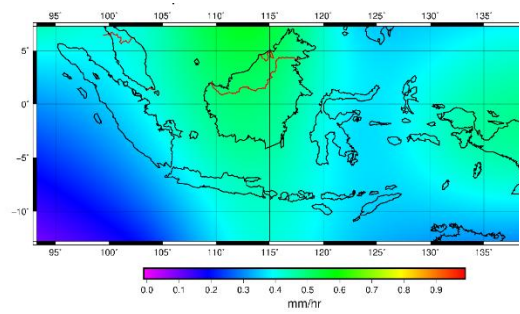
## Lampiran

### Lampiran 1.

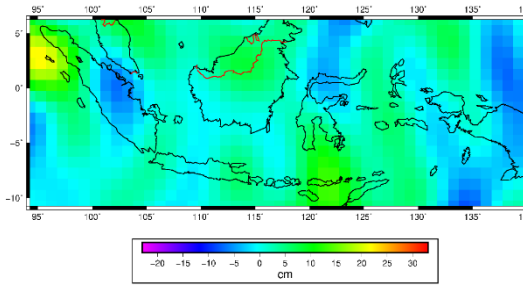




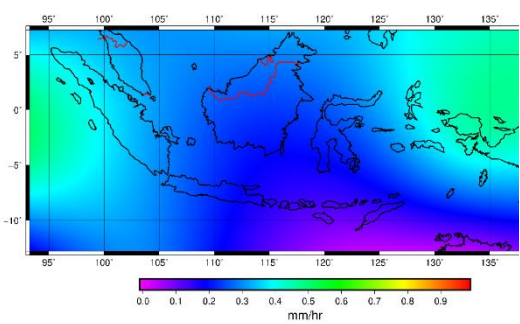
**Gambar 10. EWH Indonesia November 2016**



**Gambar 13. PCP Indonesia Juni 2016**

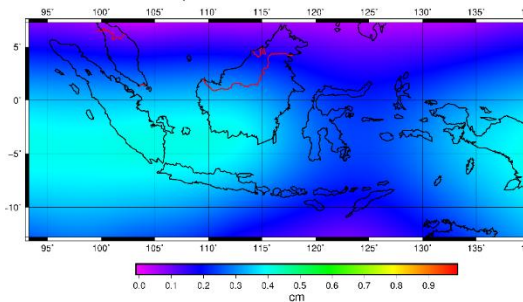


**Gambar 11. EWH Indonesia Desember 2016**

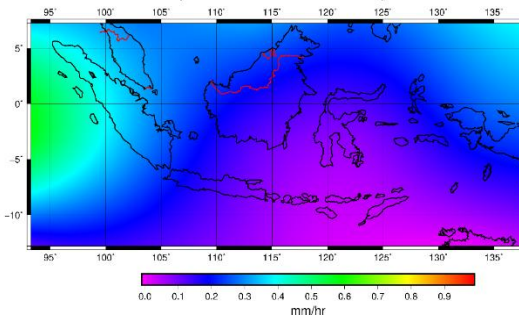


**Gambar 14. PCP Indonesia Juli 2016**

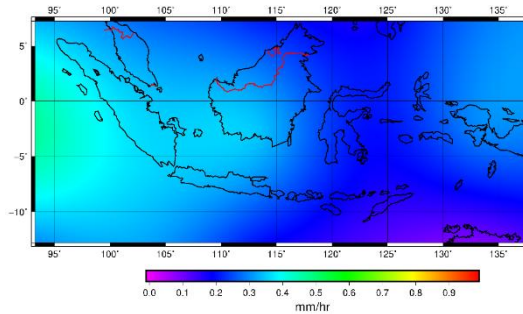
**Lampiran 2**



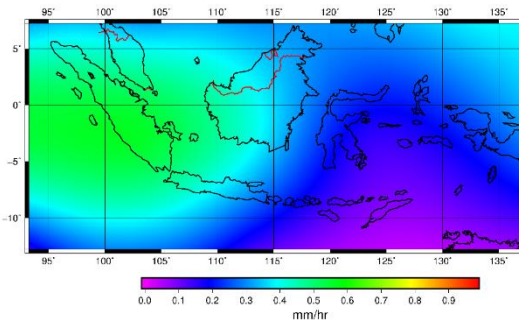
**Gambar 11. PCP Indonesia Maret 2016**



**Gambar 15. PCP Indonesia August 2016**

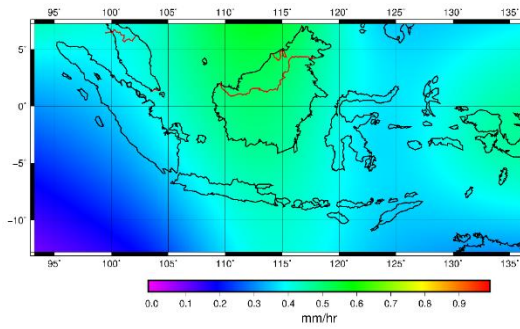


**Gambar 12. PCP Indonesia Mei 2016**



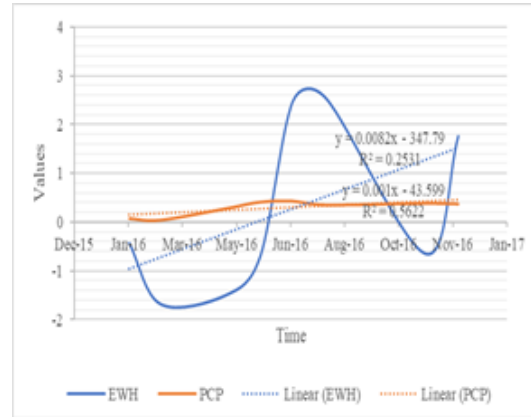
**Gambar 16. PCP Indonesia November 2016**



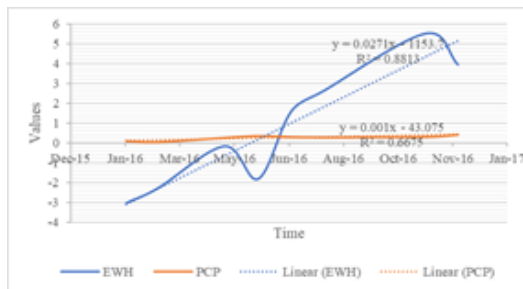


Gambar 17. PCP Indonesia Desember 2016

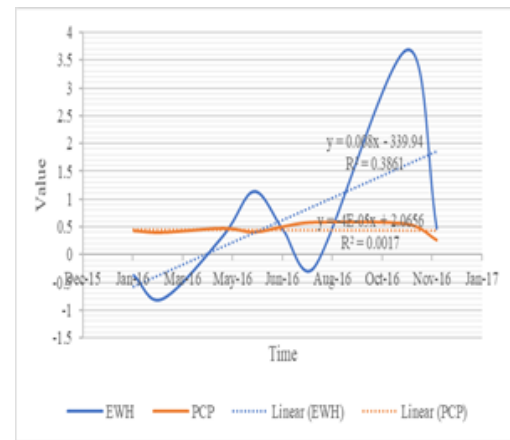
Lampiran 3



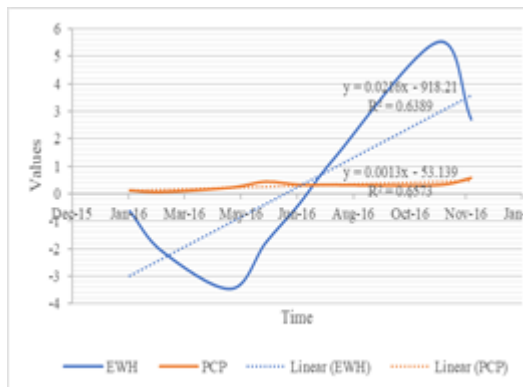
Gambar 22. Time Series dan Tren Area 5



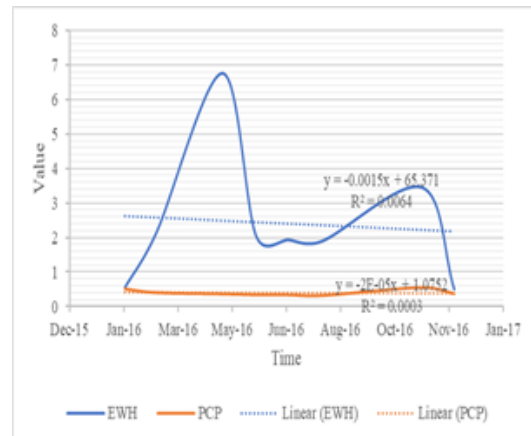
Gambar 19. Time Series dan Tren Area 2



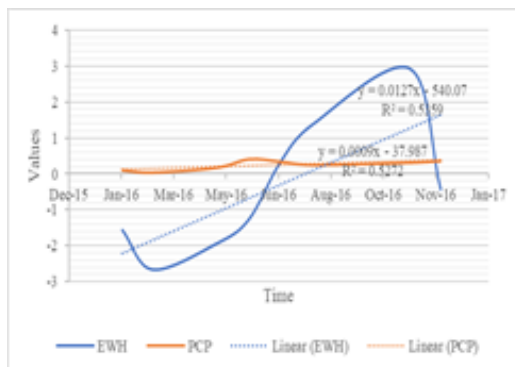
Gambar 23. Time Series dan Tren Area 7



Gambar 20 Time Series dan Tren Area 3



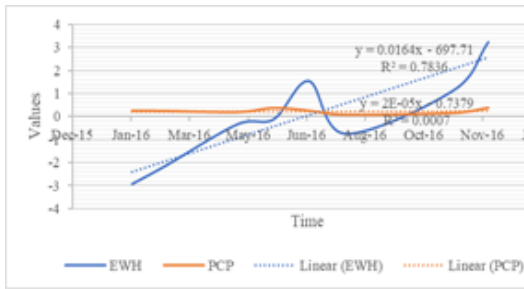
Gambar 24. Time Series dan Tren Area 8



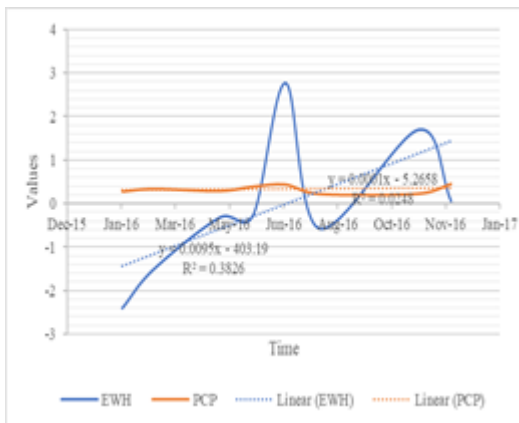
Gambar 21. Time Series dan Tren Area 4



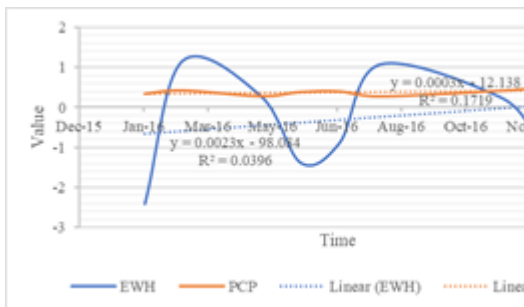
**Gambar 25.** Time Series dan Tren Area 9



**Gambar 26.** Time Series dan Tren Area 10



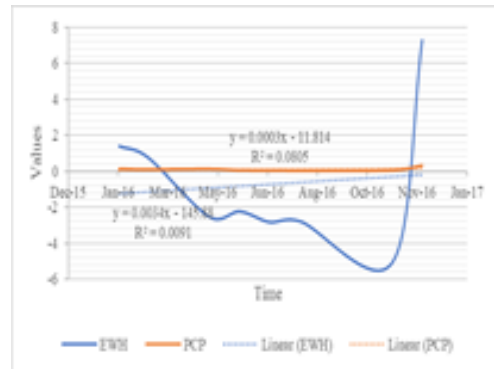
**Gambar 27.** Time Series dan Tren Area 11



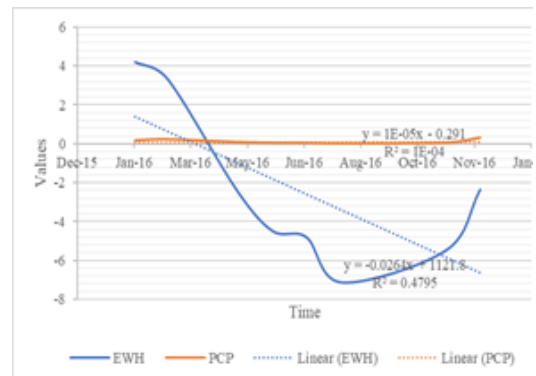
**Gambar 28.** Time Series dan Tren Area 12



**Gambar 29.** Time Series and Trend Division



**Gambar 30.** Time Series dan Tren Area 16



**Gambar 31.** Time Series dan Tren Area 17