

Studi Pemanfaatan Curah Hujan Bulanan Satelit GPM di Kawasan Bandung Raya dengan Validasi Silang Monte-Carlo

S. SANJAYA¹, Doddi YUDIANTO¹, Wanny ADIDARMA¹, Finna FITRIANA¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, email: sanjaya.stephen@unpar.ac.id

Sejarah artikel

Diserahkan: 21 Maret 2022
Dalam bentuk revisi: -

Diterima: 23 April 2022
Tersedia online: 18 Juni 2022

Abstract

Limited distribution and amount of rain gauge can be overcome by utilizing satellite-derived rainfall product. Along with the technological advancement, satellite-derived rainfall, i.e. GPM has shown improved accuracy and spatial coverage. The application of this data should also be followed by validation process, such as correction in which enhancing the performance of the data. Many studies have been conducted on the evaluation and correction of GPM, nevertheless such studies are very limited in Indonesia. Therefore, this study is aimed to evaluate the performance of satellite-derived rainfall (GPM IMERG) and to perform a correction using Monte-Carlo Cross Validation in Greater Bandung. Specifically, it is emphasized to the comparison between GPM and gauge using statistical analysis for monthly data. The results have shown that GPM is able to detect the variability of monthly rainfall very well. The monthly rainfall then is clustered based on its season and reveals that the correlation of monthly GPM in dry season is higher than in wet season, both compared to the ground station. To increase its performance, correction using MCCV with 1.000 times of simulation was performed and moderately improved 70% of RB and 30% of RMSE, in Greater Bandung.

Keywords: satellite rainfall, GPM IMERG, monte-carlo cross validation, greater bandung

Abstrak

Keterbatasan sebaran dan jumlah pos penakar hujan dapat diatasi pengukuran hujan berbasis satelit. Seiring perkembangan teknologi, pengukuran hujan berbasis satelit, seperti GPM menunjukkan akurasi dan cakupan yang semakin membaik. Tentunya penggunaan hujan satelit ini juga perlu disertai dengan proses validasi berupa koreksi yang semakin mampu meningkatkan performanya. Banyak studi evaluasi dan koreksi data satelit telah dilakukan, hanya ada studi terbatas yang telah dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu, studi ini bermaksud untuk mengevaluasi performa data hujan berbasis satelit (GPM IMERG) dan melakukan koreksi dengan metode validasi silang Monte-Carlo di Bandung Raya. Secara spesifik, studi ini menitikberatkan pada perbandingan antara data GPM dan pos hujan melalui analisis statistik untuk hujan bulanan. Hasil menunjukkan bahwa, data GPM mampu mendeteksi pola hujan bulanan dengan baik. Data bulanan tersebut dikelompokkan berdasarkan musimnya dan menghasilkan korelasi hujan musim kering yang lebih baik pada musim basah. Koreksi dengan MCCV dengan simulasi 1.000 kali berdasarkan musim tersebut menunjukkan peningkatan performa rata-rata sebesar 70% untuk bias relatif, dan 30% untuk RMSE, di kawasan Bandung Raya.

Kata kunci: hujan satelit, GPM IMERG, validasi silang monte-carlo, bandung raya

1. Pendahuluan

Sejak dahulu kala, pengukuran data curah hujan dilakukan secara manual ataupun otomatis dengan pos hujan. Metode ini mengukur hujan secara langsung yang jatuh dari atmosfer ke

permukaan bumi. Akan tetapi, dalam hal cakupan spasial, pos hujan sulit untuk mengakomodasi kebutuhan analisis yang presisi apabila sebaran lokasinya terbatas, terkhususnya apabila variabilitas spasialnya tinggi (Vernimmen dkk., 2012). Konsekuensi penggunaan data tersebut adalah kesalahan yang lebih fatal dalam pengambilan keputusan. Fakta tersebut juga diperparah dengan kondisi pengukuran data hujan yang hilang akibat adanya faktor kelalaian dari pengamat maupun dari pengelolaannya. Oleh karena itu, keterbatasan penggunaan data pos hujan dapat diatasi dengan berbagai solusi pengukuran hujan lainnya, seperti data pengukuran hujan berbasis satelit.

Pengukuran hujan berbasis satelit ini mampu mengurangi efek variabilitas spasial dan memiliki pengukuran yang konsisten sepanjang waktu. Dewasa ini, ada banyak produk data hujan berbasis satelit. Salah satu diantaranya yang populer digunakan adalah data yang diluncurkan oleh NASA dan JAXA, yaitu *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Akan tetapi, misi pengukuran ini telah berakhir pada tahun 2015 dan digantikan dengan teknologi generasi terbaru dalam produk *Global Precipitation Measurement* (GPM). GPM yang diluncurkan pada bulan Februari 2014 ini tidak hanya menawarkan teknologi yang lebih baik, tetapi juga hasil yang lebih akurat dan cakupan spasial yang lebih luas daripada TRMM (Blumenfeld, 2019; Hou dkk., 2014; Tong dkk., 2018). Perbandingan kedua produk pengukuran hujan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan spesifikasi produk data hujan satelit TRMM dan GPM

Parameter	TRMM	GPM
Waktu peluncuran	1997 – Juni 2015	Februari 2014
Resolusi spasial dalam derajat	0,25°x0,25°	0,1°x0,1°
Resolusi spasial dalam km	28 x 28 km	11 x 11 km
Resolusi temporal	3 jam	30 menit
Cakupan spasial	37°U/S	68°U/S

Beberapa studi penerapan data ini menjelaskan bahwa GPM memiliki performa yang lebih baik dari TRMM (Tang dkk., 2015), terkhususnya pada daerah dengan elevasi tinggi (R. Xu dkk., 2017). Di samping itu, penggunaan data GPM dalam analisis hidrologi menunjukkan bahwa produk hujan GPM mampu mendeteksi hujan intensitas rendah lebih baik, namun merekam hasil yang terlalu tinggi pada hujan intensitas tinggi (Tong dkk., 2018). Selain itu, data hujan satelit GPM bulanan memiliki korelasi yang lebih tinggi terhadap stasiun penakar hujan di Pulau Siprus (Retalis dkk., 2018).

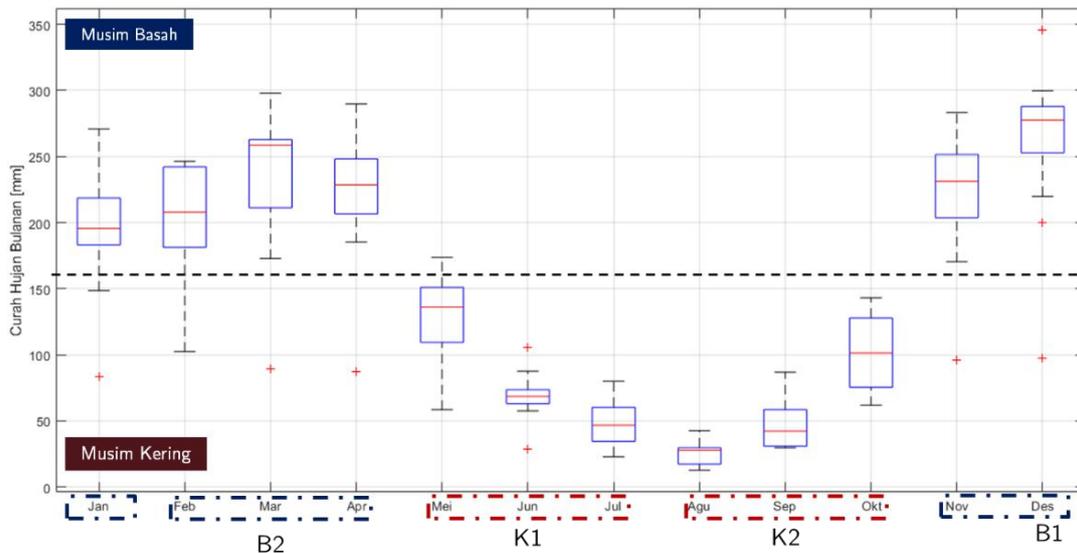
Walaupun data klimatologi berbasis satelit ini sudah semakin mudah untuk diakses dan semakin memiliki akurasi yang baik, akan tetapi aplikasi data tersebut juga harus disertai dengan proses koreksi. Banyak studi koreksi data satelit telah dilakukan, terutama dalam perbaikan performa data GPM, hanya ada studi terbatas yang telah dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu, studi ini bermaksud untuk mengevaluasi performa data hujan berbasis satelit (GPM IMERG) dan melakukan koreksi dengan metode validasi silang Monte-Carlo di Bandung Raya. Salah satu kelebihan dari penggunaan validasi silang Monte-Carlo dalam koreksi data hujan adalah dapat meminimalisir pengaruh dari efek jangka panjang pada proses kalibrasi akibat periode kekeringan maupun hujan ekstrim (Hashemi dkk., 2017).

Secara spesifik, studi ini menitikberatkan pada perbandingan antara data GPM dan pos hujan melalui analisis statistik untuk hujan bulanan. Hasil analisis hujan bulanan ini nantinya dapat digunakan untuk analisis kebutuhan air, analisis perubahan iklim, dll. Selain itu, studi ini juga merupakan keberlanjutan dari studi pendahulunya yang menggunakan data satelit TRMM di kawasan Bandung Raya untuk kondisi ekstrim. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa data hujan TRMM menghasilkan intensitas hujan untuk periode ulang 25 tahun yang lebih konsisten dibandingkan data pos hujan (Muticara dkk., 2017). Di samping itu, studi tersebut mengungkapkan adanya pola yang meningkat dari curah hujan ekstrim di kawasan Bandung pada dekade terakhir.

2. Data dan Metodologi

Lokasi Studi dan Data

Bandung Raya terletak pada daerah hulu dari Sungai Citarum, dan menjadi daerah tangkapan air sebelum bermuara ke tiga bendungan di daerah hilirnya. Ketiga bendungan ini memiliki peranan yang penting dalam pasokan ketersediaan air dan juga produksi energi tenaga hidro. Kota Bandung, sendiri sebagai ibu kota dari Jawa Barat terletak di $6,9175^{\circ}\text{LS}$ dan $107,6191^{\circ}\text{BT}$. Berdasarkan klasifikasi *Köppen Climate* (Centre & Wetterdienst, 2006), Bandung memiliki total hujan dibawah 60 mm pada musim kering, menjadikan kota ini dan sekitarnya mengalami iklim monsoon tropis (Am). Pola iklim ini menjadikan musim kering terjadi pada bulan Mei sampai dengan Oktober, dan musim basah pada bulan November hingga April, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Selain itu, hasil analisis data hujan bulanan pada kawasan Bandung Raya salah satu menunjukkan adanya indikasi kecenderungan penurunan nilai rata-rata bulanan (Sanjaya dkk., 2021).



Gambar 1. Curah hujan rata-rata bulanan Bandung Raya tahun 2001-2015

Data pos hujan yang digunakan dalam studi ini tersebar di kawasan Bandung Raya sebanyak 14 stasiun, dengan periode tahun 2001-2015. Sedangkan, data satelit GPM (Huffman dkk., 2019) yang digunakan adalah data GPM 3IMERGD dengan periode tahun yang sama. Gambar 2 mengilustrasikan posisi pos penakar hujan dengan grid GPM di Bandung Raya.

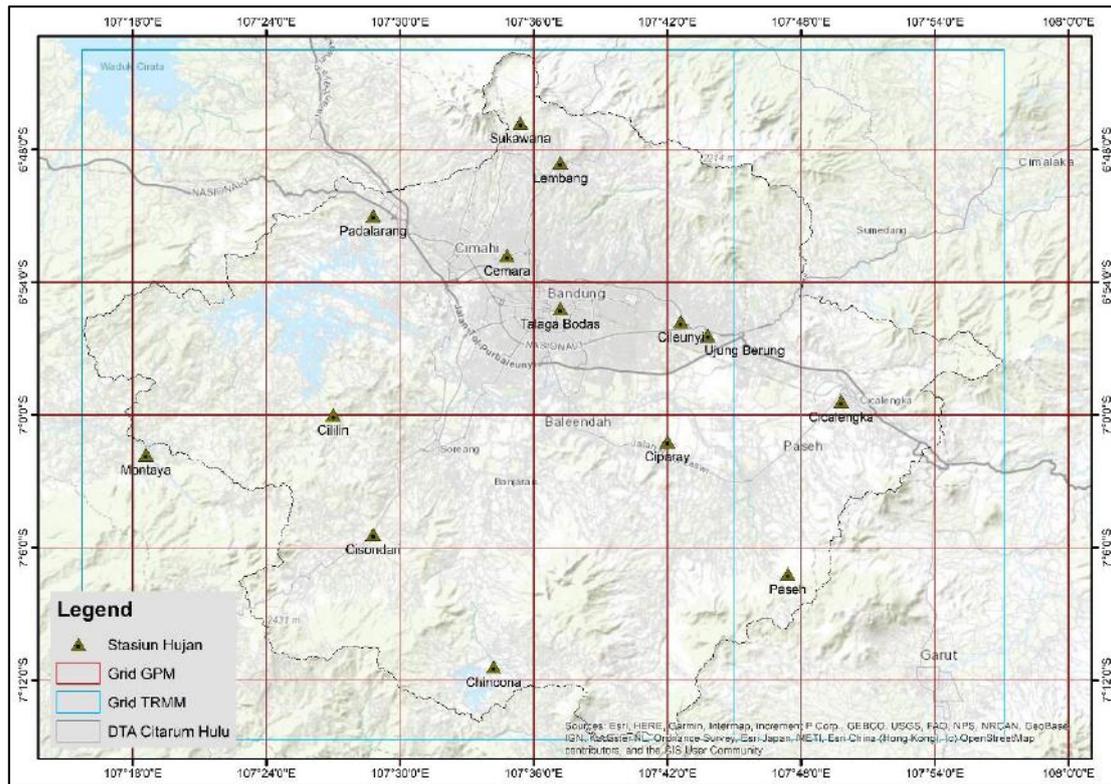
Fungsi Evaluasi Statistik

Dalam mengevaluasi performa data GPM, beberapa fungsi objektif digunakan dalam studi ini, antara lain koefisien korelasi, *root mean square error* dan bias relatif. Koefisien korelasi menunjukkan nilai signifikansi hubungan antara dua variabel, dengan rentang $-1 \leq r \leq 1$. Koefisien korelasi negatif satu (-1) menunjukkan hubungan variabel yang berbanding terbalik, sedangkan koefisien korelasi positif satu (1) menunjukkan hubungan proporsionalitas variabel yang sebanding. Nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

dimana,

- r : koefisien korelasi;
- \bar{X} : nilai rata-rata variabel acak X;
- X_i : nilai variabel X ke-i;
- \bar{Y} : nilai rata-rata variabel acak Y;
- Y_i : nilai variabel Y ke-i.



Gambar 2. Grid data satelit (TRMM dan GPM) dan stasiun pencatat hujan di Bandung Raya

Root Mean Square Error adalah nilai yang mengukur perbedaan antara nilai hasil prediksi dari sebuah model dengan nilai hasil observasi. Nilai RMSE adalah nilai bilangan bulat positif, dengan nilai nol (0) sebagai kondisi dengan hubungan ideal kedua variabel. Nilai akar dari rata-rata penyimpangan kuadrat ini, secara matematik disajikan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \hat{X}_i)^2}{N}} \quad (2)$$

dimana,

- $RMSE$: *Root mean square error*;
- X_i : nilai hasil prediksi dari model ke- i ;
- \hat{X}_i : nilai hasil observasi ke- i ;
- N : jumlah data.

Bias relatif (RB) adalah estimasi nilai penyimpangan yang secara kualitatif menggambarkan akurasi sebuah variabel terhadap variabel tertentu. Dalam hal ini, variabel penentu akurasi adalah data hujan bulanan pos penakar hujan bulanan, sedangkan variabel yang akan diuji adalah data GPM. Persamaan bias relatif dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{\sum_{i=1}^n Y_i} \times 100 \quad (3)$$

dimana,

- RB : *relative bias*;
- X_i : nilai variabel X ke- i ;
- Y_i : nilai variabel Y ke- i ;
- n : jumlah data.

Fungsi Koreksi untuk Data Satelit

Proses koreksi data satelit menggunakan fungsi matematis, dapat dilakukan dengan berbagai jenis fungsi. Salah satu diantara proses koreksi adalah menggunakan jenis fungsi geometrik. Fungsi ini digunakan dalam koreksi data bulanan TRMM (Mamenun dkk., 2014), terutama

untuk lokasi yang memiliki pola hujan monsun. Fungsi geometrik disajikan dalam fungsi matematik sebagai berikut:

$$y' = \alpha \cdot y^\beta \quad (4)$$

dimana,

y' : data hujan satelit yang telah terkoreksi [mm];

y : data hujan satelit [mm];

α : koefisien koreksi alfa;

β : koefisien koreksi beta.

Kalibrasi dan Validasi Koreksi

Kalibrasi dan validasi model koreksi pada studi ini menggunakan metode validasi silang Monte-Carlo atau *Monte-Carlo Cross Validation* (MCCV). MCCV adalah sebuah metode estimasi koefisien koreksi dengan menginisiasi pembagian data menjadi dua rangkaian. Sejumlah persentase dari data adalah rangkaian data *training*, dan sisa persentasenya adalah data *testing*. Data *training* adalah rangkaian data yang digunakan untuk mengestimasi besaran koefisien koreksinya, sedangkan data *testing* adalah rangkaian data yang digunakan untuk evaluasi besaran penyimpangan yang terjadi. Proses acak dalam metode ini terjadi saat pemilihan rangkaian data tersebut untuk setiap simulasi yang dilakukan. Proses ini akan menghasilkan kalibrasi parameter yang memiliki risiko yang kecil terhadap *over-fitting* (Q. S. Xu & Liang, 2001). Simulasi tersebut diulang sebanyak N-kali, begitu juga dengan estimasi besaran penyimpangan setiap simulasinya. Secara matematis, rata-rata besaran nilai penyimpangan dituliskan sebagai berikut:

$$\bar{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i \quad (5)$$

dimana,

\bar{E} : rata-rata nilai penyimpangan;

E_i : penyimpangan simulasi ke-i;

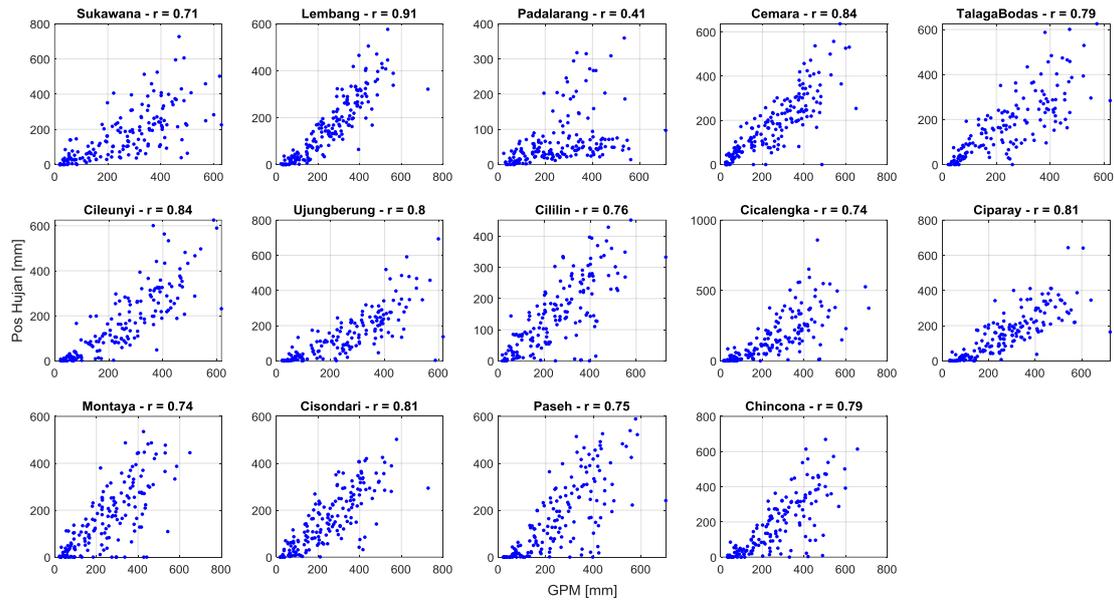
N : total simulasi.

Dalam studi ini, nilai penyimpangan setiap simulasi dihasilkan dengan menggunakan persamaan bias relatif, sebanyak 1.000 kali. Setiap simulasi juga menggunakan asumsi 75% data training dan 25% data testing.

3. Hasil dan Pembahasan

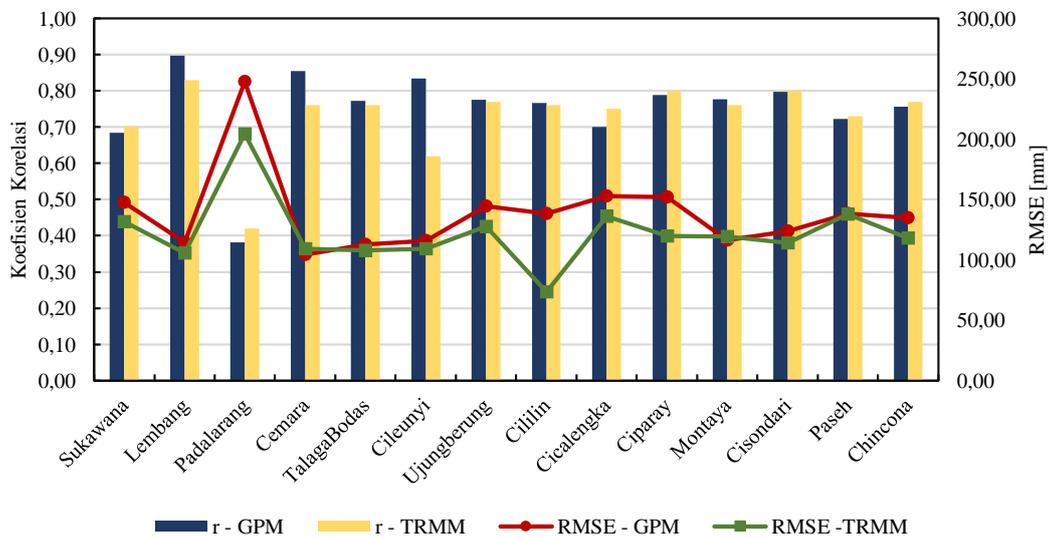
Hujan Bulanan Data Satelit dengan Pos Hujan

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hujan bulanan antara setiap pos hujan dengan data satelit GPM di kawasan Bandung dan sekitarnya. Secara umum, hujan bulanan GPM memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan hujan bulanan pada pos. Hasil ini konsisten terjadi pada 14 pos stasiun hujan pada Bandung Raya. Walaupun demikian, hujan tahunan GPM mampu mendeteksi pola hujan yang tercatat pada pos hujan, kecuali pada pos hujan Padalarang.



Gambar 3. Koefisien korelasi data hujan bulanan tahun 2001-2015 untuk seluruh stasiun dengan GPM

Selain itu, performa dari data hujan GPM dibandingkan dengan data hujan TRMM yang merupakan hasil studi sebelumnya di kawasan Bandung Raya (Mutiara dkk., 2017). Perbandingan kedua produk ini untuk data bulanan di Bandung Raya, menunjukkan hasil rata-rata RMSE pada TRMM yang lebih baik daripada GPM. Sedangkan, koefisien korelasi kedua data ini menunjukkan hasil yang cukup setara, walaupun data GPM cenderung lebih baik. Perbandingan hasil ini disajikan pada Gambar 4. Setelah melakukan evaluasi data, selanjutnya koreksi data hujan bulanan akan dilakukan guna meningkatkan performanya.



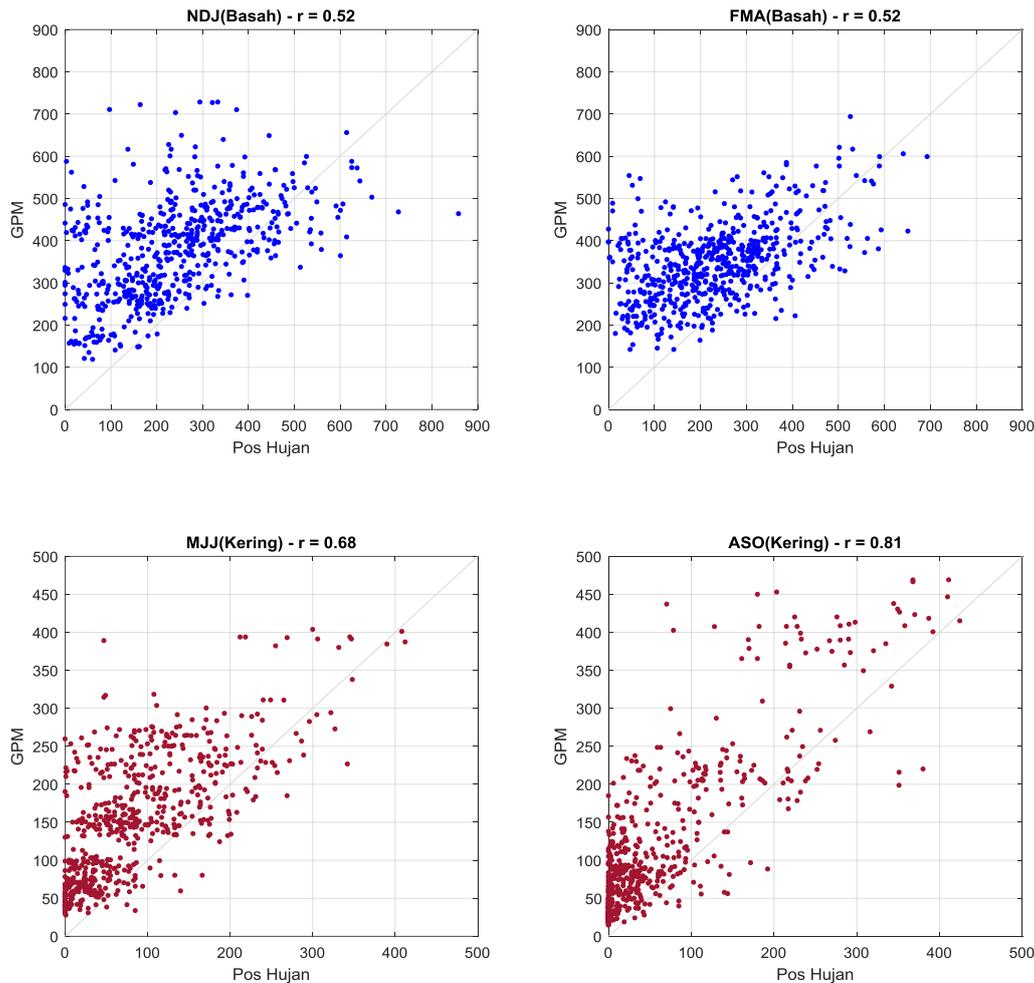
Gambar 4. Hasil fungsi objektif statistik antara 14 pos hujan dengan data satelit

Hasil Kalibrasi Koreksi Data Bulanan

Salah satu kelemahan metode koreksi data satelit terhadap satu stasiun adalah nilai tersebut hanya dapat digunakan untuk memperbaiki satu grid saja. Hal ini tentunya akan menjadi masalah terutama ketika jumlah pos penakar hujan terbatas pada sebuah daerah tangkapan air. Salah satu diantara banyak solusi dari permasalahan tersebut adalah menyediakan sebuah koreksi nilai hujan regional atau pada sebuah kawasan, seperti yang akan dilakukan pada studi ini. Selain itu juga, data hujan bulanan akan dikelompokkan menjadi dua, yaitu musim kering dan musim basah (lihat Gambar 1). Pengelompokan data berdasarkan musim ini juga

dimotivasi oleh karena adanya perbedaan deteksi hujan data satelit pada musim tertentu (Sundkk., 2018).

Gambar 5 menunjukkan plot data hujan bulanan yang telah dikelompokkan berdasarkan musim kering dan basah antara pos hujan dan GPM di Bandung Raya. Berdasarkan kelompok ini juga, data hujan bulanan musim kering menunjukkan korelasi yang lebih baik dibandingkan pada musim basah. Nilai korelasi data musim kering adalah sebesar 0,68 dan 0,81, berturut-turut untuk musim kering 1 dan 2, sedangkan koefisien korelasi musim basah memiliki nilai sebesar 0,52 untuk kedua periode musim basah. Secara lebih detail juga, hasil evaluasi statistik data berdasarkan klasifikasi musim tersebut disajikan pada Tabel 3, pada bagian sebelum koreksi.



Gambar 5. Plot data hujan bulanan berdasarkan musim antar pos hujan dengan GPM pada kawasan Bandung

Berdasarkan data kelompok musim tersebut, koreksi dengan fungsi geometrik dilakukan dengan metode MCCV, dan menghasilkan nilai alfa dan beta untuk keempat kelompok tersebut. Nilai koefisien alfa dan beta dari hasil simulasi 1.000 kali disajikan pada Tabel 2. Selain itu, selama proses ini pengujian nilai alfa dan beta diuji validitas performanya dengan koefisien RB, yang secara rata-rata juga disampaikan pada Tabel 2. Nilai koefisien dengan fungsi geometrik ini, kemudian diterapkan untuk masing-masing data kelompok musim.

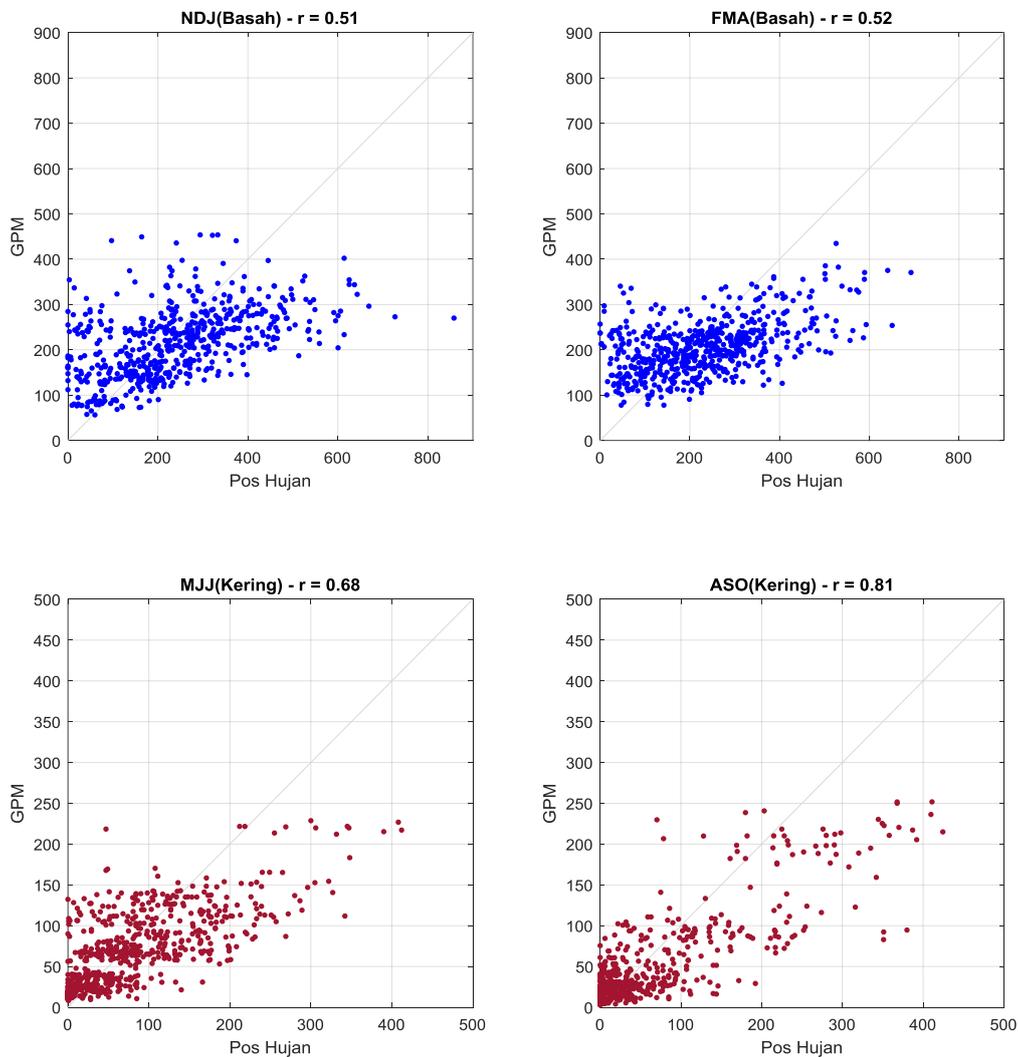
Tabel 2. Nilai Koefisien Koreksi dan RB untuk setiap kelompok musim hasil simulasi MCCV

Musim	Basah		Kering		
	Bulan	NDJ	FMA	MJJ	ASO
Alfa (α)		0,23	0,36	0,14	0,09
Beta (β)		1,15	1,08	1,24	1,29
RB [%]		77,73	66,44	60,95	84,23

Tabel 3. Nilai fungsi objektif sebelum dan sesudah data dikoreksi pada bulan musim basah dan kering

Musim	Sebelum Koreksi				Sesudah Koreksi			
	Basah		Kering		Basah		Kering	
Bulan	NDJ	FMA	MJJ	ASO	NDJ	FMA	MJJ	ASO
Koefisien Korelasi	0,52	0,52	0,68	0,81	0,51	0,52	0,68	0,81
RMSE	186,58	162,82	93,28	90,00	125,89	113,89	59,02	62,17
RB	54,95	50,74	73,56	75,39	-11,96	-10,58	-18,14	-26,68

Secara umum, koreksi terhadap data hujan GPM dengan metode ini tidak memberikan peningkatan nilai korelasi. Akan tetapi, performa peningkatan yang signifikan terjadi pada nilai bias relatif dan RMSE. Hasil evaluasi ini menunjukkan peningkatan performa rata-rata sebesar 70% untuk hasil bias relatif, sedangkan perbaikan penyimpangan rata-rata sebesar 30% untuk hasil RMSE. Hasil koreksi terhadap data tersebut juga disajikan pada Gambar 6. Selain itu juga, penggunaan faktor koreksi yang mempertimbangkan lokasi dan medan dapat menjadi langkah yang baik dalam meningkatkan akurasi produk GPM walaupun pada daerah yang memiliki pos penakar hujan yang sangat jarang (Lu dkk., 2018).



Gambar 6. Hasil koreksi hujan bulanan untuk musim kering dan basah

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan studi koreksi data GPM adalah sebagai berikut:

1. Secara umum, data GPM IMERG mampu mendeteksi hujan bulanan, akan tetapi memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan pos hujan. Hujan bulanan tiap stasiun

tersebut memberikan nilai koefisien korelasi rata-rata diatas 0,70, kecuali untuk pos hujan Padalarang.

2. Data hujan bulanan dikelompokkan berdasarkan musimnya, dengan tujuan mendapatkan bentuk koreksi regional, yaitu kawasan Bandung Raya. Hasil korelasi pengelompokkan hujan ini menunjukkan bahwa hujan bulanan GPM pada musim kering memberikan korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan hujan bulanan musim basah.
3. Koreksi dengan MCCV dengan simulasi 1.000 kali dengan pengelompokkan data hujan bulanan GPM berdasarkan musim menunjukkan peningkatan rata-rata performa sebesar 70% untuk bias relatif, dan 30% untuk RMSE, di kawasan Bandung Raya.

Sedangkan, saran yang dapat diberikan untuk keberlanjutan dari studi ini, terutama yang berkaitan dengan faktor koreksi, adalah pertimbangan untuk memasukkan data elevasi atau kecepatan angin terutama pada medan bergelombang di dalam perhitungan faktor koreksinya. Selain itu, faktor koreksi juga dapat dilakukan dengan menggunakan kurva probabilitas.

5. Ucapan Terima kasih

Penelitian ini tidak akan bisa terselenggara apabila tidak didukung oleh IATS (Ikatan Alumni Teknik Sipil). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terselesainya penulisan makalah ini, terutama kepada seluruh penulis lainnya yang telah meluangkan waktu untuk mendiskusikan hasil penelitian ini.

6. Referensi

- Blumenfeld, J. (2019). *From TRMM to GPM: The Evolution of NASA Precipitation Data | Earthdata*. <https://earthdata.nasa.gov/trmm-to-gpm>
- Centre, P. C., & Wetterdienst, D. (2006). *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Hashemi, H., Nordin, M., Lakshmi, V., Huffman, G. J., & Knight, R. (2017). Bias correction of long-term satellite monthly precipitation product (TRMM 3B43) over the conterminous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 18(9), 2491–2509. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0025.1>
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K., & Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701–722. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>
- Huffman, G. J., Stocker, E. F., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., & Jackson, T. (2019). *GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V06*. Edited by Andrey Savtchenko, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). <https://doi.org/https://doi.org/10.5067/GPM/IMERGDF/DAY/06>
- Lu, X., Wei, M., Tang, G., & Zhang, Y. (2018). Evaluation and correction of the TRMM 3B43V7 and GPM 3IMERGM satellite precipitation products by use of ground-based data over Xinjiang, China. *Environmental Earth Sciences*, 77(5), 209. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7378-6>
- Mamenun, M., Pawitan, H., & Sopaheluwakan, A. (2014). Validasi Dan Koreksi Data Satelit Trmm Pada Tiga Pola Hujan Di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 15(1), 13–23. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i1.169>
- Mutiara, J., Yudianto, D., & Fitriana, F. (2017). Studi Perbandingan Curah Hujan Hasil Pengukuran Pos Hujan dan Satelit Untuk Wilayah Bandung. *PIT HATHI Prosiding*, 8.
- Retalis, A., Katsanos, D., Tymvios, F., & Michaelides, S. (2018). Validation of the first years of GPM operation over Cyprus. *Remote Sensing*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/rs10101520>
- Sanjaya, S., Yudianto, D., & Aulia, W. (2021). Study on Monthly Rainfall Trend Impact on Reservoir Simulation in Greater Bandung. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (pp. 3–11). https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3_1
- Sun, W., Sun, Y., Li, X., Wang, T., Wang, Y., Qiu, Q., & Deng, Z. (2018). Evaluation and Correction of GPM IMERG Precipitation Products over the Capital Circle in Northeast China at Multiple Spatiotemporal Scales. *Advances in Meteorology*, 2018, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2018/4714173>
- Tang, G., Zeng, Z., Long, D., Guo, X., Yong, B., Zhang, W., & Hong, Y. (2015). Statistical and Hydrological Comparisons between TRMM and GPM Level-3 Products over a Midlatitude Basin: Is Day-1 IMERG a Good Successor for TMPA 3B42V7? *Journal of Hydrometeorology*, 17(1), 121–137. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0059.1>
- Tong, K., Zhao, Y., Wei, Y., Hu, B., & Lu, Y. (2018). Evaluation and hydrological validation of GPM precipitation products over the Nanliu River Basin, Beibu Gulf. *Water (Switzerland)*, 10(12).

<https://doi.org/10.3390/w10121777>

- Vernimmen, R. R. E., Hooijer, A., Mamenun, Aldrian, E., & Van Dijk, A. I. J. M. (2012). Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. *Hydrology and Earth System Sciences*, *16*(1), 133–146. <https://doi.org/10.5194/hess-16-133-2012>
- Xu, Q. S., & Liang, Y. Z. (2001). Monte Carlo cross validation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *56*(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(00\)00122-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(00)00122-2)
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H., & Hou, A. (2017). Ground validation of GPM IMERG and trmm 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, *122*(2), 910–924. <https://doi.org/10.1002/2016JD025418>

JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL

Efek Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Dengan Penambahan Fly Ash
Ardianto SOAMOLE, Mufti Amir SULTAN, Arbain TATA

Analisis Pengaruh Pemberian Gaya Prategang Pada Struktur Jembatan Gelagar Baja Komposit
Beatrix ZEBUA, Samsuardi BATUBARA, Martius GINTING

Studi Eksperimental Kuat Lentur Beton Serat Sisal
SOFYAN, David SARANA

Studi Pemanfaatan Curah Hujan Bulanan Satelit GPM di Kawasan Bandung Raya dengan Validasi Silang Monte-Carlo
S. SANJAYA, Doddi YUDIANTO, Wanny ADIDARMA, Finna FITRIANA

Pengaruh Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Keberhasilan Sebuah Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Gedung The Stature Jakarta)
Harris SINAGA, Edison Hatoguan MANURUNG, Kasimir SAWITO, Charles SITINDAON

Analisis Faktor Keterlambatan Pekerjaan Preservasi Jalan Weda-Sagea Berdasarkan Persepsi Stakeholder
Joone Seisi Margareth MANUS, Nurmayasa MARSAOLY, Raudha HAKIM



Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)

Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas berisi artikel-artikel ilmiah yang meliputi kajian di bidang teknik khususnya Teknik Sipil, seperti matematika teknik, mekanika teknik, analisis struktur, konstruksi baja, konstruksi beton, konstruksi kayu, konstruksi gelas, mekanika tanah, teknik pondasi, hidrologi, hidrolika, bangunan air, manajemen konstruksi, dinamika struktur, *earthquake engineering*, sistem dan rekayasa transportasi, ilmu ukur tanah, struktur bangunan sipil, rekayasa jalan raya, serta penelitian-penelitian lain yang terkait dengan bidang-bidang tersebut.

Terbit dalam 2 (dua) kali setahun yaitu pada bulan April dan September

Penasihat :

Rektor Universitas Katolik Santo Thomas

Ketua Penyunting (Editor in Chief) :

Ir. Oloan Sitohang, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Manajer Penyunting (Managing Editor):

Reynaldo, S.T., M.Eng. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Anggota Penyunting (Editorial Board):

Dr.-Ing. Sofyan, S.T, M.T. (Universitas Malikussaleh)

Ir. Martius Ginting, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Samsuardi Batubara, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr. Janner Simarmata (Universitas Negeri Medan)

Mitra Bestari (Peer Reviewer):

Dr.Eng. Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. (Universitas Lampung, Indonesia)

Ir. Binsar Silitonga, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Budi Hasiholan, S.T., M.T., Ph.D (Institut Teknologi Bandung, Indonesia)

Ir. Charles Sitindaon, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Erica Elice Uy (De La Salle University, Philippines)

Dr. Ernesto Silitonga, S.T, D.E.A. (Universitas Negeri Medan, Indonesia)

Prof. Dr-Ing. Johannes Tarigan (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)

Linda Prasetyorini (Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia)

Dr.Eng. Mia Wimala (Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia)

Dr.Eng. Minson Simatupang (Universitas Halu Oleo, Indonesia)

Dr. Mochamad Raditya Pradana (Keppel Marine and Deepwater Technology, Singapura)

Dr. Ir. Shirley Susanne Lumeno, S.T., M.T. (Universitas Negeri Manado, Indonesia)

Dr. Senot Sangadji (Universitas Sebelas Maret, Indonesia)

Ir. Simon Dertha, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Thi Nguyễn Cao (Tien Giang University, Viet Nam)

Ilustrator Sampul:

Yulianto, ST., M.Eng (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Penerbit & Alamat Redaksi:

Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas

Jl. Setiabudi No. 479-F Tanjung Sari, Medan 20132

Telp. (061) 8210161 Fax : (061) 8213269

email : sipil@ust.ac.id

Konten

REKAYASA STRUKTUR	hal.
Efek Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Dengan Penambahan Fly Ash	1-10
<i>Ardianto SOAMOLE, Mufti Amir SULTAN, Arbain TATA</i>	
Analisis Pengaruh Pemberian Gaya Prategang Pada Struktur Jembatan Gelagar Baja Komposit	11-21
<i>Beatrix ZEBUA, Samsuardi BATUBARA, Martius GINTING</i>	
Studi Eksperimental Kuat Lentur Beton Serat Sisal	23-29
<i>SOFYAN, David SARANA</i>	
TEKNIK SUMBER DAYA AIR	
Studi Pemanfaatan Curah Hujan Bulanan Satelit GPM di Kawasan Bandung Raya dengan Validasi Silang Monte-Carlo	31-40
<i>S. SANJAYA, Doddi YUDIANTO, Wanny ADIDARMA, Finna FITRIANA</i>	
MANAJEMEN KONSTRUKSI	
Pengaruh Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Keberhasilan Sebuah Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Gedung The Stature Jakarta)	41-50
<i>Harris SINAGA, Edison Hatoguan MANURUNG, Kasimir SAWITO, Charles SITINDAON</i>	
Analisis Faktor Keterlambatan Pekerjaan Preservasi Jalan Weda-Sagea Berdasarkan Persepsi Stakeholder	51-59
<i>Joone Seisi Margareth MANUS, Nurmayasa MARSAOLY, Raudha HAKIM</i>	

Pengantar Redaksi

Puji dan syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih karuniaNYA kami dapat menyelesaikan penerbitan Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Volume 5 Nomor 1, di bulan Mei tahun 2022 ini. Jurnal ini fokus pada beragam subbidang dalam Teknik Sipil antara lain Rekayasa Struktur, Rekayasa Geoteknik, Rekayasa Transportasi, Teknik Sumber Daya Air, dan Manajemen Konstruksi. Namun, tidak menutup kesempatan bagi subbidang lainnya yang berkaitan dengan keilmuan Teknik Sipil.

Pada edisi ini, kami menerima 6 *peer-reviewed* artikel untuk diterbitkan, yang mana terdiri atas 3 (tiga) artikel dalam topik Rekayasa Struktur, 1 (satu) artikel dalam topik Teknik Sumber Daya Air, serta 2 (dua) artikel dalam topik Manajemen Konstruksi.

Seiring dengan semakin tingginya tuntutan kualitas publikasi ilmiah oleh pemerintah, pada edisi ini tim editorial berusaha meningkatkan kualitas *review* dan penyuntingan dengan harapan semakin baik pula kapasitas kita bersama, dan kualitas artikel ilmiah yang kita terbitkan. Dewan redaksi menyampaikan apresiasi tinggi kepada para penulis yang tulisannya diterbitkan pada volume ini, atas kerja samanya merespon komentar dan rekomendasi dari tim editorial dan mitra bestari. Kami menyadari bahwa butuh dedikasi dan investasi waktu untuk menghasilkan karya tulis yang baik dan bermanfaat. Terkhusus, kami bersyukur atas para mitra bestari yang tidak pernah lelah dalam menyambut permintaan kami dengan penuh dedikasi.

Sebagai penutup, harapan kami adalah semoga jurnal ini dapat menjadi media ilmiah yang bermanfaat dan informatif bagi rekan-rekan dan praktisi bidang ketekniksipilan di Indonesia. Salam hangat dan Salam sehat.

Medan, Mei 2022

Tim Editorial



JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL
| Volume 5 | Nomor 1 | Mei 2022 |

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas
<https://doi.org/10.54367>

