



Kalibrasi Estimasi Curah Hujan CHIRPS dengan Data Observasi di Semarang

Calibration of CHIRPS Rainfall Estimates using Observational Data in Semarang

Retnadi Heru Jatmiko^{1*}, Prayoga Ismail²

¹Fakultas Geografi, Universitas Gajah Mada, Jl. Kaliurang Sekip Utara, Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281

²BMKG Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin, Maros, Provinsi Sulawesi Selatan, 90552

*Email: prayoga.ismail@bmgk.go.id

Naskah Masuk: 27 Februari 2025 | Naskah Diterima: 18 Desember 2025 | Naskah Terbit: 31 Desember 2025

Abstrak. Presipitasi merupakan elemen cuaca dan iklim yang menjadi bagian utama dari siklus air di permukaan bumi. Upaya pengamatan presipitasi menggunakan jaringan penakar hujan *in situ* belum cukup menjangkau seluruh wilayah, termasuk di Kabupaten dan Kota Semarang. Penginderaan jauh berbasis satelit dan teknologi komputasi awan *Google Earth Engine* (GEE) dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan estimasi curah hujan dengan cakupan spasial. Penelitian ini mengoptimasi estimasi hujan CHIRPS melalui proses kalibrasi menggunakan data penakar hujan BMKG di wilayah Semarang pada periode 2021 – 2023 dan mengevaluasi sebaran spasial dan performanya sebelum dan setelah kalibrasi. Terhadap data observasi, hasil analisis data *original* CHIRPS menunjukkan perbedaan sebaran spasial cukup signifikan dengan RMSE harian mencapai 44 mm/hari, RSQ harian 0.02, dan SMAPE harian sebesar 99%. Analisis kolinearitas menunjukkan bahwa hubungan antara CHIRPS dan data observasi cenderung menyebar dan kurang linier pada skala harian, tetapi setelah kalibrasi, hubungan ini menjadi lebih kuat. Kalibrasi dengan metode *Geographical Differential Analysis* (GDA) berhasil memperbaiki keakuratan CHIRPS yang tercermin dari penurunan RMSE harian menjadi 25 mm/hari, peningkatan RSQ pada skala harian menjadi 0.62, dan pengurangan SMAPE harian menjadi 70%. Peningkatan performa ini juga teramati pada estimasi hujan skala bulanan dan tahunan. Data *calibrated* CHIRPS menghasilkan sebaran spasial dan performa lebih baik, dengan penurunan RMSE tahunan mencapai 10%, peningkatan RSQ tahunan sebesar 25%, dan SMAPE tahunan sebesar 20% dari data *original* – nya. Sensitivitas terhadap intensitas hujan juga mengalami peningkatan, dengan perbaikan indikator deteksi khususnya untuk hujan lebat-ekstrem, yaitu penurunan FAR hingga 58%, serta peningkatan POD hingga 73% dan CSI 48%.

Kata Kunci: Curah Hujan, CHIRPS, Kalibrasi Data Satelit, GDA, Google Earth Engine, Akurasi

Abstract. Precipitation is a crucial component of weather and climate, playing a fundamental role in the Earth's water cycle. However, *in situ*, rain gauge networks are still limited in their ability to comprehensively monitor precipitation across all regions, including Semarang regency and city. Satellite – based remote sensing and cloud computing technology, such as *Google Earth Engine* (GEE), offer a solution for generating rainfall estimates with spatial coverage. This study optimizes CHIRPS rainfall estimates through a calibration process using BMKG rain gauge data over the Semarang region for 2021 – 2023. It evaluates the spatial distribution and performance of CHIRPS before and after calibration. Compared to observational data, the original CHIRPS dataset exhibited significant spatial discrepancies, with a daily RMSE of 44 mm/day, a coefficient of determination (RSQ) of 0.02, and a SMAPE of 99%. The collinearity analysis showed that the

relationship between CHIRPS and observational data tends to be scattered and less linear on a daily scale, but after calibration, this relationship becomes stronger. Calibration using the Geographical Differential Analysis (GDA) method successfully improved CHIRPS accuracy, as indicated by a reduction in daily RMSE to 25 mm/day, an increase in daily RSQ to 0.62, and a decrease in daily SMAPE to 70%. These improvements were also observed in monthly and annual rainfall estimates. The calibrated CHIRPS data exhibited enhanced spatial distribution and performance, with a 10% reduction in annual RMSE, a 25% increase in annual RSQ, and a 20% decrease in annual SMAPE compared to the original dataset. Furthermore, sensitivity to rainfall intensity improved, particularly for heavy to extreme rainfall events, as evidenced by a 58% reduction in the FAR, a 73% increase in the POD, and a 48% improvement in the CSI.

Keywords: Rainfall, CHIRPS, Satellite Data Calibration, GDA, Google Earth Engine, Accuracy

Pendahuluan

Presipitasi merupakan komponen kunci dalam siklus hidrologi yang memengaruhi berbagai aspek kehidupan di Bumi, termasuk ketersediaan air bersih [1], pertanian [2], dan mitigasi bencana [3], [4]. Perubahan pola presipitasi dapat berdampak signifikan terhadap ketersediaan air dan produksi pertanian, serta meningkatkan risiko bencana seperti banjir dan kekeringan [5]. Jenis presipitasi yang umumnya terjadi di wilayah Indonesia berbentuk cair yaitu hujan. Pengamatan curah hujan secara akurat menjadi hal penting untuk memahami cuaca dan iklim, namun pengukuran curah hujan permukaan menggunakan jaringan penakar hujan *in situ* memiliki keterbatasan dalam cakupan wilayah, terutama di daerah-daerah yang sulit dijangkau. Kondisi ini juga dijumpai di Kabupaten dan Kota Semarang, sehingga diperlukan alternatif data yang mampu merepresentasikan distribusi spasial curah hujan secara lebih menyeluruh. Untuk mengatasi keterbatasan dalam observasi hujan *in situ*, pendekatan berbasis penginderaan jauh dapat menjadi solusi yang lebih luas dan efisien, seperti *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), yang menyediakan estimasi curah hujan dengan resolusi temporal harian dan arsip perekaman data jangka panjang [6].

Meskipun data multi-satelit seperti CHIRPS memiliki potensi untuk memberikan estimasi curah hujan yang luas, namun akurasi bergantung pada berbagai faktor seperti landasan konseptual dan data masukan utama dari sensor satelit, serta kualitas dan kuantitas data stasiun penakar hujan yang digunakan untuk kalibrasi [7]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan estimasi curah hujan CHIRPS dengan melakukan kalibrasi menggunakan data penakar hujan BMKG pada periode 2021 – 2023 khususnya di wilayah Semarang. *Google Earth Engine* (GEE), sebagai *platform* komputasi awan yang mampu mengolah data geospasial secara efisien [8], digunakan dalam penelitian ini untuk melakukan kalibrasi dan analisis spasial terhadap estimasi curah hujan. Dengan metode yang diadopsi dari penelitian kalibrasi terhadap multi – satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Indus [9] dan studi kalibrasi terhadap data *Integrated Multi – satellite Retrievals for GPM* (IMERG) di Tiongkok [10], diharapkan performa estimasi curah hujan pada studi ini dapat meningkat, menghasilkan distribusi yang lebih akurat, serta dapat digunakan untuk mendukung berbagai aplikasi hidrologi dan mitigasi bencana hidrometeorologi di wilayah Semarang dan sekitarnya.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan keakuratan estimasi curah hujan berbasis satelit. Antara lain adalah penggunaan metode regresi linier untuk melakukan *downscaling* data curah hujan satelit, seperti yang dilakukan pada data TRMM menggunakan data indeks vegetasi, sehingga dapat meningkatkan resolusi spasialnya, kemudian proses kalibrasi dengan teknik GDA terbukti meningkatkan keakuratan dan menurunkan tingkat kesalahan estimasi curah hujan [19]. Selain itu, metode *machine learning* seperti *Random Forest* telah digunakan untuk kalibrasi data TRMM setelah proses *downscaling*, yang terbukti meningkatkan akurasi estimasi curah hujan dibandingkan dengan data stasiun hujan [20]. Selain itu, studi tentang perbaikan performa estimasi hujan beberapa multi – satelit di GEE menggunakan data penakar hujan di Sulawesi Selatan dengan metode kalibrasi GDA juga berhasil

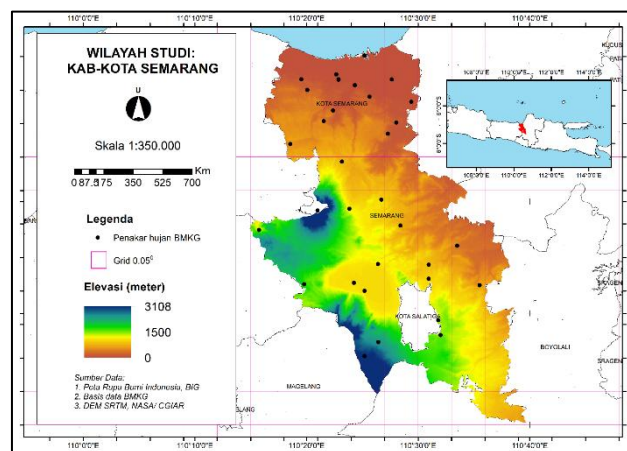


menunjukkan distribusi spasial yang lebih selaras dan mampu memperkecil bias estimasi curah hujan [18]. Namun demikian, hingga saat ini kajian mengenai performa CHIRPS dan penerapan metode kalibrasi berbasis GDA di wilayah Semarang masih sangat terbatas. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian yang perlu diisi untuk memperoleh estimasi curah hujan berbasis satelit yang lebih akurat dan dapat diandalkan di wilayah tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (a) menganalisis distribusi spasial estimasi curah hujan CHIRPS di Kabupaten dan Kota Semarang periode 2021 – 2023 pada skala tahunan, bulanan, dan harian sebelum dan sesudah kalibrasi; serta (b) mengevaluasi akurasi estimasi CHIRPS terhadap data observasi melalui metrik statistik dan indikator deteksi berdasarkan intensitas hujan. Dengan memanfaatkan platform *Google Earth Engine* (GEE) serta pendekatan GDA, penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan akurasi estimasi curah hujan CHIRPS dan memberikan kontribusi signifikan bagi analisis hidrologi, pengelolaan sumber daya air, serta mitigasi bencana hidrometeorologi di wilayah Semarang.

Metode Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi kajian di Kabupaten dan Kota Semarang, seperti tertera pada Gambar 1, yang memberikan gambaran komprehensif tentang topografi di wilayah kajian. Distribusi pos hujan dan/ atau stasiun BMKG juga divisualisasikan dalam peta ini untuk menunjukkan ketersediaan data observasi curah hujan. Sebaran pos hujan yang lebih banyak mencerminkan upaya untuk meningkatkan pengamatan curah hujan di berbagai lokasi, tetapi masih terdapat kekosongan di beberapa daerah terpencil atau yang sulit dijangkau. Keterbatasan ini menyoroti pentingnya interpolasi spasial dan integrasi dengan data multi – satelit untuk mengatasi keterbatasan pengamatan *in situ*.



Gambar 1. Peta wilayah studi

Secara geografis, kedua wilayah ini berada di bagian tengah Pulau Jawa sebelah utara. Kabupaten Semarang mengelilingi Kota Semarang di sebelah selatan, timur, dan barat, sementara bagian utara Kota Semarang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Kabupaten Semarang mencakup area sekitar 95 ribu hektar atau 2.92% dari total luas Provinsi Jawa Tengah, terdiri dari 19 kecamatan, 27 kelurahan dan 208 desa. Topografi Kabupaten Semarang bervariasi, mulai dari dataran rendah hingga pegunungan, dengan ketinggian yang beragam. Di sisi lain, Kota Semarang memiliki luas wilayah 373.70 km² dan terdiri dari 16 kecamatan serta 117 kelurahan. Topografinya meliputi dataran rendah di bagian utara dan perbukitan di bagian selatan, dengan ketinggian yang meningkat ke arah selatan. Kedua wilayah ini dipengaruhi oleh iklim tropis yang dikendalikan oleh angin monsun, dengan suhu rata-rata harian berkisar antara 20°C hingga 30°C, dengan curah hujan tahunan rata – rata sekitar 1500 – 3000 mm/tahun [21], [22], [23]. Atas dasar ini, wilayah Semarang menjadi menarik untuk dikaji dikarenakan ragam topografi dan berpotensi bencana hidrometeorologi.



Data CHIRPS memiliki keunggulan dari segi cakupan spasial dan historis data (mulai 1981 hingga saat ini) ^[11]. Hal ini membuat data CHIRPS telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai studi terapan terkait hidrologi ^{[12], [13], [14], [15]}. Penelitian sebelumnya telah melakukan evaluasi performa estimasi curah hujan dari produk CHIRPS di berbagai wilayah, termasuk Indonesia. Meskipun CHIRPS menggabungkan data satelit dan observasi permukaan untuk menghasilkan estimasi curah hujan dengan resolusi tinggi ^[6], beberapa studi menunjukkan bahwa akurasi dapat bervariasi tergantung pada karakteristik regional. Misalnya, penelitian di Provinsi Kalimantan Barat mengindikasikan bahwa estimasi curah hujan harian dari CHIRPS memiliki akurasi yang baik dibandingkan dengan data observasi, terutama di daerah dekat garis pantai ^[16]. Kemudian, ada data satelit CHIRPS, *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP), dan IMERG dibandingkan dengan data *Automatic Weather Station* (AWS) di Lampung Selatan, hasil menunjukkan estimasi hujan multi – satelit memiliki linearitas cukup baik terhadap data observasi pada skala waktu bulanan, tetapi akurasi menurun pada skala waktu harian ^[17]. Selain itu, penelitian performa CHIRPS dan beberapa multi – satelit lainnya seperti GPM – IMERG, GSMaP, dan *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record* (PERSIANN – CDR) di wilayah Sulawesi Selatan menemukan bahwa estimasi hujan *original* CHIRPS lebih unggul pada hujan berbagai skala waktu dan beragam elevasi dibanding multi-satelit *original* lainnya ^[18].

Tabel 1. Data penelitian

No	Data	Detail	Penyedia
1	CHIRPS (versi 2 final)	- Resolusi spasial: 0.5° x 0.5° - Resolusi temporal: Harian - Format: Raster (<i>GeoTIFF</i>)	UCSB/ CHG, GEE <i>Repository</i>
2	Hujan observasi (<i>in situ</i>)	- 32 titik pos hujan - Resolusi temporal: Harian - Format: Tabular (<i>CSV</i>)	BMKG
3	Batas administratif	- Skala 1:50.000 - Format: Vektor (<i>Shapefile</i>)	BIG
4	DEM SRTM (versi 4)	- Resolusi spasial: 90 meter - Format: Raster (<i>GeoTIFF</i>)	NASA/ CGIAR, GEE <i>Repository</i>

Data yang digunakan dalam penelitian ini tercantum pada Tabel 1, terdiri dari empat komponen utama. Data CHIRPS berfungsi sebagai estimasi curah hujan satelit yang menjadi objek utama penelitian, baik sebelum maupun sesudah proses kalibrasi. Data observasi *in situ* digunakan sebagai referensi validasi untuk menilai akurasi estimasi CHIRPS. Data batas administratif dipakai untuk membatasi wilayah analisis hanya pada Kabupaten dan Kota Semarang. Sementara itu, data DEM SRTM digunakan untuk mengkaji pengaruh faktor topografi, khususnya elevasi, terhadap performa estimasi curah hujan.

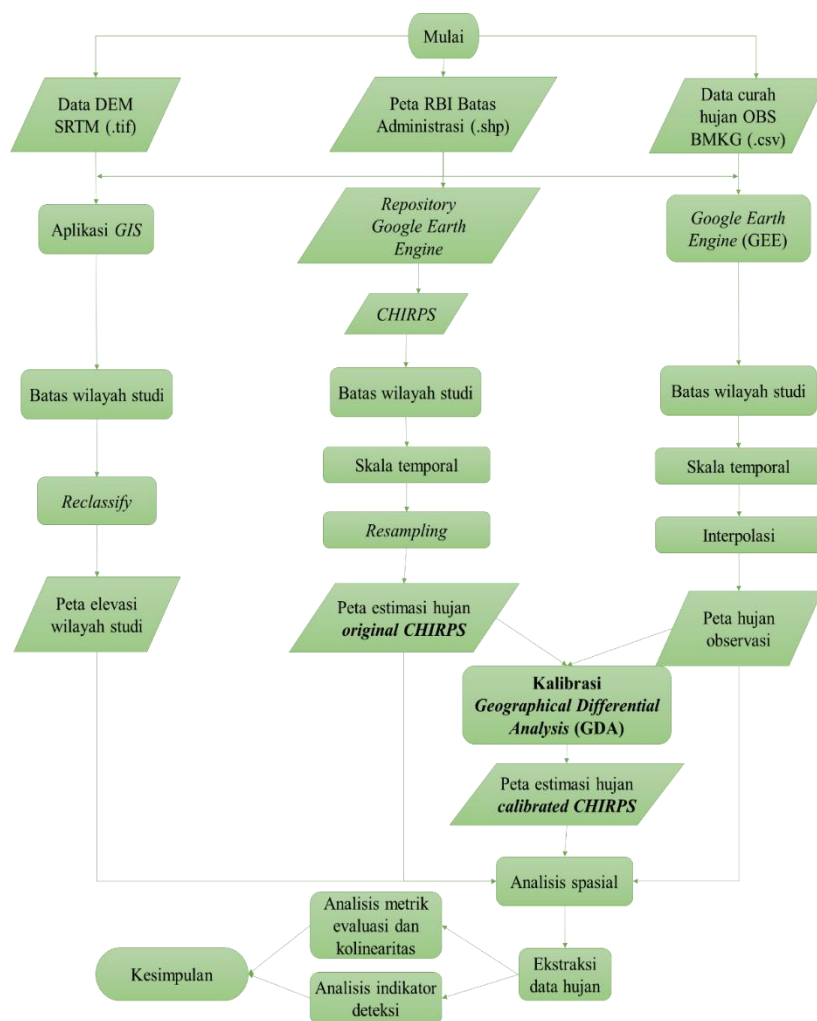
Metode kalibrasi GDA yang diterapkan pada data multi-satelit CHIRPS mencakup tiga tahapan utama:

1. Menghitung perbedaan antara curah hujan yang tercatat pada setiap penakar hujan observasi dengan nilai estimasi pada piksel satelit yang bersesuaian, mendapatkan data *residual*.
2. Menerapkan interpolasi spasial terhadap data *residual* menggunakan teknik *Inverse Distance Weighting* (IDW) sehingga diperoleh peta hujan *residual*.
3. Menghitung estimasi curah hujan CHIRPS dengan mengoreksi nilai berdasarkan peta *residual* yang telah dibuat. Melalui pendekatan ini, studi ini dapat menghasilkan peningkatan akurasi estimasi curah hujan pada data *calibrated* CHIRPS.

Gambar 2 menyajikan diagram alir studi yang menunjukkan bagaimana data CHIRPS dan observasi dikumpulkan, diproses dalam GEE, dikalibrasi dengan metode GDA, hingga dilakukan analisis spasial dan evaluasi performa. Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data yang mencakup data estimasi hujan CHIRPS, data hujan hasil pengukuran observasi (*in situ*), peta batas administratif wilayah studi, serta data model elevasi digital (*digital elevation model/ DEM*). Data tersebut kemudian diproses menggunakan GEE. Kajian dilakukan dalam skala temporal harian, bulanan, dan tahunan, dengan data observasi yang diolah melalui interpolasi untuk menghasilkan sebaran spasial curah hujan.



Selanjutnya, peneliti mengolah data estimasi curah hujan dari CHIRPS untuk menyusun peta curah hujan *original* CHIRPS atau dalam kondisi awal, kemudian mengekstraknya pada lokasi pos hujan observasi. Langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi dengan memanfaatkan data observasi guna meningkatkan akurasi estimasi, sehingga menghasilkan peta estimasi curah hujan *calibrated* CHIRPS. Peta hasil kalibrasi tersebut kemudian diekstrak kembali pada titik pos hujan untuk analisis perbandingan lebih lanjut. Untuk mencapai tujuan pertama, peneliti menganalisis sebaran spasial peta estimasi curah hujan sebelum dan sesudah kalibrasi dengan membandingkannya terhadap data observasi serta mengevaluasi performanya. Penelitian ini membagi data curah hujan observasi menjadi dua bagian, yaitu 78% untuk melatih proses kalibrasi dan 22% untuk menguji performa atau validasi. Kami menerapkan metode kalibrasi *Geographical Differential Analysis* (GDA) dikarenakan kesederhanaan komputasi dan kemampuannya dalam menangkap perbedaan spasial curah hujan berdasarkan data observasi. Selain itu, teknik ini telah terbukti meningkatkan akurasi estimasi curah hujan dari data satelit di beberapa wilayah tropis ^[10], ^[18].



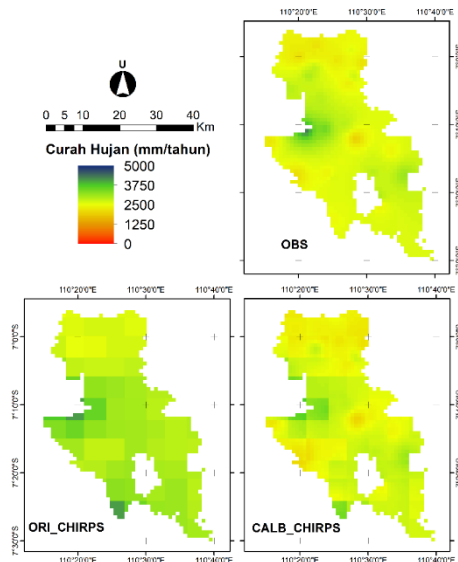
Gambar 2. Skema Penelitian

Sementara itu, untuk menjawab tujuan kedua, peneliti menerapkan analisis statistik menggunakan berbagai metrik evaluasi, seperti *root mean square error* (RMSE), koefisien determinasi (*R-squared/RSQ*), dan *symmetric mean absolute percentage error* (SMAPE). Selain itu, juga melakukan pengujian dengan indikator deteksi pada sampel kejadian hujan harian yang mewakili bulan Desember – Januari – Februari (DJF), Maret – April – Mei (MAM), Juni – Juli – Agustus (JJA), dan September – Oktober – November (SON) menggunakan *probability of detection/ POD*, *false alarm ratio/FAR*, dan *critical success index/ CSI*.



Hasil dan Pembahasan

Evaluasi Sebaran Spasial Hujan



Gambar 3. Sebaran spasial curah hujan tahunan rerata 2021 – 2023 dari data observasi (atas), *original* CHIRPS (bawah kiri), dan *calibrated* CHIRPS (bawah kanan).

Gambar 3 menampilkan perbandingan visual sebaran spasial curah hujan tahunan rata – rata 2021 – 2023 di wilayah kajian. Ketiga peta tersebut menampilkan data curah hujan yang diperoleh dari: observasi langsung (OBS), citra *original* CHIRPS (ORI_CHIRPS), dan citra *calibrated* CHIRPS (CALB_CHIRPS). Berdasarkan data observasi, wilayah di sisi tengah barat dan sedikit di sisi tengah timur menerima curah hujan tahunan paling tinggi sekitar >3750 mm/tahun (warna hijau), sementara yang warna kuning dengan kisaran curah hujan 2500 mm/tahun cukup mendominasi wilayah kajian, sementara di bagian tengah, sisi utara, dan sedikit barat daya terlihat menerima curah hujan yang lebih rendah (<2500 mm/tahun). Variasi curah hujan di wilayah studi kemungkinan berasosiasi dengan efek orografik yang membedakan antara daerah tangkapan hujan (curah hujan tinggi) dan bayangan hujan (curah hujan rendah).

Perbandingan antara peta estimasi hujan ORI_CHIRPS dan CALB_CHIRPS terhadap data observasi (OBS) menunjukkan adanya peningkatan kesesuaian secara visual setelah dilakukan kalibrasi. Pada peta ORI_CHIRPS, sebagian besar wilayah menunjukkan dominasi warna hijau yang merepresentasikan curah hujan lebih tinggi. Hal ini berbeda dengan peta OBS, di mana banyak area terutama di bagian tengah dan selatan wilayah studi cenderung didominasi warna kuning, yang mengindikasikan curah hujan lebih rendah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa estimasi ORI_CHIRPS cenderung *overestimate*. Sementara itu, peta CALB_CHIRPS menunjukkan pola curah hujan yang lebih mendekati OBS, dengan distribusi spasial yang lebih bervariasi dengan beberapa area mengalami penyesuaian dari over – estimasi sebelumnya. Meski demikian, masih terdapat beberapa perbedaan, terutama di beberapa titik yang menunjukkan kemungkinan adanya over – koreksi atau masih sedikit menyimpang dari data observasi. Hasil ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu memperbaiki bias positif pada CHIRPS, meskipun masih perlu peningkatan untuk mencapai akurasi yang lebih baik dalam menggambarkan pola curah hujan di wilayah studi.

Hasil pada peta hujan bulanan dan harian pada CALB_CHIRPS juga menunjukkan perbaikan kesesuaian sebaran spasial dibandingkan data *original* – nya. Sehingga, kalibrasi GDA telah mampu meningkatkan keakuratan secara visual dari estimasi hujan CHIRPS pada berbagai skala waktu. Analisis visual ini



diperkuat dengan evaluasi statistik dan indikator deteksi yang menunjukkan perbaikan performa estimasi setelah kalibrasi, sebagaimana akan dibahas pada bagian berikutnya.

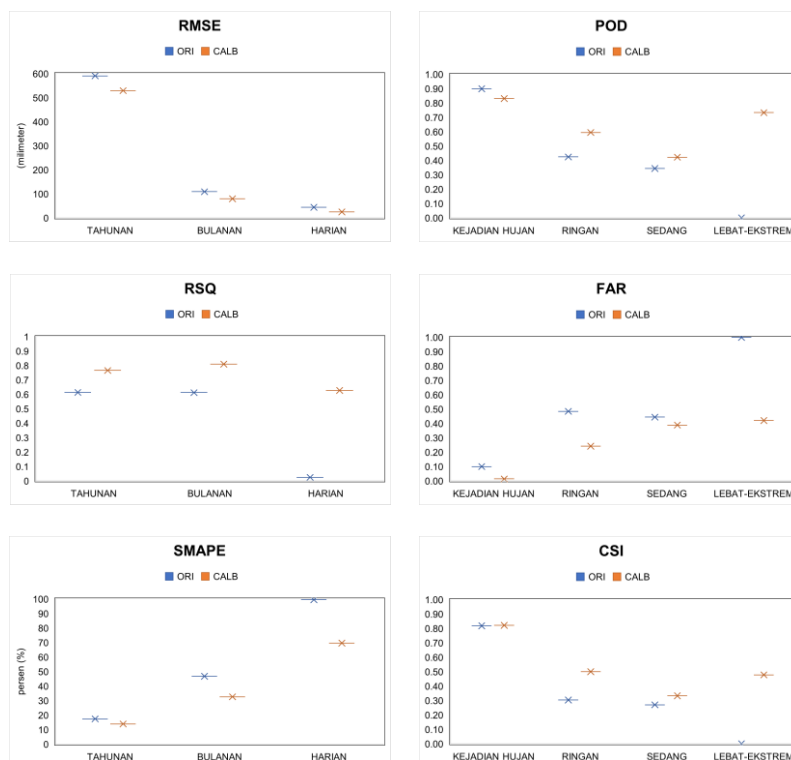
Performa Statistik: RMSE, RSQ, dan SMAPE

Diagram yang ditampilkan oleh Gambar 4 menyajikan performa dari estimasi hujan antara data ORI (*original CHIRPS*) dan CALB (*calibrated CHIRPS*) terhadap data observasi. Sisi kiri menunjukkan metrik statistik yaitu RMSE, RSQ, dan SMAPE. Sedangkan, sisi kanan merupakan indikator deteksi yang terdiri dari POD, FAR, dan CSI. Seperti terlihat pada Tabel 2, penelitian ini mengacu pada pembagian intensitas hujan harian menurut BMKG untuk analisis indikator deteksi, namun untuk hujan lebat, sangat lebat, dan ekstrem kami gabung menjadi satu kategori yaitu hujan lebat – ekstrem.

Tabel 2. Intensitas hujan harian BMKG ^[18]

Kategori Hujan	Intensitas harian (mm/hari)
Hujan ringan	0,5 – 20
Hujan sedang	20 – 50
Hujan lebat	50 – 100
Hujan sangat lebat	100 – 150
Hujan ekstrem	>150

Pada evaluasi berbasis error statistik, kalibrasi mengurangi bias positif yang sebelumnya dominan pada data ORI. Terjadi penurunan RMSE tahunan hingga 10%. Grafik RMSE menunjukkan bahwa nilai RMSE pada data ORI lebih tinggi dibandingkan CALB di semua skala waktu (tahunan, bulanan, dan harian). RMSE yang lebih rendah setelah kalibrasi menunjukkan bahwa kesalahan estimasi curah hujan semakin berkurang, sehingga estimasi curah hujan hasil kalibrasi lebih mendekati data observasi dibandingkan dengan data ORI. Penurunan RMSE yang paling signifikan terjadi pada hujan harian daripada hujan bulanan dan tahunan, mencapai 43%, menunjukkan bahwa kalibrasi yang diterapkan pada skala waktu pendek lebih berdampak dibandingkan dengan skala waktu lebih panjang.



Gambar 4. Box plot dari (a) RMSE, (b) RSQ, (c) SMAPE, (d) POD, (e) FAR, dan (f) CSI. Tanda “X” menunjukkan rata – rata.



Pada grafik RSQ (koefisien determinasi), terlihat bahwa nilai RSQ meningkat setelah kalibrasi, terutama pada skala harian yang mencapai lebih dari 2000%, dibanding tahunan dan bulanan. Nilai RSQ yang lebih tinggi pada CALB dibandingkan ORI menunjukkan bahwa kesesuaian hubungan antara estimasi CHIRPS dan data observasi semakin kuat setelah dilakukan kalibrasi. Meskipun, pada skala harian, nilai RSQ pada data ORI masih cukup rendah, hal ini bisa disebabkan oleh variabilitas hujan harian yang lebih tinggi dan keterbatasan resolusi spasial CHIRPS. Namun, pada data CALB skala harian menunjukkan peningkatan RSQ tajam, sehingga memiliki kesesuaian yang lebih baik dengan data OBS.

Grafik SMAPE menunjukkan bahwa setelah kalibrasi, nilai SMAPE mengalami penurunan pada semua skala waktu (tahunan, bulanan, dan harian) dimana penurunan SMAPE bulanan mencapai 30%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa estimasi curah hujan setelah kalibrasi memiliki kesalahan relatif yang lebih kecil dibandingkan dengan data observasi. Pada skala tahunan dan bulanan, perbedaan SMAPE antara ORI dan CALB tidak terlalu signifikan, tetapi pada skala harian, CALB menunjukkan peningkatan akurasi yang lebih baik dibandingkan ORI, dimana sebelumnya data ORI memiliki SMAPE yang sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi mampu memperbaiki kesalahan estimasi CHIRPS secara umum, meskipun pada skala waktu harian masih terdapat ketidakakuratan yang lebih tinggi dibandingkan skala waktu yang lebih besar.

Indikator Deteksi: POD, FAR, dan CSI

Pada indikator deteksi POD, terlihat bahwa setelah kalibrasi, nilai POD meningkat pada semua kategori intensitas hujan, kecuali pada deteksi kejadian hujan/ tidak hujan mengalami sedikit penurunan. Peningkatan terbesar terjadi pada hujan lebat – ekstrem, sebesar 73%, yang menunjukkan bahwa kalibrasi mampu memperbaiki kemampuan estimasi hujan satelit dalam mendeteksi kejadian hujan yang teramati di lapangan. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun kalibrasi meningkatkan deteksi hujan secara keseluruhan, tantangan dalam mendeteksi hujan dengan intensitas tinggi masih ada pada estimasi hujan berbasis satelit.

Pada indikator deteksi FAR, hasil menunjukkan bahwa setelah kalibrasi, nilai FAR menurun pada semua kategori intensitas hujan dan kejadian hujan. Penurunan terbesar terjadi pada deteksi kejadian hujan/ tidak hujan disusul hujan lebat – ekstrem, menandakan bahwa estimasi hujan CHIRPS setelah kalibrasi lebih jarang mengidentifikasi kejadian hujan yang sebenarnya tidak terjadi. Sebelum kalibrasi, CHIRPS cenderung memberikan lebih banyak peringatan palsu terhadap hujan lebat – ekstrem, yang menyebabkan terjadi *overestimation*. Setelah kalibrasi, proporsi kejadian hujan yang salah diprediksi berkurang, meningkatkan keandalan data yang dikoreksi. Namun, untuk hujan lebat – ekstrem, meskipun FAR juga menurun, nilainya masih lebih tinggi dibandingkan hujan dengan intensitas lebih rendah, mengindikasikan bahwa estimasi hujan satelit masih cenderung kurang sensitif pada hujan intensitas tinggi.

Pada indikator deteksi CSI, setelah kalibrasi terjadi peningkatan nilai pada semua kategori hujan, terutama pada kejadian hujan ringan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa setelah kalibrasi, estimasi curah hujan CHIRPS lebih akurat dalam mendeteksi kejadian hujan yang benar – benar terjadi dengan lebih sedikit kesalahan. Sebelum kalibrasi, nilai CSI lebih rendah terutama pada hujan sedang hingga lebat – ekstrem, menandakan adanya banyak kejadian yang salah diidentifikasi. Setelah kalibrasi, CSI meningkat secara konsisten. Meskipun kalibrasi berhasil meningkatkan kemampuan deteksi hujan, tantangan dalam memprediksi hujan dengan intensitas tinggi pada CHIRPS masih perlu diperbaiki lebih lanjut.

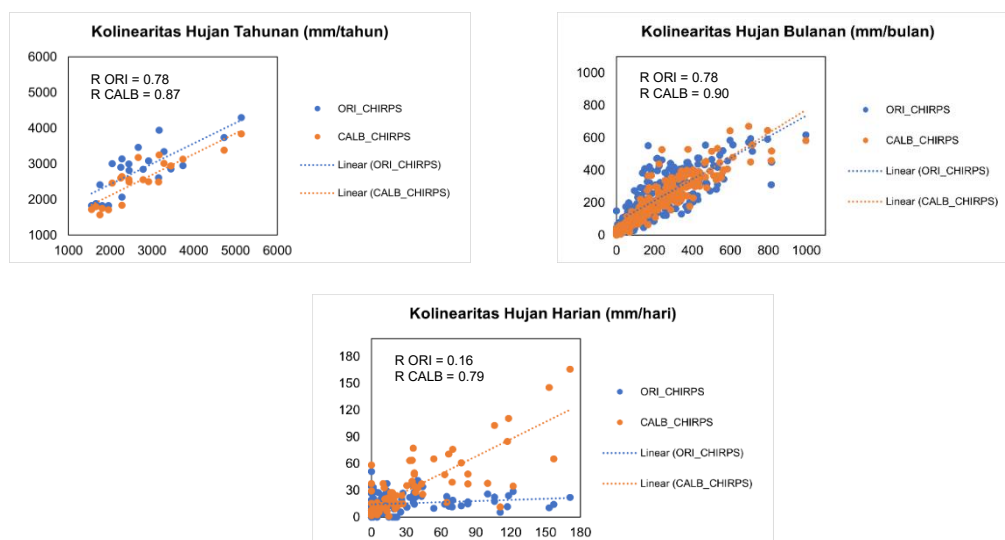
Analisis Kolinearitas Curah Hujan CHIRPS

Selain itu, analisis kolinearitas antara data ORI_CHIRPS dan CALB_CHIRPS pada skala tahunan, bulanan, dan harian menunjukkan bahwa kalibrasi dengan metode GDA mampu meningkatkan kesesuaian estimasi curah hujan terhadap data observasi. Gambar 5 menunjukkan bahwa sebelum



kalibrasi, estimasi CHIRPS memiliki kecenderungan *overestimate* pada skala tahunan dan *underestimate* pada skala harian. Setelah kalibrasi, hubungan antara estimasi CHIRPS dan data observasi menjadi lebih kuat, terutama pada skala bulanan yang menunjukkan peningkatan korelasi dari $R = 0.78$ menjadi $R = 0.90$.

Umumnya, pada hujan tahunan terlihat bahwa ORI_CHIRPS bersifat *overestimate*, pada hujan bulanan kolinearitasnya terlihat cukup baik, sedangkan pada hujan harian terlihat bahwa ORI_CHIRPS cenderung *underestimate* curah hujan OBS. Pada skala tahunan dan bulanan, hubungan linier antara estimasi CHIRPS dan observasi terlihat lebih kuat setelah kalibrasi, ditandai dengan garis regresi CALB_CHIRPS lebih mendekati garis identitas dibandingkan ORI_CHIRPS, yang menandakan koreksi terhadap kecenderungan over – estimasi pada data *original*. Sebaran titik – titik pada skala bulanan juga menunjukkan peningkatan akurasi dengan distribusi yang lebih terkonsentrasi di sekitar garis regresi. Namun, pada skala harian, meskipun terdapat peningkatan performa setelah kalibrasi, sebaran titik masih lebih menyebar dibandingkan skala waktu yang lebih panjang, mengindikasikan tantangan dalam menangkap variabilitas hujan harian yang lebih tinggi.



Gambar 5. Diagram tebar curah hujan tahunan, bulanan, dan harian periode 2021 – 2023

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kalibrasi berbasis GDA efektif dalam memperbaiki estimasi curah hujan CHIRPS, terutama pada skala waktu yang lebih panjang, meskipun masih diperlukan upaya lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi pada skala harian. Metode GDA telah digunakan dalam studi lain untuk meningkatkan estimasi curah hujan satelit, misalnya dalam penelitian menggunakan TRMM [9] dan pada IMERG [10]. Studi ini mengonfirmasi bahwa pendekatan yang sama berhasil meningkatkan akurasi data CHIRPS, terutama dalam mendeteksi kejadian hujan ekstrem.

Kesimpulan

Studi ini berhasil meningkatkan akurasi estimasi curah hujan CHIRPS dengan metode GDA berbasis GEE, memperbaiki bias spasial, dan meningkatkan kemampuan deteksi hujan ekstrem di wilayah Semarang pada periode 2021 – 2023. Hasil analisis sebaran spasial menunjukkan bahwa setelah kalibrasi, pola curah hujan CHIRPS lebih sesuai dengan data observasi, dengan perbaikan signifikan dalam mengurangi bias over – estimasi yang sebelumnya terlihat pada data *original*. Peningkatan keakuratan CALB_CHIRPS secara statistik ditunjukkan dengan penurunan RMSE, peningkatan RSQ, dan penurunan SMAPE pada berbagai skala waktu. Selain itu, indikator deteksi menunjukkan peningkatan POD untuk hujan lebat-ekstrem, penurunan FAR, serta peningkatan CSI, yang secara keseluruhan mengindikasikan bahwa estimasi CHIRPS setelah kalibrasi lebih akurat dalam mendeteksi kejadian hujan dengan lebih sedikit kesalahan. Analisis kolinearitas juga menunjukkan bahwa kalibrasi



memperbaiki kesesuaian estimasi CHIRPS dengan data observasi pada berbagai skala waktu, meskipun pada skala harian masih terdapat tantangan dalam menangkap variabilitas hujan yang lebih tinggi, penggunaan metode *machine learning* atau data tambahan dapat meningkatkan hasil di masa depan. Meskipun demikian, hasil penelitian ini membuktikan bahwa metode kalibrasi GDA mampu meningkatkan keakuratan data CHIRPS untuk analisis hidrologi dan mitigasi bencana hidrometeorologi di wilayah Semarang. Sehingga, integrasi antara estimasi hujan satelit dan data pengamatan *in situ* menghasilkan data spasial curah hujan yang *reliable* dan siap untuk dimanfaatkan dalam penelitian terapan terkait hujan.

Saran

Guna meningkatkan kualitas penelitian ini, analisis pada skala spasial yang lebih luas dan temporal yang lebih tinggi dapat dilakukan untuk memahami pola curah hujan yang lebih dinamis, terutama untuk kejadian ekstrem. Selain itu, integrasi variabel meteorologi tambahan seperti kelembapan dan pola angin dalam proses kalibrasi dapat meningkatkan akurasi estimasi curah hujan berbasis data satelit. Validasi dengan *dataset* alternatif seperti GPM atau reanalisis cuaca juga disarankan untuk memperkuat keandalan hasil. Selain itu, pendekatan kalibrasi non-linear berbasis *Machine Learning* dapat dieksplorasi guna mengoreksi bias lebih efektif, terutama pada hujan ekstrem. Terakhir, penelitian ini dapat diperluas dengan mengevaluasi dampak peningkatan akurasi curah hujan terhadap analisis hidrologi, seperti pemodelan banjir atau perencanaan sumber daya air, sehingga hasilnya lebih aplikatif untuk mitigasi bencana dan pengelolaan lingkungan.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada BMKG atas penyediaan data penakar hujan yang menjadi dasar validasi dalam penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada tim pengembang GEE yang telah menyediakan *platform* komputasi berbasis *cloud* yang memungkinkan analisis data geospasial secara efisien, sehingga studi ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Yuxi, H. Jingke, X. Changlin, and L. Zhangmiao, "Unfolding the synergy and interaction of water-land-food nexus for sustainable resource management: A supernetwork analysis," *Science of The Total Environment*, vol. 784, p. 147085, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147085.
- [2] P. Do *et al.*, "Exploring synergies in the water-food-energy nexus by using an integrated hydro-economic optimization model for the Lancang-Mekong River basin," *Science of The Total Environment*, vol. 728, p. 137996, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137996.
- [3] Z. Dong *et al.*, "Future projection of seasonal drought characteristics using CMIP6 in the Lancang-Mekong River Basin," *J Hydrol (Amst)*, vol. 610, p. 127815, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.127815.
- [4] K. Bahramian, R. Nathan, A. W. Western, and D. Ryu, "Towards an ensemble-based short-term flood forecasting using an event-based flood model- incorporating catchment-average estimates of soil moisture," *J Hydrol (Amst)*, vol. 593, p. 125828, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125828.
- [5] R. P. Allan *et al.*, "Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change," Jan. 01, 2020, *Blackwell Publishing Inc.* doi: 10.1111/nyas.14337.
- [6] C. Funk *et al.*, "The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes," *Sci. Data*, vol. 2, no. 1, p. 150066, Dec. 2015, doi: 10.1038/sdata.2015.66.
- [7] S. Dubey, H. Gupta, M. K. Goyal, and N. Joshi, "Evaluation of precipitation datasets available on Google earth engine over India," *Int. J. Climatol.*, vol. 41, no. 10, pp. 4844–4863, Aug. 2021, doi: 10.1002/joc.7102.



- [8] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," *Remote Sens Environ*, vol. 202, pp. 18–27, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- [9] M. J. M. Cheema and W. G. M. Bastiaanssen, "Local calibration of remotely sensed rainfall from the TRMM satellite for different periods and spatial scales in the Indus Basin," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 33, no. 8, pp. 2603–2627, 2012, doi: 10.1080/01431161.2011.617397.
- [10] C. Mo *et al.*, "Accuracy analysis of IMERG satellite rainfall data and its application in long-term runoff simulation," *Water (Switz.)*, vol. 12, no. 8, Aug. 2020, doi: 10.3390/W12082177.
- [11] H. E. Beck *et al.*, "Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling," *Hydrol Earth Syst Sci*, vol. 21, no. 12, pp. 6201–6217, 2017, doi: 10.5194/hess-21-6201-2017.
- [12] I. Bamweyana, M. Musunguzi, and L. M. Kayondo, "Evaluation of CHIRPS Satellite Gridded Dataset as an Alternative Rainfall Estimate for Localized Modelling over Uganda," *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 11, no. 04, pp. 797–811, 2021, doi: 10.4236/acs.2021.114046.
- [13] N. F. A. Aphrodita, I. M. Yuliara, and I. W. A. Yuda, "Kajian Pengembangan Pengisian Data Hujan yang Hilang dengan Data CHIRPS di Wilayah Bali," *Kappa Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 193–200, 2023, doi: 10.29408/kpj.v7i2.7709.
- [14] A. Banerjee, R. Chen, M. E. Meadows, R. B. Singh, S. Mal, and D. Sengupta, "An analysis of long-term rainfall trends and variability in the uttarakhand himalaya using google earth engine," *Remote Sens (Basel)*, vol. 12, no. 4, Feb. 2020, doi: 10.3390/rs12040709.
- [15] F. J. Paredes Trejo, H. A. Barbosa, M. A. Peñaloza-Murillo, M. Alejandra Moreno, and A. Fariás, "Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela," *Atmosfera*, vol. 29, no. 4, pp. 323–342, Oct. 2016, doi: 10.20937/ATM.2016.29.04.04.
- [16] J. Suryanto, Amprin, and Anisum, "VALIDASI CURAH HUJAN HARIAN CHIRPS PRECIPITATION SATELLITE PRODUCT DI PROVINSI KALIMANTAN BARAT," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 11, no. 1, pp. 73–88, Mar. 2023, doi: 10.29303/jrpb.v11i1.442.
- [17] A. Pratama, H. M. Agiel, and A. A. Oktaviana, "Evaluasi Satellite Precipitation Product (GSMaP, CHIRPS, dan IMERG) di Kabupaten Lampung Selatan," *JSAT*, vol. 6, no. 1, p. 32, Apr. 2022, doi: 10.35472/jsat.v6i1.702.
- [18] P. Ismail, R. H. Jatmiko, N. M. Farda, and M. A. Munandar, "Perbaikan Estimasi Hujan Multisatelit Berbasis Google Earth Engine dengan Data Penakar Hujan di Sulawesi Selatan," *Buletin Fisika*, vol. 26, no. 1, pp. 19–29, 2025, Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/buletinfisika/article/view/124512>
- [19] R. H. Dananjaya, S. N. Fitri, and Y. Cahyaningsih, "STUDI KOMPARASI HASIL DOWNSCALING DATA HUJAN TRMM PADA BERBAGAI RESOLUSI," *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 120–127, 2023, doi: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v11i2.65087>.
- [20] R. H. Dananjaya, G. Chrismaningwang, and F. E. Prihantoro, "AKURASI METODE RANDOM FOREST PADA PROSES DOWNSCALING DAN KALIBRASI DATA TRMM," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 11, no. 4, p. 354, Jan. 2024, doi: 10.20961/mateksi.v11i4.70261.
- [21] PPID Kota Semarang, "Profil Kota Semarang," Pemerintah Kota Semarang. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://ppid.semarangkota.go.id/profil-kota-semarang/>
- [22] Diskominfo Kab. Semarang, "GEOGRAFI DAN TOPOGRAFI," Pemerintah Kabupaten Semarang. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://main.semarangkab.go.id/profile/kondisi-umum/geografi-dan-topografi>
- [23] Pemerintah Kota Semarang, "LKPJ WALIKOTA SEMARANG AKHIR TAHUN ANGGARAN 2014," Semarang, 2015. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://semarangkota.go.id/content/image/files/1.%20BAB%20I%20%20ATA%202023-03-2015.pdf>

