



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
BALAI TEKNIK BENDUNGAN

Gd. Balai Bendungan, Jl. Sapta Taruna Raya, Komplek PU Pasar Jum'at, Jakarta Selatan 12310
Telepon : (021) 75908364, 7514441 Faksimile : (021) 75908364

ANALISIS CURAH HUJAN

**Bahan Ajar (Modul) Bimbingan Teknis Analisis Debit
Banjir Desain Dengan Menggunakan Data Hujan Satelit**

Juni 2022

RBPMMD

Sesi	Indikator Keberhasilan	Materi Pokok	Waktu	Penilaian	
				Metode	Bobot
1	<ul style="list-style-type: none"> Mampu menganalisis kebutuhan data minimum sesuai NSPM dan rumus atau metode analisis yang akan digunakan Mampu melakukan penyiapan data hidrologi sesuai dengan kebutuhan dalam analisis Mampu membaca data primer dan sekunder dengan baik dan benar Mampu menilai kelengkapan data dan informasi yang digunakan sesuai dengan rumus atau metode analisis yang akan digunakan Mampu mengatasi keterbatasan data yang ada dan mampu mencari solusi sesuai kaidah teknis yang berlaku dengan baik dan benar 	Pengumpulan data hujan: <ul style="list-style-type: none"> Data pos hujan Data hujan satelit 	1 JP	<ul style="list-style-type: none"> Tes teori tertulis atau pilihan ganda 	7%
2	<ul style="list-style-type: none"> Mampu melakukan penyiapan data hidrologi sesuai dengan kebutuhan dalam analisis Mampu menganalisis kualitas dan kelayakan data dan informasi yang digunakan dalam analisis 	Pemeriksaan data hujan: <ul style="list-style-type: none"> Uji Outlier Uji Trend Uji Stabilitas Uji Independensi 	2 JP	<ul style="list-style-type: none"> Tes teori tertulis atau pilihan ganda Latihan 	14 %
3	<ul style="list-style-type: none"> Mampu melakukan penyiapan data hidrologi sesuai dengan kebutuhan dalam analisis Mampu membaca data primer dan sekunder dengan baik dan benar Mampu menilai kelengkapan data dan informasi yang digunakan sesuai dengan rumus atau metode analisis yang akan digunakan Mampu melakukan analisis dan kalibrasi besaran angka parameter hidrologi yang sesuai 	Koreksi data hujan satelit: <ul style="list-style-type: none"> Pemilihan Data Stasiun Hujan Koreksi Data Hujan Satelit Verifikasi Hasil Koreksi Hujan Satelit 	2 JP	<ul style="list-style-type: none"> Tes teori tertulis atau pilihan ganda Latihan 	21 %

RBPMMD

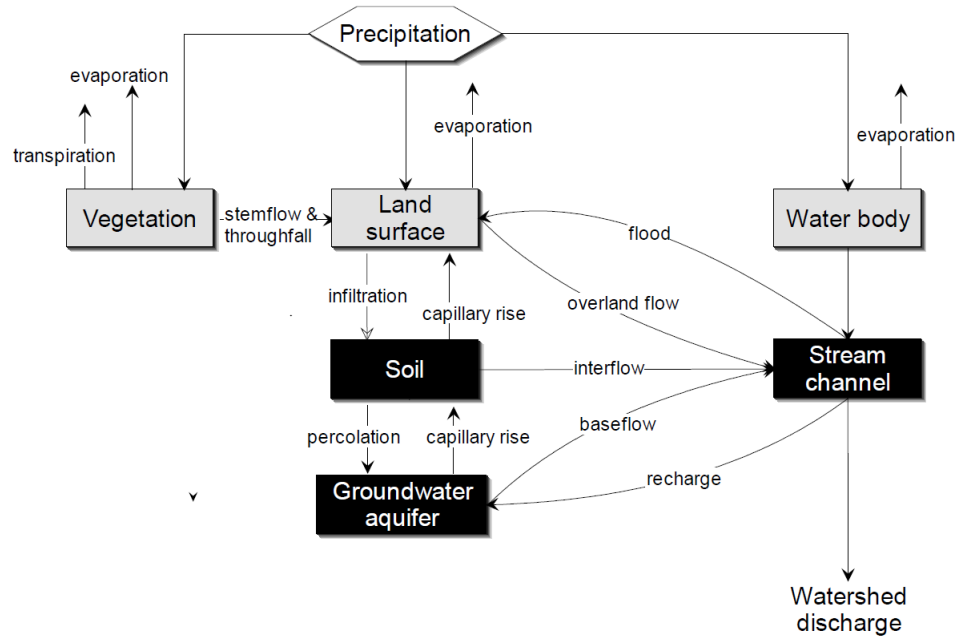
Sesi	Indikator Keberhasilan	Materi Pokok	Waktu	Penilaian	
				Metode	Bobot
4	<ul style="list-style-type: none"> Mampu menganalisis kualitas dan kelayakan data dan informasi yang digunakan dalam analisis Mampu melakukan perhitungan dan analisis curah hujan rencana 	Distribusi Probabilitas: <ul style="list-style-type: none"> Distribusi Probabilitas General Extreme Value Distribusi Log Normal 2-Parameter Distribusi Log Normal 3-Parameter Distribusi Gumbel-1 Distribusi Pearson III dan Log-Pearson III Uji Kecocokan Probabilitas <ul style="list-style-type: none"> Uji Chi-Square Kolmogorov-Smirnoff Analisis Metode Hershfield dan peta Isohyet PMP	3 JP	<ul style="list-style-type: none"> Tes teori tertulis atau pilihan ganda Latihan 	21 %
5	<ul style="list-style-type: none"> Mampu melakukan perhitungan dan analisis curah hujan rencana 	<ul style="list-style-type: none"> Hujan Titik dan Hujan Rata-rata Wilayah Rata-rata Aritmatik Poligon Thiessen 	1 JP	<ul style="list-style-type: none"> Tes teori tertulis atau pilihan ganda Latihan Tugas 	8 %
6	<ul style="list-style-type: none"> Mampu melakukan analisis dan kalibrasi besaran angka parameter hidrologi yang sesuai 	Penentuan Durasi Hujan Rencana <ul style="list-style-type: none"> Pencatatan Hujan Klasifikasi Ukuran DAS Distribusi Temporal Hujan Rencana <ul style="list-style-type: none"> Distribusi PSA-007 Distribusi Huff-1 Distribusi SCS Pemilihan Distribusi Hujan Reduksi Hujan Terhadap Luas dan Reduksi Hujan Terhadap Durasi Temporal	4 JP	<ul style="list-style-type: none"> Tes teori tertulis atau pilihan ganda Latihan Tugas 	29 %

PENGUKURAN DATA HUJAN

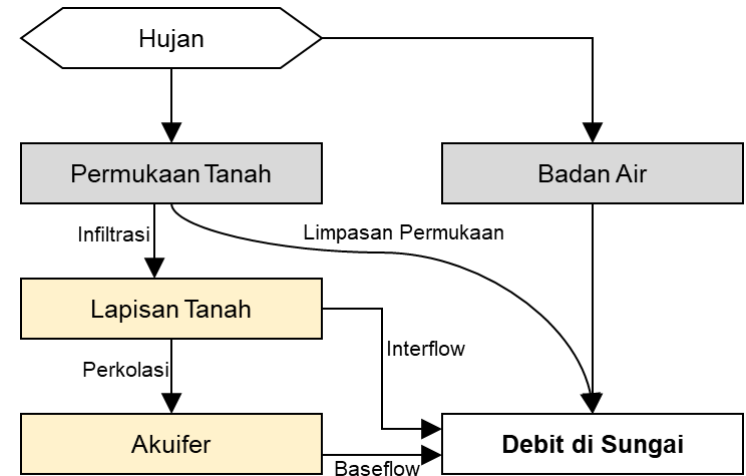
BAB 2

MODUL 1 – ANALISIS CURAH HUJAN

PRESIPITASI DALAM SIKLUS HIDROLOGI



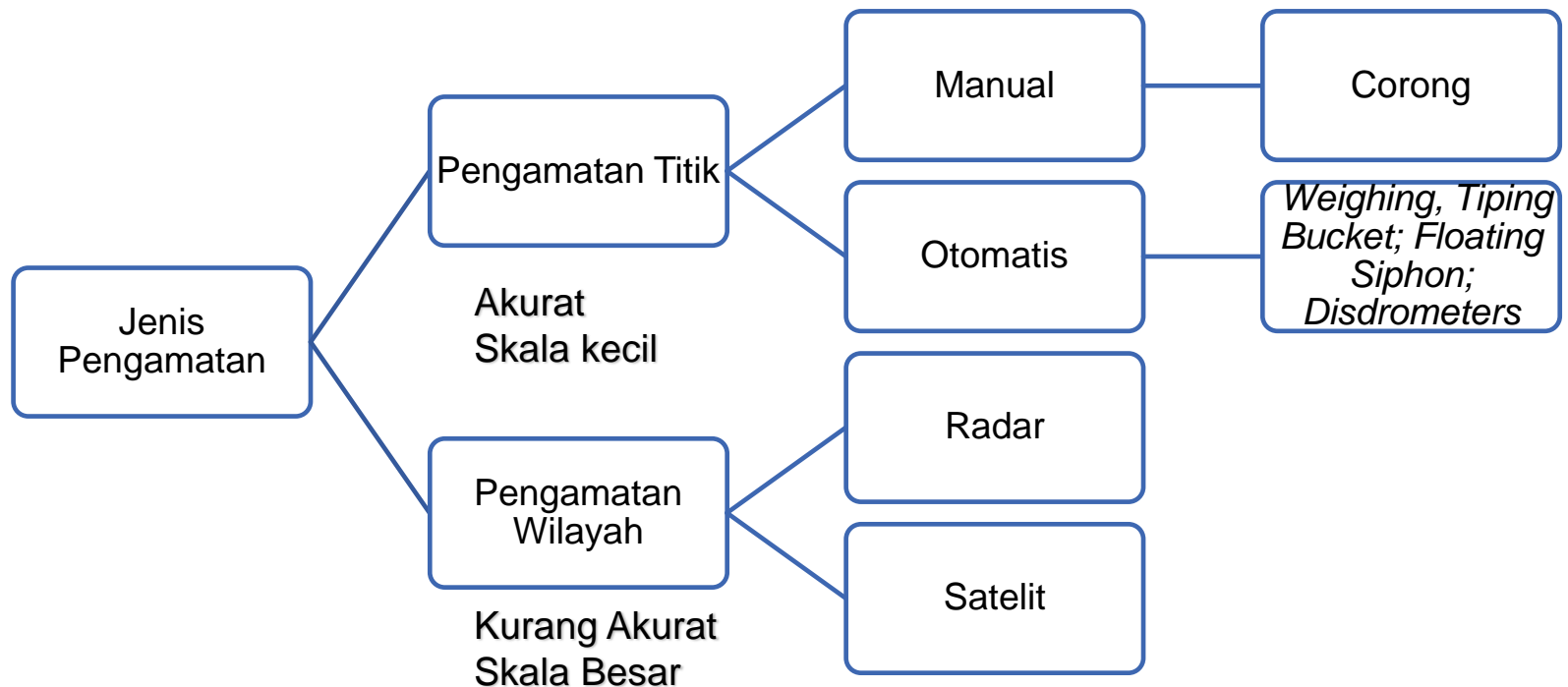
Komponen Siklus Hidrologi



Komponen Siklus Hidrologi
Kondisi Banjir

Pada peristiwa hujan badai, transpirasi dan evaporasi hampir tidak ada. Oleh karena itu, **tiga komponen paling berpengaruh dalam memodelkan peristiwa banjir adalah pada infiltrasi, limpasan permukaan dan aliran dasar.**

METODE PENGUKURAN CURAH HUJAN



DATA STASIUN HUJAN

Dalam perhitungan banjir, data hujan yang diperlukan adalah tinggi curah hujan harian maksimum tahunan (HHMT), intensitas hujan dengan berbagai durasi curah hujan, pola distribusi curah hujan, jaringan pos hujan yang mampu memantau karakteristik hujan di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan periode pencatatan curah hujan yang memadai. Data hujan bersumber dari pos penakar hujan yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Penakar hujan manual (PHM), pos penakar hujan mencatat variabel tinggi hujan setiap hari (satuan mm/hari).
- Penakar hujan otomatis (PHO), pos penakar hujan otomatis mencatat variabel tinggi hujan setiap menit, jam (satuan mm/jam).

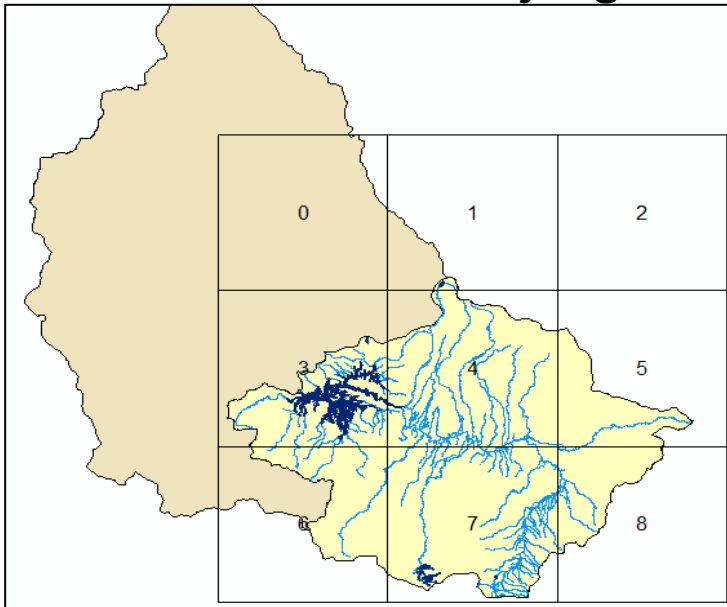
SNI 2415:2016 – Panjang data minimal 20 tahun



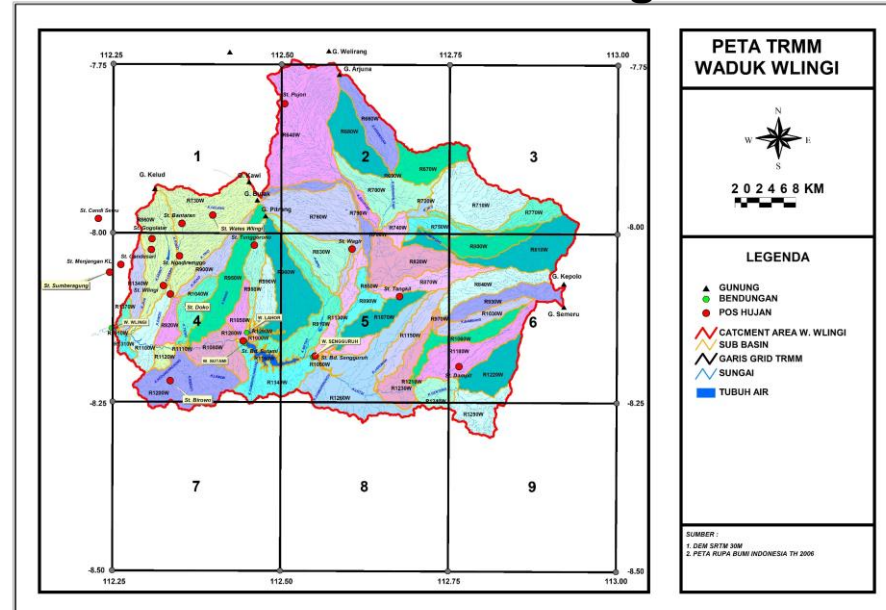
DATA HUJAN SATELIT

- Untuk mengatasi minimnya dan atau tidak tersedianya data pos hujan, dapat digunakan data satelit
- Dalam modul ini digunakan data satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dan lanjutannya yaitu GPM (Global Precipitation Mission).
- Data hujan satelit perlu dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk analisis hidrologi.

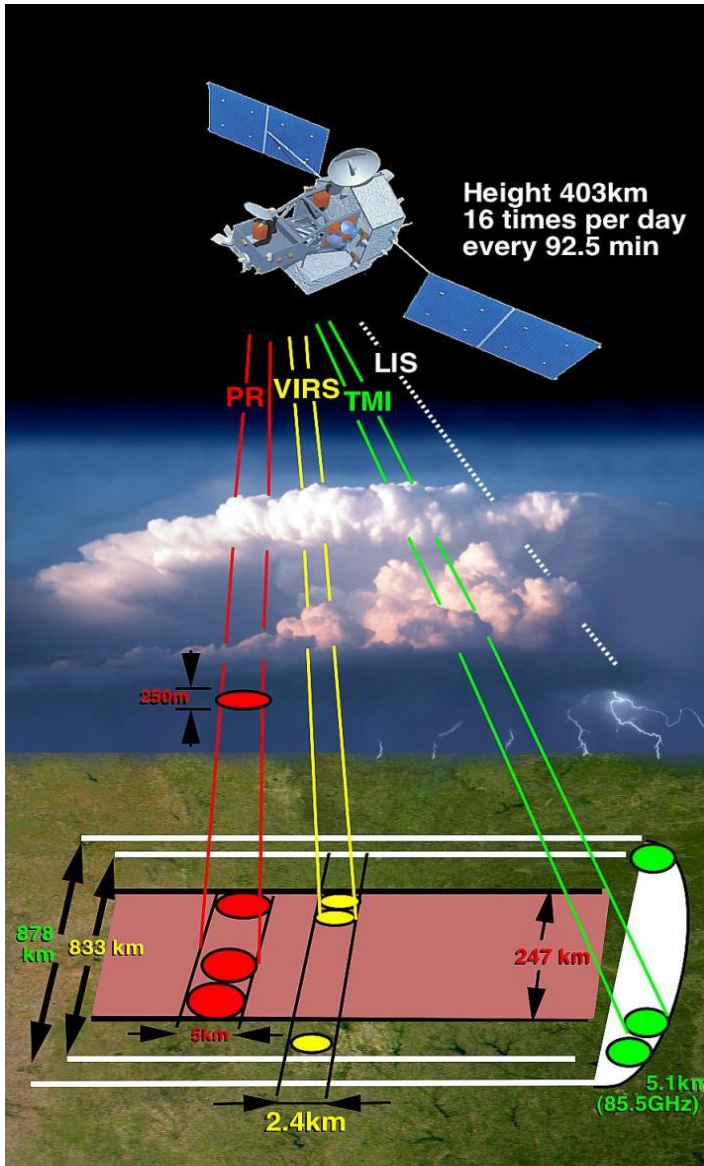
DAS Citarum-Nanjung



DAS Waduk Wlingi



DATA HUJAN SATELIT



Dalam beberapa tahun terakhir telah dilakukan sejumlah studi tentang penggunaan data hujan berbasis satelit sebagai komplemen data hujan yang diukur di lapangan. Data satelit merupakan data hujan harian rata-rata yang bersifat global dan *open source* dengan *grid* $28 \times 28 \text{ km}^2$. Untuk mempermudah proses pengumpulan data, maka telah disediakan data satelit secara nasional mulai dari tahun 1998-2019.

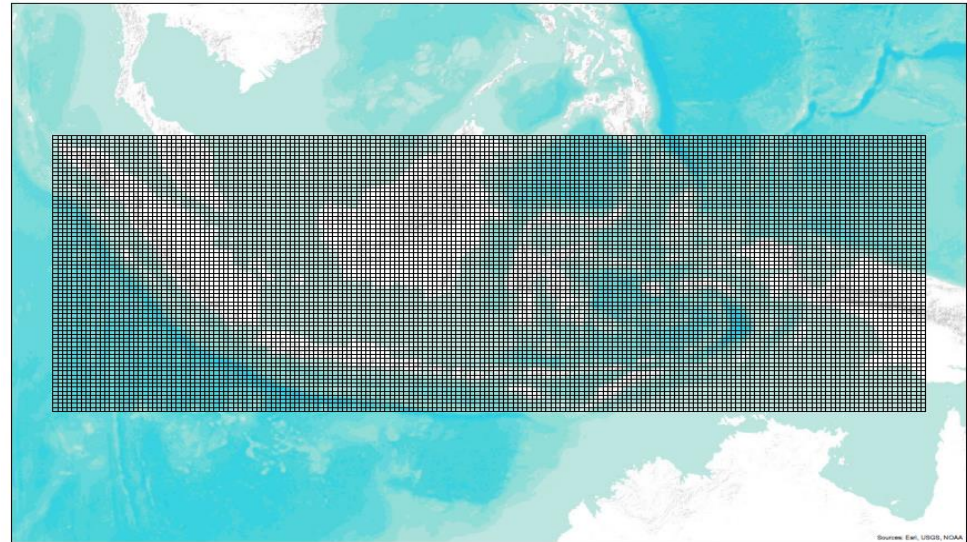
Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) adalah proyek kerjasama dua badan antariksa nasional milik Amerika Serikat (NASA: *National Aeronautics and Space Administration*) dan Jepang (NASDA: *National Space Development Agency of Japan*, sekarang berubah menjadi JAXA: *Japan Aerospace Exploration Agency*).

DATA HUJAN SATELIT

Dengan keberhasilan TRMM, perencanaan misi pengukuran hujan berikutnya, GPM, dimulai pada awal 2000-an. GPM dikembangkan untuk menyediakan tidak hanya kontinuitas data, tetapi juga peningkatan kualitas dari data TRMM.

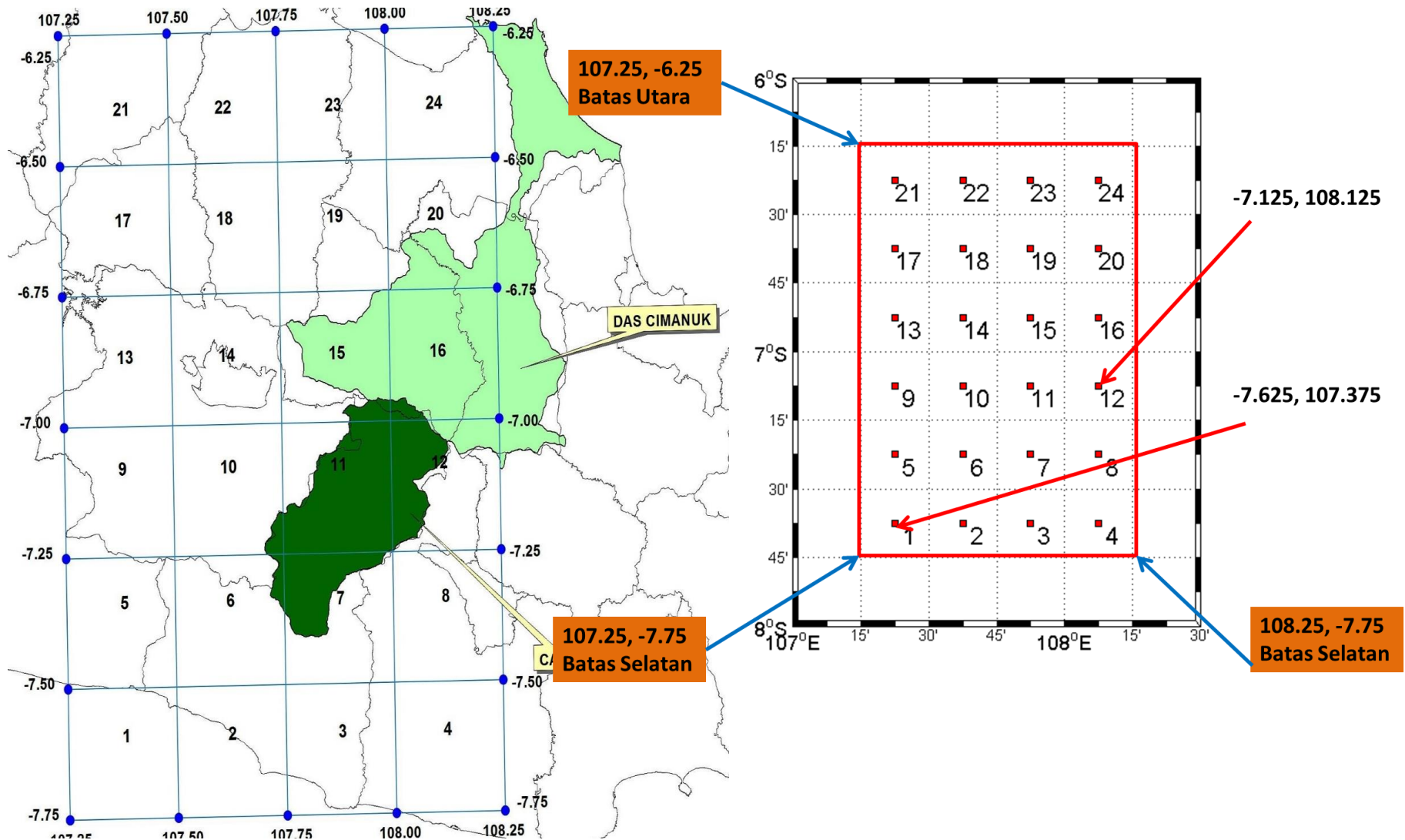
Meskipun TRMM dan GPM saat ini sama-sama menyediakan hampir 20 tahun lebih data curah hujan kontinu, kedua misi ini menggunakan algoritme yang berbeda untuk menghasilkan data hujan.

PETA GRID TRMM INDONESIA



Data Hujan Satelit	GPM-IMERG	TRMM
Panjang Data	20 tahun 01 Juni 2000 – sekarang (H-4 bulan untuk versi Final Run)	22 tahun 01 Januari 1998 – 31 Desember 2019
Cakupan	60N - 60S	35N -35S
Resolusi Grid	0.1 derajat lat/lon	0.25 derajat lat/lon
Resolusi Temporal	30 menit	3 jam

DATA HUJAN SATELIT



PEMERIKSAAN DATA HUJAN

BAB 3

MODUL 1 – ANALISIS CURAH HUJAN

PEMERIKSAAN DATA HUJAN HARIAN MAKSIMUM TAHUNAN (HHMT)

Uji Outlier	Pemeriksaan besaran hujan yang tidak wajar akibat kesalahan pencatatan hujan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Water Resource Council (1981).
Uji Trend	a. Seri data sebaiknya bebas dari kecenderungan (kecuali akibat perubahan iklim). b. Menggunakan <i>Spearman's rank-correlation</i> .
Uji Stabilitas Mean dan Varians	a. Pemeriksaan untuk mengetahui data stasioner atau tidak. b. Menggunakan uji F dan T.
Uji Independensi	Menggunakan <i>serial-correlation coefficient</i> .

PENGUJIAN OUTLIER

- Outlier, dalam Bahasa Indonesia dikenal dengan terminologi ‘pencilan’, merupakan nilai suatu datum dari suatu seri data yang memiliki nilai sangat berbeda dengan datum-datum lainnya, baik terlalu besar ataupun terlalu kecil.
- Pemeriksaan adanya outlier pada seri data hujan harian maksimum tahunan, baik outlier atas maupun outlier bawah dilakukan dengan metode yang dikembangkan oleh Water Resource Council (1981). Menurut Water Resource Council, bila:
 - Koefisien *skewness* dari data sampel $> +0,4$, maka perlu dilakukan pemeriksaan *outlier* atas,
 - Koefisien *skewness* dari data sampel $< -0,4$, maka perlu dilakukan pemeriksaan *outlier* bawah,
 - $-0,4 < \text{koefisien } skewness < +0,4$, maka perlu dilakukan pemeriksaan *outlier* atas dan *outlier* bawah sekaligus sebelum menghilangkan data yang dipandang sebagai *outlier*

PENGUJIAN OUTLIER

Bila terdapat *outlier* atas, maka perlu dilakukan pemeriksaan atas kebenaran data tersebut. Apabila terdapat *outlier* bawah, maka data *outlier* dapat langsung dibuang. Jika data tersebut tidak dapat dibuktikan benar secara ilmiah, maka data *outlier* tersebut harus dibuang terlebih dahulu sebelum suatu seri data digunakan untuk analisis hidrologi lebih lanjut.

Persamaan frekuensi untuk mendeteksi adanya *outlier* adalah:

$$Y_{H,L} = \bar{y} \pm K_n S_y$$

Keterangan:

$Y_{H,L}$: Batas (threshold) dari outlier atas dan bawah, dalam logaritma

\bar{y} : Nilai rata-rata dari data dalam bentuk logaritma

K_n : Konstanta uji outlier, merupakan fungsi dari jumlah data sampel

S_y : Simpangan baku dari data dalam bentuk logaritma

PENGUJIAN OUTLIER

Konstanta Uji Outlier

Sample size n	Kn	Sample size n	Kn	Sample size n	Kn	Sample size n	Kn
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,486	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,247	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

PENGUJIAN TREND

Sebelum digunakan untuk analisis, suatu seri data hidrologi harus dipastikan terlebih dahulu bebas dari adanya *trend* (kecenderungan), yaitu korelasi antara urutan data dengan peningkatan (atau penurunan) besarnya nilai data tersebut. Secara umum, uji trend dilakukan untuk periode seluruh data yang ada, walaupun dapat juga dilakukan hanya pada periode data yang dicurigai terdapat *trend*.

Untuk mengetahui adanya *trend*, digunakan metode *Spearman's rank-correlation*. Metode ini didasarkan pada *Spearman rank-correlation coefficient*, R_{SP} , yang didefinisikan sebagai:

$$R_{SP} = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n D_i^2}{n \times (n^2 - 1)}$$

$$D_i = Kx_i - Ky_i$$

Keterangan:

n : jumlah data sampel

D_i : perbedaan antara rank variabel x_i , Kx_i , (data diurutkan dari kecil ke besar) dan rank berdasarkan nomor urut data asli, Ky_i .

PENGUJIAN TREND

Bila ada *ties*, yaitu ada dua atau lebih data dengan nilai sama, maka rank K_{xi} diambil sebagai nilai rata-rata.

Uji eksistensi *trend* dilakukan dengan menggunakan formulasi berikut:

$$tt = R_{sp} \sqrt{\frac{n - 2}{1 - R_{sp}^2}}$$

Dimana tt mempunyai distribusi *Student's t* dengan derajat kebebasan = $n - 2$. Distribusi *Student's t* dengan *significance level* 5% dapat dilihat pada lampiran. Seri data yang diuji tidak mengandung trend bila memenuhi:

$$t\{v, 2,5 \%\} < tt < t\{v, 97,5 \%\}$$

PENGUJIAN STABILITAS RATA-RATA DAN VARIANS

Dalam uji kestabilan ini dilakukan untuk mengetahui data stasioner atau tidak. Secara umum terdapat dua uji yang dilakukan varian dan mean berupa uji F dan T, dimana uji F distribusi dari rasio variannya mengikuti distribusi normal dan mengindikasikan stabilitas dari varian. Uji F digambarkan dengan persamaan:

$$F_t = \frac{\sigma^2_1}{\sigma^2_2} = \frac{s^2_1}{s^2_2}$$

Keterangan:

F_t : stabilitas yang indikasinya dapat diterima

σ : deviasi standar skala populasi

s : deviasi standar skala sampel

PENGUJIAN STABILITAS RATA-RATA DAN VARIANS

Dua persamaan yang digunakan untuk menghitung s sebagai berikut:

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2) - (\sum_{i=1}^n (X_i))^2 / n}{n - 1} \right]^{0.5}$$

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2) - n \times \bar{X}^2}{n - 1} \right]^{0.5}$$

Keterangan:

X_i : data pengamatan

n : jumlah total data sampel

\bar{x} : rata-rata nilai data

PENGUJIAN STABILITAS RATA-RATA DAN VARIANS

Data menunjukkan kestabilan varian dengan tingkat kesalahan 5% apabila $F_t < F\{v_1, v_2, 97.5\% \}$

Pemeriksaan stabilitas mean dilakukan dengan menggunakan uji T (distribusi *Student's t*). Dalam uji ini, seperti halnya uji stabilitas *variance*, maka data dibagi dua atau tiga sama besar, kemudian dihitung nilai rata-rata (mean) dari masing-masing sub-sampel tersebut dan dibandingkan. Kesamaan nilai mean ini diuji secara statistik sebagai berikut:

$$t_t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Keterangan:

n : banyaknya data

\bar{x} : nilai rata-rata sub sampel

s : *variance*

Nilai mean dari sampel dikatakan stabil bila:

$$t\{v, 2.5\% \} < t_t < t\{v, 97.5\% \}$$

PENGUJIAN INDEPENDENSI

Untuk melakukan pemeriksaan independensi dari seri data digunakan *serial-correlation coefficient*. Apabila seri data adalah acak sempurna, maka fungsi *auto-correlation* dari populasi akan sama dengan nol untuk semua lag, kecuali nol. Untuk pemeriksaan independensi ini cukup dilakukan perhitungan digunakan *serial-correlation coefficient*, yaitu korelasi antara data pengamatan yang berdekatan dalam seri data.

Menurut Box dan Jenkins (1970), *serial-correlation coefficient*, r_1 , adalah:

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}) \times (x_{i+1} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Seri data dikatakan independen apabila memenuhi persamaan:

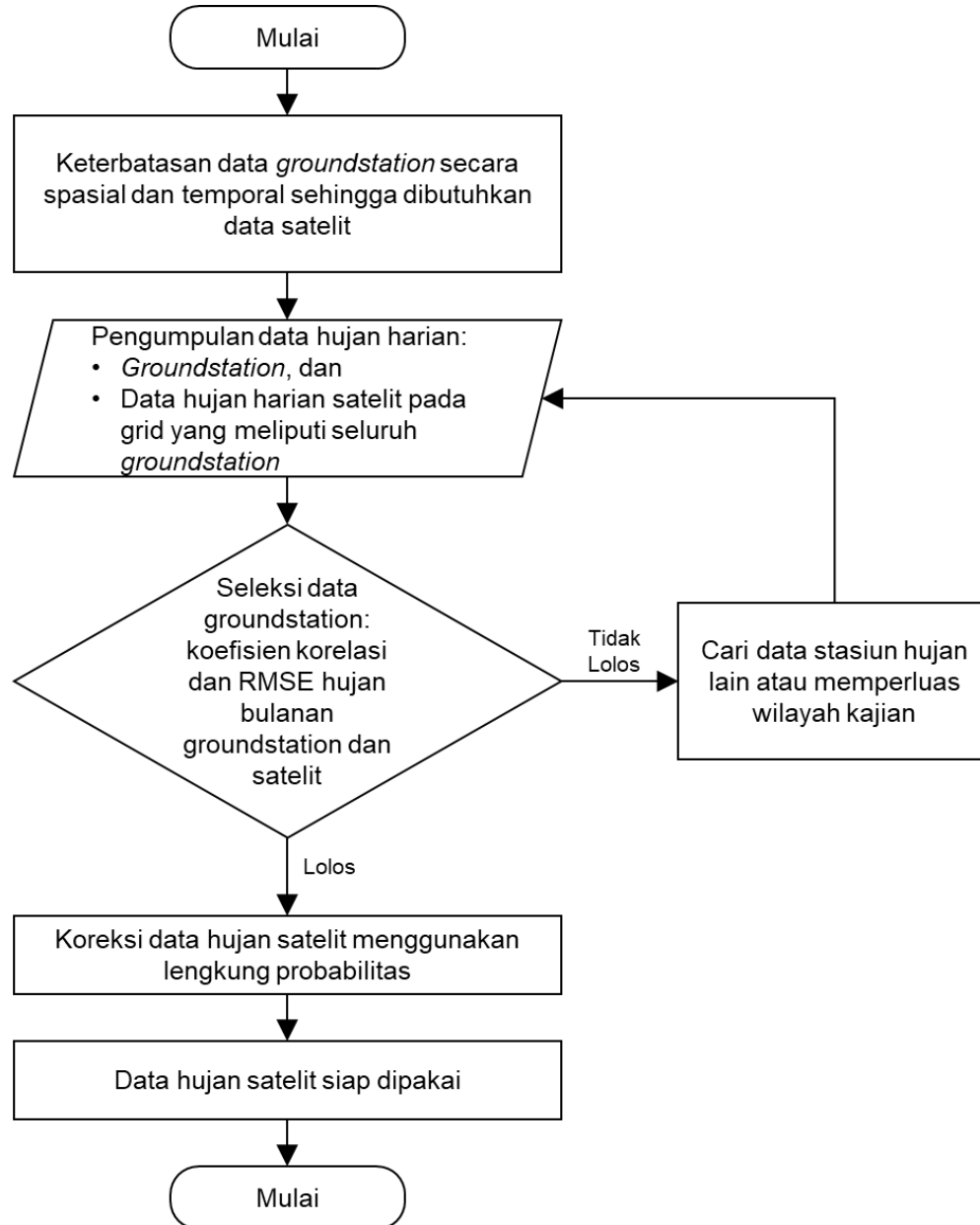
$$\{-1, (-1 - 1.96\sqrt{n-2}/(n-1))\} < r_1 < \{(-1 + 1.96\sqrt{n-2}/(n-1), +1\}$$

KOREKSI DATA HUJAN SATELIT

BAB 4

MODUL 1 – ANALISIS CURAH HUJAN

KOREKSI DATA HUJAN SATELIT



- Data hujan satelit dapat digunakan pada **kondisi data stasiun hujan terbatas dalam segi spasial maupun temporal**.
- **Keterbatasan spasial** berarti lokasi stasiun hujan yang berada jauh dari DAS yang dikaji,
- **Keterbatasan temporal** berarti data hujan yang tersedia kurang pendek atau banyak memiliki data kosong.

FUNGSI OBJEKTIF KOREKSI

Koefisien korelasi (r) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \hat{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \hat{Y})^2}}$$

dimana:

r : koefisien korelasi antara data satelit TRMM dengan data curah hujan *ground station*

Y_i : data satelit TRMM pada periode ke- i dengan i : 1, 2, ..., n

\bar{Y} : nilai rata-rata data satelit TRMM

\hat{Y}_i : data curah hujan *ground station* pada periode ke- i dengan i : 1, 2, ..., n

\hat{Y} : nilai rata-rata curah hujan *ground station*

n : panjang periode.

Untuk nilai RMSE dinyatakan dengan rumus di bawah ini:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

dimana:

y : nilai hasil observasi

\hat{y} : nilai hasil prediksi

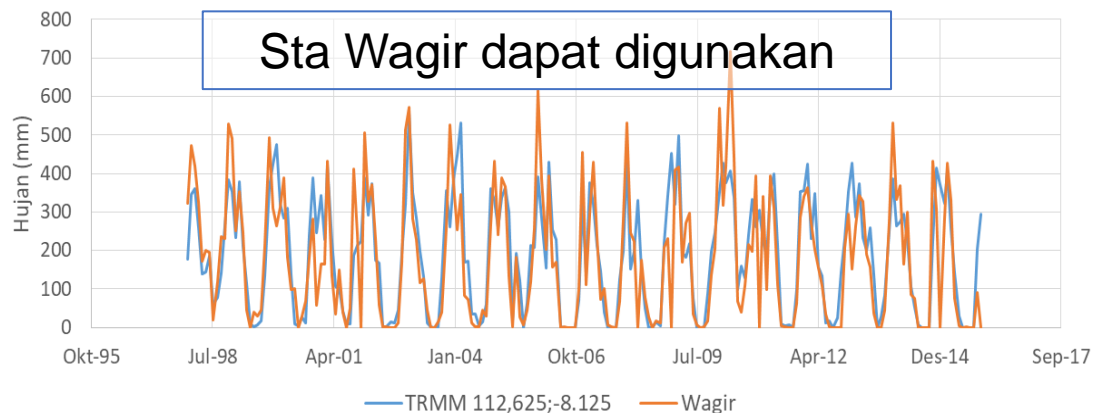
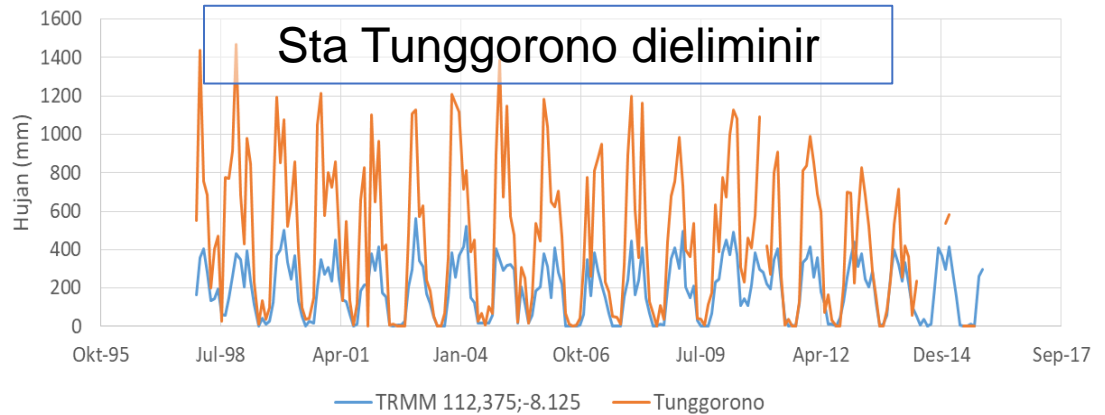
i : urutan data pada *database*

n : jumlah data

PEMILIHAN DATA POS HUJAN UNTUK KOREKSI

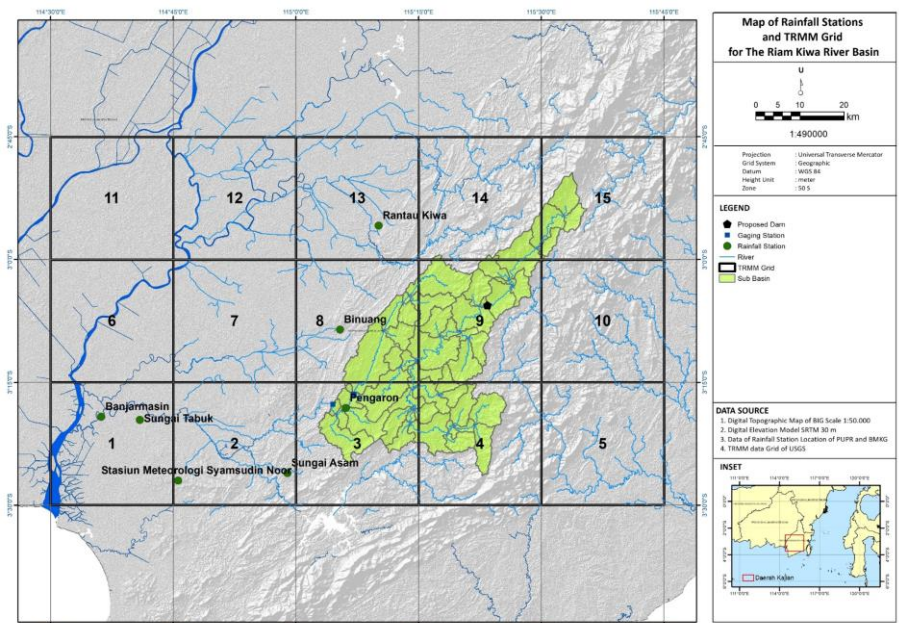
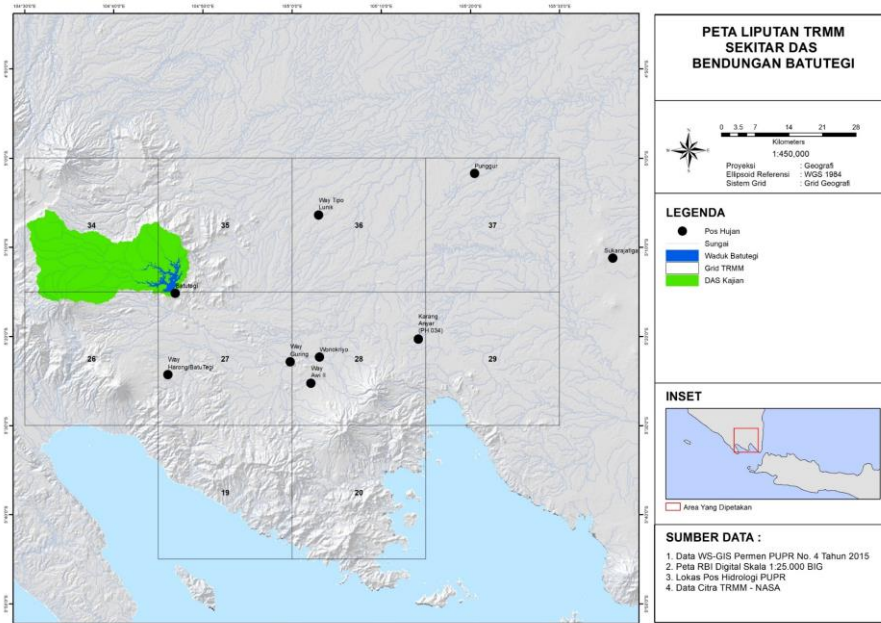
- Kebanyakan pos hujan di Indonesia saat ini belum melalui proses **Quality Control**.
- Data hujan GPM/TRMM perlu dikoreksi menggunakan data groundstation, sehingga data groundstation yang dijadikan acuan koreksi benar-benar harus berkualitas baik.
- Pemilihan data pos hujan yang akan digunakan untuk koreksi menggunakan parameter **koefisien korelasi (r)** dan **RMSE** data hujan **bulanan**.

Pos Hujan	Grid TRMM	TRMM vs Pos	
		KORREL	RMSE (mm)
Bantaran	4	0.84	185.3
Gandusari	4	0.80	140.9
Gogolatar	4	0.80	128.9
Ngadirenggo	4	0.79	149.1
Wlingi	4	0.83	106.7
Birowo	4	0.80	108.8
Doko	4	0.78	139.6
Sumberagung	4	0.80	115.3
Wates Wlingi	1	0.84	186.4
Bantaran	1	0.81	174.5
Pujon	2	0.761	123
Sutami	4	0.8	106
Tunggorono	4	0.844	382
Wagir	5	0.802	87
Tangkil	5	0.802	96
Sengguruh	5	0.761	117
Dampit	6	0.752	153
Poncokusuma	6	0.829	93

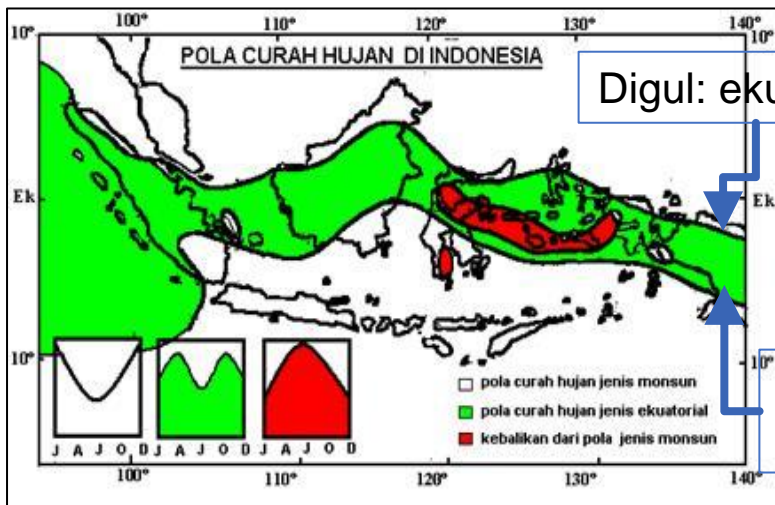
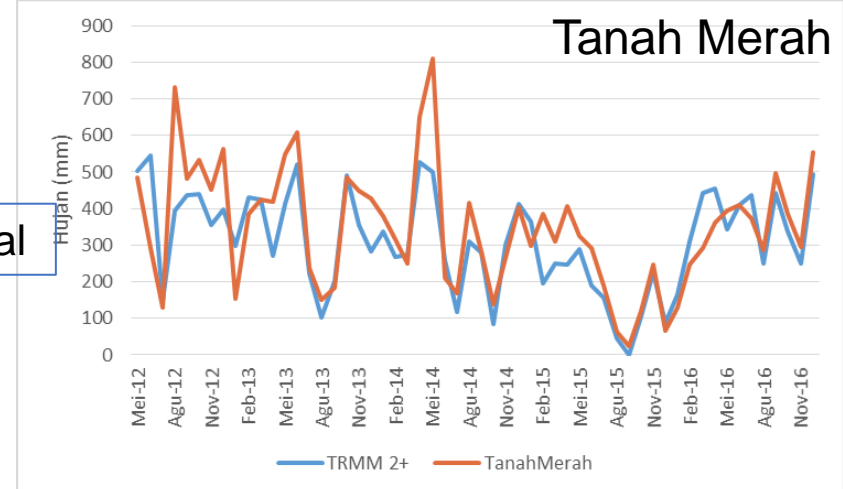
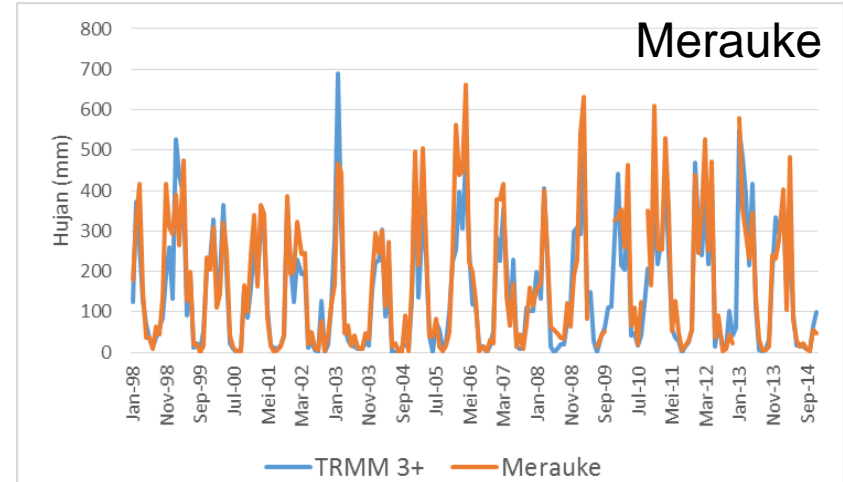
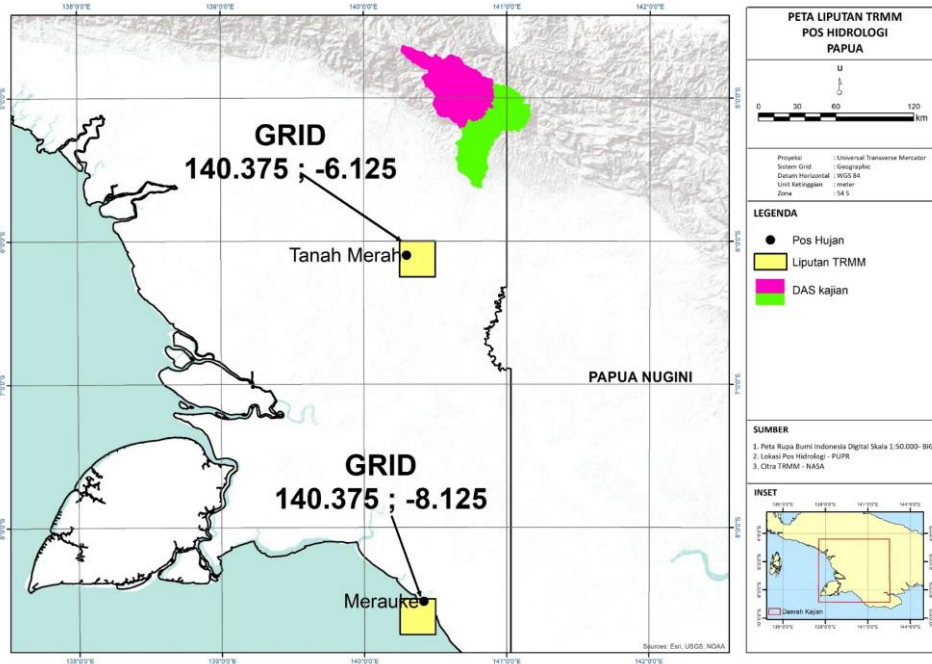


KOREKSI DATA HUJAN SATELIT

Dalam pemilihan data groundstation, direkomendasikan untuk menggunakan/ melibatkan sebanyak mungkin stasiun hujan dan grid data satelit.
Contoh Extension Grid Agar Dapat Mencakup setidaknya 1 Pos Hujan.
Mempertimbangkan juga kesamaan pola hujan



KOREKSI DATA HUJAN SATELIT

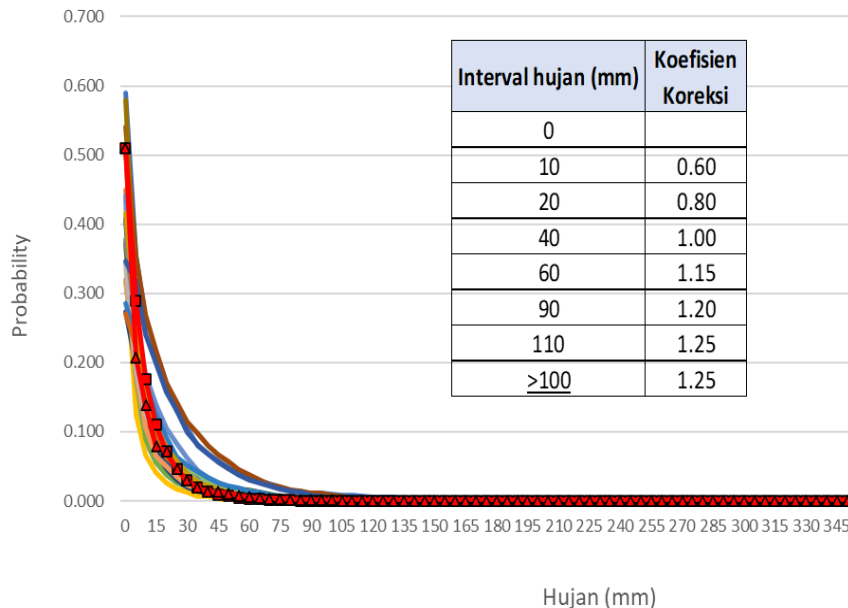


Digul: ekuatorial

Merauke: monsun
(seperti Jawa)

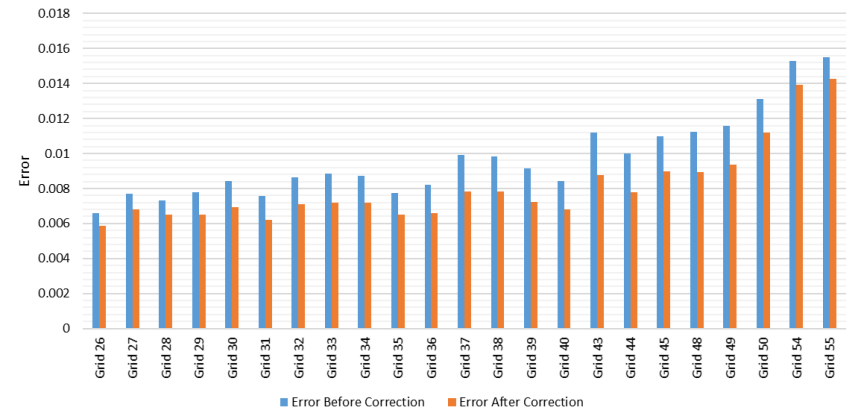
KOREKSI DATA HUJAN SATELIT

Menentukan faktor koreksi untuk jenjang hujan tertentu melalui *trial and error* agar lengkung probabilitas data TRMM dengan koreksi lebih mendekati lengkung probabilitas data stasiun hujan.



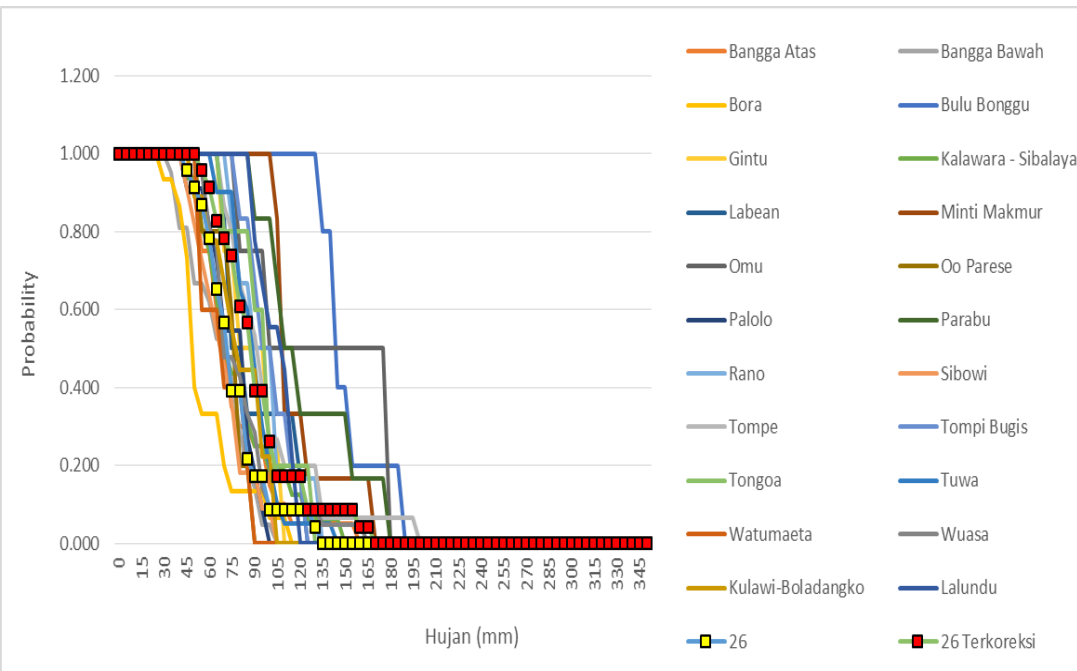
Contoh koefisien koreksi berjenjang yang ***tidak berlaku secara umum*** diseluruh Indonesia.

CONTOH : Error Hujan Harian



KOREKSI DATA HUJAN SATELIT

- Dalam kaitannya dengan perhitungan debit banjir, pemeriksaan perlu dilakukan terhadap lengkung distribusi dari seri data HHMT.
- Perlu diperiksa juga perbandingan antara hujan rencana sebelum dan sesudah koreksi.



Contoh Perbandingan Hasil Analisis Hujan Rencana TRMM dan Groundstation

