



Kinerja dan Kerentanan Drainase Permukiman Kota Mataram pada Skenario RCP: Pendekatan SWMM–GIS *(Performance and Vulnerability of Mataram's Residential Drainage under RCP Scenarios using SWMM–GIS)*

Baiq Virgia Srihayati^{1*}, Lalu Ibrohim Burhan²

¹Fakultas Teknik, Universitas Gunung Rinjani, Indonesia

²Fakultas Teknik, Universitas Gunung Rinjani, Indonesia

^{1*}Email: ghiavirgia92@gmail.com

Info Artikel

Keywords:

Adaptasi iklim; Drainase perkotaan; Kapasitas hidrolis; Kerentanan infrastruktur; Prediksi hidrologi
Climate adaptation; Drainage systems; Hydraulic capacity; Hydrologic prediction; Infrastructure vulnerability

Abstrak

Perubahan iklim yang meningkatkan intensitas dan variabilitas curah hujan menimbulkan tantangan serius bagi kapasitas drainase perkotaan; studi terdahulu jarang mengaitkan kapasitas saluran eksisting dengan proyeksi iklim berbasis skenario RCP sehingga prediksi kinerja jangka panjang masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi (to assess) kapasitas sistem drainase permukiman eksisting di Kota Mataram terhadap curah hujan aktual dan proyeksi iklim (RCP4.5, RCP8.5). Studi dilakukan di tiga kecamatan rentan (Ampenan, Cakranegara, Selaparang); data historis (2000–2020) dan proyeksi CMIP6 dikumpulkan dan didownscale, survei 120 segmen saluran dilakukan, serta pemodelan hidrologi–hidraulika dilakukan menggunakan SWMM dan analisis spasial di ArcGIS. Simulasi memperlihatkan intensitas puncak 1-jam median 42 mm·jam⁻¹ (10-tahun) dengan kenaikan ≈+12% (RCP4.5, 2030s) dan ≈+28% (RCP8.5, 2050s), yang mendorong Q_{runoff} naik ≈+14% (RCP4.5) dan ≈+33% (RCP8.5). Kapasitas median saluran $Q_{\text{saluran}} = 1.12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, exceedance segmen meningkat dari 24% (historis) menjadi 48% (RCP4.5) dan 72% (RCP8.5); kedalaman genangan median naik 0.18 → 0.38–0.62 m, luas terdampak 3.6% → 7.9–14.2%, dan durasi median 6 → 12–28 jam. Model divalidasi (NSE kedalaman 0.68; NSE debit 0.75; $R^2 = 0.73$; RMSE = 0.14 m). Penelitian ini shows that integrating

downscaled RCP scenarios with SWMM–GIS provides robust, quantitative evidence for revising design standards, prioritizing retrofit (35–65% segmen) dan nature-based solutions (reduksi puncak 12–22%), serta memperkuat kerangka teoretis Hydrologic Continuity, Open-Channel Hydraulics, dan Resilience untuk perencanaan adaptif drainase perkotaan.

Climate change–driven increases in rainfall intensity and variability pose critical risks to urban drainage capacity; prior studies seldom link existing channel capacity with downscaled RCP projections, limiting long-term performance forecasts. This study aimed to assess the capacity of existing residential drainage systems in Mataram (Indonesia) against observed and projected rainfall (RCP4.5, RCP8.5). The analysis was conducted in three high-risk districts (Ampenan, Cakranegara, Selaparang); historical (2000–2020) and CMIP6 projection data were downscaled, 120 channel segments were surveyed, and hydrologic–hydraulic modelling was performed using SWMM with GIS spatial analysis. Simulations showed a 1-hour design median intensity of $42 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (10-yr) and projected increases of $\approx +12\%$ (RCP4.5, 2030s) and $\approx +28\%$ (RCP8.5, 2050s), yielding Q_{runoff} rises of $\approx +14\%$ and $\approx +33\%$ respectively. Median channel capacity $Q_{\text{saluran}} = 1.12 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$; segment exceedance rose from 24% (historical) to 48% (RCP4.5) and 72% (RCP8.5); median ponding depth increased $0.18 \rightarrow 0.38\text{--}0.62 \text{ m}$, affected area $3.6\% \rightarrow 7.9\text{--}14.2\%$, and median duration $6 \rightarrow 12\text{--}28 \text{ h}$. Model validation produced $\text{NSE}(\text{depth})=0.68$, $\text{NSE}(\text{peak})=0.75$, $R^2=0.73$, $\text{RMSE}=0.14 \text{ m}$. The study concludes that integrating downscaled RCP scenarios with SWMM–GIS yields actionable, quantitative evidence for updating design return periods, prioritizing phased retrofits and nature-based measures (peak reduction 12–22%), and advances theoretical understanding by operationalizing Hydrologic Continuity, Open-Channel Hydraulics and Resilience Theory for climate-adaptive urban drainage planning.

<https://doi.org/10.63982/dinamika.tf8ja323>

Received 09 Oktober 2025; Received in revised form 22 Oktober 2025; Accepted 22 Oktober 2025

Available online 30 Oktober 2025

Pendahuluan

Perubahan iklim global telah memicu peningkatan intensitas serta variabilitas curah hujan yang berdampak signifikan terhadap keberlanjutan sistem lingkungan dan infrastruktur perkotaan. Analisis parameter curah hujan dan suhu udara menjadi langkah fundamental untuk memahami dinamika iklim regional dan implikasinya terhadap ketersediaan air, sebagaimana dicatat dalam studi observasional nasional (Suhadi et

al., 2023). Dampak perubahan tersebut meluas hingga sektor pertanian misalnya adaptasi pola tanam di Subak Jatiluwih, Bali yang menunjukkan keterkaitan erat antara perubahan iklim dan pengelolaan sumber daya air lokal (Yastika et al., 2023). Sementara itu, fungsi drainase perkotaan sebagai penopang sanitasi lingkungan semakin mendapat tekanan (Katili, 2024). Rancangan drainase tradisional berbasis hidrologi historis seperti di Jatimulyo menunjukkan keterbatasan dalam menghadapi kejadian ekstrem kontemporer (Widodo & Ningrum, 2015), sehingga peningkatan kapasitas pengetahuan masyarakat melalui sosialisasi OP-drainase dan PHBS menjadi elemen penting dalam pengelolaan berkelanjutan (Muthya et al., 2022).

Kota Mataram, sebagai pusat aktivitas sosial-ekonomi di Nusa Tenggara Barat, menunjukkan kerentanan nyata terhadap genangan dan banjir permukiman karena keterbatasan kapasitas drainase dalam menampung debit puncak hujan. Kondisi ini menuntut pendekatan pengelolaan drainase terpadu yang mengintegrasikan aspek teknis, kelembagaan, dan partisipasi publik sebagaimana dicontohkan oleh konsep penanganan jaringan drainase terintegrasi (Guntoro et al., 2017). Secara simultan, akumulasi gas rumah kaca memicu perubahan termal dan pola curah hujan yang memodifikasi karakter hidrometeorologi lokal (Rozci, 2024). Proyeksi berbasis data curah hujan dan temperatur menunjukkan tren peningkatan intensitas hujan ekstrem yang relevan bagi desain dan evaluasi infrastruktur (Kusumawardhani et al., 2015). Kasus genangan rob di Semarang Utara, yang menutupi luas signifikan wilayah perkotaan (Handoyo et al., 2016), menggambarkan urgensi memperkuat ketahanan drainase kota-kota pesisir serupa Mataram terhadap skenario iklim masa depan.

Sistem drainase eksisting umumnya dirancang berdasarkan statistik hidrometeorologis historis sehingga berisiko undervaluasi terhadap kejadian hujan ekstrem kontemporer dan masa depan. Pemanasan global dan efek rumah kaca telah mendorong pergeseran pola hujan yang meningkatkan ketidakpastian musim dan intensitas curah hujan (Raksanagara et al., 2016), yang juga mempengaruhi sektor lain seperti pola tanam (Susilokarti et al., 2015). Selain itu, faktor non-hidrologis, termasuk sedimentasi, penumpukan sampah, serta rendahnya partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan dapat mempercepat penurunan efektivitas drainase permukiman (Kumalasari & Tisnawati, 2018). Untuk mengatasi kompleksitas tersebut, integrasi pemodelan hidrologi-hidraulika berbasis SWMM dengan analisis spasial GIS menawarkan kerangka kerja yang memungkinkan evaluasi kondisi eksisting, skenario curah hujan masa depan, dan opsi adaptasi infrastruktur secara kuantitatif (Biljecki & Ito, 2021; Jang et al., 2007).

Peran sistem drainase perkotaan sebagai infrastruktur kritis melampaui fungsi teknis aliran; ia merupakan komponen integral tata ruang yang menghubungkan permukiman, kawasan komersial, dan fasilitas publik dalam menjaga kualitas hidup kota (Novrianti, 2017). Kinerja sistem drainase sangat dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan dan variabilitas iklim yang dapat meningkatkan laju limpasan dan mengubah hidrograf permukaan (Suripin & Kurniani, 2016). Oleh karena itu, analisis hidrologi dan hidraulika yang akurat menjadi prasyarat dalam desain dan evaluasi saluran drainase agar memenuhi kriteria teknis keairan yang berlaku (Harahap, 2019). SWMM memungkinkan simulasi proses hidrologi yang kompleks pada tingkatan sub-catchment dan memerlukan kalibrasi yang cermat untuk merepresentasikan fenomena nyata (Shahed Behrouz et al., 2020). Integrasi SWMM dengan GIS serta teknologi data-level seperti BIM memperkaya analisis spasial dan manajemen informasi infrastruktur kota (Zhu & Wu, 2022).

Pendekatan konvensional yang menitikberatkan percepatan pembuangan limpasan permukaan menuju sungai atau laut kini dinilai kurang memadai dalam konteks perubahan pola hidrologi akibat iklim. Prinsip percepatan aliran sering mengabaikan solusi berbasis alam dan langkah adaptif yang mempertahankan resapan serta kapasitas retensi lokal (Putra, 2021). Bukti ilmiah mengindikasikan pemanasan global dapat mempercepat awal musim hujan dan meningkatkan kejadian hujan ekstrem, sehingga strategi perencanaan harus mempertimbangkan perubahan temporal dan intensitas curah hujan (Jannah et al., 2023). Dampak unsur iklim terhadap sektor produktivitas menegaskan kebutuhan strategi adaptasi multi-sektoral (Ruminta et al., 2020). Dalam kerangka ini, kombinasi SWMM yang efisien secara komputasi (Burger et al., 2014), analisis spasial

GIS, dan metode pengambilan keputusan multisyarat seperti FF-TOPSIS (Hooshangi et al., 2023) menjadi alat penting untuk menilai kinerja dan kerentanan drainase permukiman secara komprehensif.

Kajian terdahulu pada sistem drainase kerap menitikberatkan evaluasi kondisi eksisting dengan parameter hidrolika dasar—elevasi, panjang saluran, dan perhitungan debit—sebagai dasar perancangan kapasitas (Tokan & Khaerudin, 2016). Namun, bukti perubahan iklim regional seperti kenaikan suhu, pergeseran musim, dan ketidakpastian awal musim menuntut integrasi proyeksi iklim dalam analisis drainase (Nurul Puspitasari, 2016). Model iklim tingkat regional seperti CCAM telah digunakan untuk memproyeksikan potensi curah hujan ekstrem (Nurlatifah et al., 2023), sedangkan pengembangan model real-time berbasis Bayes_Opt-SWMM menunjukkan potensi peningkatan akurasi simulasi hidrologi-hidrolika (Tanim et al., 2024). Meskipun demikian, penerapan kombinasi metode kuantitatif canggih tersebut dalam konteks drainase permukiman di Kota Mataram masih minim dan memerlukan kajian sistematis.

Di tingkat praktik, intervensi perbaikan fisik dan pengelolaan limpasan seperti studi perbaikan saluran di Merjosari telah berhasil mengurangi genangan lokal (Roeswitawati et al., 2022). Namun sebagian besar intervensi ini belum mempertimbangkan dinamika perubahan iklim yang mengubah intensitas dan pola curah hujan secara signifikan (Saputra et al., 2023). Literatur terkait banjir perkotaan lebih banyak menyoroti penyebab langsung karena curah hujan tinggi, sedimentasi, dan kapasitas drainase tidak memadai—tanpa mengaitkan hasil tersebut dengan proyeksi iklim masa depan (Pratiwi & Santosa, 2021). Sementara penerapan skenario RCP di Indonesia lebih sering dipakai pada kajian energi dan suhu udara (Veanti et al., 2022), bukti menunjukkan perlunya integrasi proyeksi RCP ke dalam evaluasi kapasitas drainase perkotaan untuk mempersiapkan kota menghadapi kejadian ekstrem mendatang (Ramadhany et al., 2012).

Perubahan iklim menunjukkan variasi respons pada skala lokal yang bergantung pada sensitivitas faktor topografi, penggunaan lahan, dan kapasitas resapan, sebagaimana analisis indeks ekstrem ETCCDI di Sumatera Barat yang mengungkap pergeseran pola iklim (Nugroho, 2019). Ketidakmampuan tanah menyerap hujan berlebih memperbesar risiko genangan dan merusak keseimbangan neraca hidrologi permukaan-bawah tanah (Duppa, 2017). Selain itu, kejadian hujan ekstrem dan rob mempercepat degradasi fasilitas lingkungan seperti air bersih, persampahan, drainase, dan sanitasi yang berimplikasi pada penurunan kualitas kesehatan masyarakat (Rasmana Putra & Muh Aris Marfai, 2012). Meskipun ada pedoman untuk perancangan infrastruktur dengan periode ulang hujan lebih tinggi (Pradiko et al., 2017) dan penelitian sektor pertanian yang menyoroti konsekuensi hujan berkepanjangan (Herlina & Prasetyorini, 2020), belum tersedia kajian kuantitatif yang mengaitkan kapasitas drainase eksisting Kota Mataram dengan proyeksi curah hujan berbasis skenario RCP untuk menghasilkan prediksi kinerja jangka panjang yang adaptif.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, permasalahan penelitian ini dirumuskan sebagai kurangnya kajian komprehensif yang menghubungkan kapasitas sistem drainase permukiman eksisting di Kota Mataram dengan proyeksi perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim, sehingga prediksi kinerja dan potensi genangan jangka panjang masih terbatas dan kurang akurat. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas drainase permukiman eksisting terhadap intensitas curah hujan aktual dan skenario iklim RCP menggunakan pendekatan kuantitatif SWMM-GIS. Kebaruan terletak pada integrasi proyeksi RCP ke dalam analisis kapasitas drainase permukiman untuk menghasilkan prediksi kinerja yang lebih akurat dan adaptif. Secara teoretis penelitian memperkaya pemahaman hubungan kapasitas drainase dan proyeksi iklim, sementara secara praktis menyediakan basis ilmiah bagi perencanaan adaptasi dan pengelolaan infrastruktur drainase yang berkelanjutan di Kota Mataram.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain analisis deskriptif-komparatif untuk mengevaluasi kinerja dan kerentanan sistem drainase permukiman di Kota Mataram terhadap intensitas curah hujan aktual dan proyeksi perubahan iklim berbasis skenario *Representative Concentration Pathways (RCP)*.

Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh hasil yang terukur dan objektif mengenai kapasitas hidrolis jaringan drainase terhadap variasi debit limpasan akibat perubahan iklim. Penelitian difokuskan pada kawasan permukiman padat di Kota Mataram yang sering mengalami genangan, dengan mempertimbangkan variabel meteorologis dan morfologis sebagai determinan utama kinerja sistem drainase. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara analisis kapasitas hidrolis saluran eksisting dengan proyeksi curah hujan masa depan melalui pemodelan berbasis Storm Water Management Model (SWMM) yang dipadukan dengan Geographic Information System (GIS).

Populasi penelitian mencakup seluruh jaringan drainase utama dan sekunder di wilayah administrasi Kota Mataram, sedangkan sampel penelitian ditentukan secara purposive sampling berdasarkan tingkat kerentanan genangan, kepadatan permukiman, serta ketersediaan data teknis saluran. Lokasi pengamatan utama meliputi kecamatan dengan intensitas genangan tertinggi seperti Ampenan, Selaparang, dan Cakranegara. Setiap segmen drainase yang dijadikan sampel diukur parameter fisiknya, termasuk lebar, tinggi, kemiringan dasar, serta material saluran. Data tambahan mengenai penggunaan lahan dan tata ruang diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) dan Dinas Pekerjaan Umum Kota Mataram. Populasi hidrologi didefinisikan sebagai seluruh kejadian curah hujan signifikan selama dua dekade terakhir, yang dianalisis untuk membangun fungsi *Intensity–Duration–Frequency (IDF)* sebagai dasar simulasi debit limpasan.

Instrumen utama penelitian ini meliputi perangkat lunak SWMM versi 5.2 untuk simulasi hidrologi–hidraulika, serta ArcGIS 10.8 untuk analisis spasial dan pemetaan hasil model. Prosedur penelitian dimulai dengan pengumpulan data primer melalui survei lapangan untuk memperoleh informasi geometrik dan kondisi aktual saluran drainase, serta pengumpulan data sekunder dari BMKG, Bappeda, dan BPBD yang mencakup curah hujan historis, peta tata guna lahan, data genangan, dan rencana tata ruang wilayah (RTRW). Data curah hujan historis dianalisis menggunakan metode *Intensity–Duration–Frequency (IDF)* untuk menentukan intensitas hujan rencana, sedangkan data proyeksi iklim diperoleh dari model global *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)* pada skenario RCP 4.5 dan RCP 8.5. Proses *statistical downscaling* dilakukan untuk menurunkan resolusi spasial proyeksi curah hujan agar sesuai dengan skala lokal Kota Mataram.

Dalam tahapan analisis hidrologi, debit limpasan permukaan (Q_{runoff}) dihitung menggunakan metode rasional dan parameter koefisien limpasan (C) yang diperoleh dari peta tata guna lahan terkini. Perubahan tata guna lahan (variabel independen kedua) diidentifikasi melalui perbandingan citra satelit multitemporal, yang selanjutnya digunakan untuk memperkirakan variasi debit limpasan akibat konversi lahan terbuka menjadi permukiman. Debit limpasan aktual dan proyeksi kemudian dibandingkan terhadap kapasitas hidrolis saluran ($Q_{saluran}$) yang dihitung menggunakan Persamaan Manning, dengan memperhatikan kondisi fisik saluran dan tingkat sedimentasi. Perbandingan antara Q_{runoff} dan $Q_{saluran}$ menghasilkan rasio kapasitas drainase yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dan kerentanan sistem terhadap hujan ekstrem.

Proses pemodelan SWMM dilakukan dengan memasukkan parameter curah hujan aktual dan proyeksi iklim RCP sebagai input utama, serta parameter hidrologi lainnya seperti luas tangkapan, *imperviousness*, dan waktu konsentrasi. Dua skenario utama disimulasikan, yaitu kondisi aktual dan kondisi proyeksi iklim masa depan. Setiap simulasi menghasilkan data debit puncak, volume limpasan, durasi genangan, dan luas area terdampak. Hasil simulasi kemudian diekspor ke **GIS** untuk analisis spasial dan visualisasi distribusi genangan. Tahap ini memungkinkan identifikasi wilayah paling rentan dan pemetaan prioritas penanganan berbasis risiko.

Tahapan validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data observasi lapangan, terutama tinggi dan durasi genangan yang diperoleh dari laporan BPBD serta hasil wawancara masyarakat terdampak. Uji kesesuaian dilakukan menggunakan metrik statistik seperti *Root Mean Square*

Error (RMSE), *Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE)*, dan koefisien determinasi (R^2), guna memastikan akurasi hasil model. Nilai koefisien yang tinggi menunjukkan kesesuaian antara hasil simulasi dan kondisi nyata di lapangan, sehingga model dapat diandalkan untuk simulasi proyeksi iklim masa depan.

Selanjutnya, analisis data dilakukan secara integratif antara pendekatan hidrologi, hidraulika, dan spasial. Analisis ini mencakup perbandingan kapasitas saluran dengan debit puncak pada setiap skenario, identifikasi perubahan kinerja drainase akibat peningkatan intensitas hujan, serta analisis sensitivitas terhadap variabel tata guna lahan. Hasil pemodelan diinterpretasikan untuk mengidentifikasi hubungan antarvariabel—baik langsung maupun mediasi—antara curah hujan, debit limpasan, kapasitas saluran, dan kinerja sistem drainase. Interpretasi ini digunakan untuk menjawab *research gap* utama, yaitu sejauh mana kapasitas drainase eksisting di Kota Mataram mampu menghadapi skenario curah hujan masa depan.

Melalui kombinasi pemodelan kuantitatif SWMM–GIS dan validasi empiris berbasis data lapangan, penelitian ini menghasilkan dasar ilmiah yang kuat untuk menilai ketahanan sistem drainase perkotaan terhadap perubahan iklim. Pendekatan ini tidak hanya memberikan analisis kinerja eksisting, tetapi juga memproyeksikan risiko genangan pada masa depan dengan tingkat akurasi yang lebih adaptif. Secara keseluruhan, rancangan metodologi ini memastikan bahwa hasil penelitian memiliki validitas tinggi dalam mendukung perencanaan infrastruktur drainase yang berkelanjutan dan berbasis mitigasi iklim di Kota Mataram.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

1. Perubahan intensitas curah hujan & dampak terhadap debit limpasan.

Analisis IDF dari data historis (2000–2020) menghasilkan intensitas puncak 1-jam median sebesar 42 mm·jam⁻¹ untuk periode rencana 10-tahun. Setelah downscaling, proyeksi menunjukkan peningkatan intensitas puncak rata-rata $\approx +12\%$ (RCP4.5, 2030s) dan $\approx +28\%$ (RCP8.5, 2050s). Kenaikan intensitas ini diterjemahkan menjadi peningkatan debit limpasan permukaan (Q_{runoff}) rata-rata $\approx +14\%$ untuk RCP4.5 dan $\approx +33\%$ untuk RCP8.5 pada skenario penggunaan lahan saat ini.

2. Perbandingan debit limpasan vs kapasitas hidrolis saluran (Q_{saluran}).

Perhitungan kapasitas saluran eksisting (Persamaan Manning) pada 120 segmen sampel menunjukkan kapasitas median $Q_{\text{saluran}} = 1.12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (IQR 0.68–1.95 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Pada kondisi historis, 24% segmen mengalami exceedance ($Q_{\text{runoff}} > Q_{\text{saluran}}$) untuk debit rencana 10-tahun. Simulasi skenario iklim meningkatkan proporsi segmen yang mengalami exceedance menjadi 48% pada RCP4.5 dan 72% pada RCP8.5, menunjukkan peningkatan beban yang substansial pada jaringan eksisting.

3. Kinerja drainase — kedalaman, luas, dan durasi genangan.

Output SWMM menunjukkan peningkatan kedalaman genangan median dari 0.18 m (historis; IQR 0.10–0.25 m) menjadi 0.38 m (RCP4.5; IQR 0.25–0.50 m) dan 0.62 m (RCP8.5; IQR 0.40–0.85 m). Luas area terdampak genangan terhadap wilayah studi meningkat dari 3.6% (historis) menjadi 7.9% (RCP4.5) dan 14.2% (RCP8.5). Durasi genangan median meningkat dari 6 jam (historis) menjadi 12 jam (RCP4.5) dan 28 jam (RCP8.5), dengan beberapa lokasi hotspot melaporkan durasi >48 jam pada skenario ekstrim.

4. Validasi model dan kecocokan statistik.

Validasi simulasi terhadap data observasi genangan di 18 titik pengukuran menghasilkan performa model memadai: untuk kedalaman genangan diperoleh *Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE)* = 0.68, R^2 = 0.73, dan

$RMSE = 0.14$ m; untuk debit puncak $NSE = 0.75$ dan kesalahan relatif rata-rata $\approx 18\%$. Nilai-nilai ini menunjukkan kecocokan yang cukup untuk penggunaan prediktif skenario iklim meskipun terdapat ketidakpastian lokal.

5. Analisis spasial kerentanan & prioritas intervensi.

Pemetaan GIS berbasis output SWMM mengidentifikasi tiga kawasan paling kritis (indeks kerentanan skala 0–1): Ampenan (0.82), Cakranegara (0.74), dan Selaparang (0.71). Di ketiga kawasan ini, proporsi segmen yang memerlukan peningkatan kapasitas (faktor >1.5) mencapai 35–40% untuk mempertahankan kinerja pada skenario RCP4.5; pada RCP8.5 kebutuhan retrofit meningkat hingga 55–65% segmen. Solusi teknis yang dievaluasi menunjukkan bahwa peningkatan dimensi saluran sebesar $1.5\times$ secara rata-rata menurunkan frekuensi exceedance $\approx 30\%$, sementara penambahan strategi *green infrastructure* (sumur resapan + kolam retensi terdesentralisasi seluas 2–5% area) mampu menurunkan puncak limpasan 12–22% tergantung skenario.

6. Analisis sensitivitas terhadap tata guna lahan.

Simulasi sensitivitas menunjukkan bahwa kenaikan imperviousness 10% (konversi ruang terbuka menjadi permukiman/jalan) menambah peak Q_{runoff} rata-rata +9–12% dan meningkatkan area genangan ≈ 6 –10%. Kombinasi peningkatan intensitas hujan (RCP8.5) dan konversi lahan tersebut menyebabkan lonjakan exceedance dan durasi genangan paling besar, menegaskan pentingnya pengendalian perubahan tata guna lahan sebagai bagian dari strategi adaptasi.

7. Ringkasan temuan kuantitatif & implikasi.

Secara kuantitatif, studi ini menunjukkan bahwa kapasitas drainase eksisting Kota Mataram rentan terhadap proyeksi curah hujan masa depan: proporsi segmen overload diperkirakan meningkat dari 24% (historis) menjadi 48–72% (RCP4.5–RCP8.5), kedalaman dan durasi genangan bertambah signifikan, dan area terdampak dapat meningkat 2–4 kali lipat. Ketidakpastian utama bersumber dari variasi antar-model iklim dan proses downscaling; oleh karena itu rekomendasi teknis disertai interval kepercayaan dan pendekatan adaptif (phased retrofits, nature-based solutions, serta mekanisme pemantauan real-time) untuk mengurangi risiko dengan biaya yang lebih efisien.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem drainase permukiman Kota Mataram menghadapi peningkatan signifikan pada beban hidrologis akibat proyeksi perubahan iklim berbasis skenario RCP. Analisis *Intensity-Duration-Frequency (IDF)* mengindikasikan peningkatan intensitas hujan puncak sebesar **+12% (RCP4.5)** dan **+28% (RCP8.5)** dibanding kondisi historis. Kenaikan ini secara langsung meningkatkan debit limpasan permukaan sebesar **+14% hingga +33%**, yang menyebabkan **48–72%** segmen saluran mengalami *exceedance* kapasitas hidrolis ($Q_{runoff} > Q_{saluran}$). Simulasi *SWMM* memperlihatkan bahwa kedalaman genangan meningkat dari **0,18 m menjadi 0,62 m**, sementara luas area terdampak naik **dari 3,6% menjadi 14,2%** wilayah studi. Secara temporal, durasi genangan juga meningkat dari **6 jam menjadi hingga 28 jam**. Peta kerentanan spasial berbasis GIS menunjukkan bahwa wilayah **Ampenan, Cakranegara, dan Selaparang** memiliki indeks kerentanan tertinggi (0,71–0,82). Temuan ini menegaskan adanya *systemic vulnerability* pada jaringan drainase eksisting, terutama di kawasan padat penduduk dengan tingkat imperviousness tinggi.

Secara teoritis, peningkatan debit limpasan yang melebihi kapasitas saluran menggambarkan ketidakseimbangan prinsip *Hydrologic Continuity*, di mana hubungan antara input (curah hujan), storage (retensi permukaan), dan output (aliran saluran) menjadi terganggu akibat keterbatasan kapasitas dan infiltrasi

lokal. Berdasarkan *Open Channel Hydraulics*, nilai *Manning's Q* pada sebagian besar segmen menunjukkan *subcritical flow* yang mendekati kondisi kritis saat debit limpasan meningkat >25%, menandakan saluran bekerja di ambang kapasitas desain. Ketika $Q_{runoff}/Q_{saluran} > 1.0$, tekanan hidraulik berlebih memicu peningkatan tinggi muka air dan memperpanjang durasi genangan, sebagaimana terlihat pada kenaikan genangan median 0,44 m pada skenario RCP8.5. Secara dinamis, kenaikan curah hujan ekstrem mempercepat waktu konsentrasi (*time of concentration*) dan memperpendek fase resapan, yang berimplikasi pada peningkatan respon limpasan di daerah berimpervious tinggi (>70%). Dalam konteks *Resilience Theory*, kondisi ini menunjukkan rendahnya *adaptive capacity* infrastruktur drainase Mataram untuk mempertahankan fungsi hidrologisnya terhadap gangguan iklim eksternal. Ketika kapasitas jaringan tidak dapat menyesuaikan laju perubahan hidrologi, sistem memasuki fase *maladaptation* di mana kejadian genangan menjadi semakin sering dan parah.

Temuan ini konsisten dengan hasil Tanim et al. (2024) yang menegaskan bahwa integrasi model hidrologi–hidraulika berbasis *SWMM* dapat memperkirakan peningkatan debit limpasan hingga 30% akibat kenaikan intensitas hujan ekstrem. Namun, nilai kenaikan debit pada penelitian ini (hingga +33%) sedikit lebih tinggi karena pengaruh tambahan dari konversi lahan permukiman yang meningkatkan *impervious ratio* 10–15%. Sebaliknya, hasil ini melampaui temuan Pratiwi & Santosa (2021) yang hanya menganalisis hubungan curah hujan dan kapasitas saluran tanpa mempertimbangkan proyeksi iklim jangka panjang. Secara hidraulis, proporsi segmen *overload* sebesar 72% pada RCP8.5 lebih besar dibandingkan laporan Roeswitawati et al. (2022) di Merjosari (47%), yang menegaskan sensitivitas topografi dan urbanisasi Mataram yang lebih tinggi terhadap perubahan iklim. Dalam konteks regional, hasil ini sejalan dengan studi Nurlatifah et al. (2023) yang menggunakan model CCAM dan menemukan peningkatan curah hujan ekstrem tahunan sekitar 25% di wilayah tropis Indonesia bagian tengah. Perbedaannya, penelitian ini melangkah lebih jauh dengan menghubungkan dinamika tersebut ke dalam kapasitas drainase aktual melalui pendekatan kuantitatif berbasis *SWMM*–GIS, menghasilkan model prediksi yang lebih aplikatif dan adaptif.

Secara ilmiah, hasil penelitian ini memperluas penerapan *Hydrologic Continuity* dan *Open Channel Hydraulics* ke dalam konteks perubahan iklim tropis dengan mengintegrasikan skenario iklim RCP sebagai variabel eksternal dalam model hidrologi kota. Dengan demikian, pendekatan ini menjembatani kesenjangan antara teori konservasi massa air dan dinamika sistem drainase nyata di lingkungan urban tropis. Nilai *Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE)* sebesar 0,68–0,75 dan $R^2 = 0,73$ menegaskan keandalan model dalam memprediksi kinerja sistem drainase di bawah kondisi ekstrem. Secara praktis, hasil penelitian memberikan dasar ilmiah bagi pemerintah Kota Mataram untuk mengadopsi strategi adaptasi berbasis risiko. Simulasi menunjukkan bahwa peningkatan dimensi saluran sebesar $1,5\times$ mampu menurunkan *exceedance frequency* sekitar 30%, sedangkan penerapan *green infrastructure* (sumur resapan + kolam retensi) sebesar 2–5% luas area dapat menurunkan debit puncak 12–22%. Dalam kerangka *Resilience Theory*, strategi tersebut meningkatkan *absorptive* dan *adaptive capacity* infrastruktur dengan menambah elemen fleksibilitas (*buffer capacity*) terhadap kejadian ekstrem yang tidak pasti. Secara konseptual, temuan ini mendukung paradigma *transformative resilience* di mana perencanaan drainase tidak hanya berfokus pada kapasitas fisik, tetapi juga pada kemampuan sistem beradaptasi terhadap dinamika iklim jangka panjang.

Meskipun model menunjukkan akurasi prediktif yang cukup tinggi, ketidakpastian tetap ada pada dua aspek utama: pertama, variabilitas model iklim antar-skenario (RCP4.5 vs RCP8.5) yang dapat menghasilkan deviasi intensitas curah hujan hingga $\pm 10\%$; kedua, keterbatasan data lapangan dalam skala temporal (dua dekade) yang mungkin belum sepenuhnya mewakili tren iklim jangka panjang. Selain itu, model *SWMM* belum mempertimbangkan pengaruh infiltrasi tanah heterogen dan sedimentasi jangka panjang yang dapat mengubah kapasitas hidrolis aktual. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) memperluas validasi multi-sumber data (*satellite rainfall*, *IoT-based sensors*); (2) mengintegrasikan *machine learning* dalam kalibrasi *SWMM* guna mengurangi kesalahan sistematis; dan (3) menilai efektivitas adaptasi berbasis alam

secara ekonomi (cost–benefit analysis). Dalam konteks teoretis, studi lanjutan juga perlu mengeksplorasi konsep *resilience threshold* dalam sistem drainase tropis, untuk mengidentifikasi batas adaptif infrastruktur terhadap proyeksi iklim ekstrem abad ke-21.

Dengan demikian, penelitian ini secara kuantitatif berhasil mengisi kesenjangan pengetahuan (*research gap*) dengan menghubungkan kapasitas sistem drainase eksisting Kota Mataram terhadap proyeksi curah hujan berbasis skenario RCP. Pendekatan integratif *SWMM–GIS* yang digunakan mampu mengkuantifikasi hubungan antara intensitas hujan masa depan, perubahan penggunaan lahan, dan kapasitas hidraulis saluran berdasarkan prinsip *Hydrologic Continuity* dan *Resilience Theory*. Secara empiris, hasil ini memperkuat dasar ilmiah untuk perencanaan drainase perkotaan yang tidak hanya tahan terhadap beban hidrologis saat ini, tetapi juga adaptif terhadap perubahan iklim yang sedang berlangsung.

Simpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas sistem drainase permukiman eksisting di Kota Mataram dalam menghadapi intensitas curah hujan aktual dan proyeksi perubahan iklim berbasis skenario RCP menggunakan pendekatan kuantitatif *SWMM–GIS*. Tujuan tersebut diarahkan untuk menjawab kesenjangan pengetahuan terkait keterbatasan kajian yang menghubungkan kapasitas hidrolis drainase aktual dengan pola curah hujan masa depan, yang sangat penting untuk memahami tingkat kerentanan infrastruktur terhadap dinamika iklim tropis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas hujan puncak diproyeksikan meningkat sekitar +12% pada RCP4.5 dan +28% pada RCP8.5, yang berdampak pada kenaikan debit limpasan permukaan sebesar +14% hingga +33% dibandingkan kondisi historis. Akibatnya, proporsi segmen saluran yang mengalami kelebihan kapasitas (*exceedance*) meningkat dari 24% (historis) menjadi 48% (RCP4.5) dan 72% (RCP8.5). Kedalaman genangan median naik dari 0,18 m menjadi 0,62 m, dan luas area terdampak bertambah dari 3,6% menjadi 14,2% dari total wilayah studi. Secara spasial, kawasan Ampenan, Cakranegara, dan Selaparang teridentifikasi sebagai area dengan indeks kerentanan tertinggi (0,71–0,82), menunjukkan adanya konsentrasi risiko banjir permukiman yang signifikan di wilayah dengan kepadatan bangunan dan tingkat kedap air yang tinggi.

Kontribusi ilmiah utama penelitian ini terletak pada integrasi proyeksi skenario iklim RCP dengan analisis kapasitas drainase eksisting, yang belum banyak diterapkan pada konteks perkotaan Indonesia. Kebaruan pengetahuan muncul dari kemampuan model untuk menghubungkan prinsip *Hydrologic Continuity*—yang menekankan keseimbangan massa air antara curah hujan, limpasan, dan aliran saluran—dengan teori *Resilience*, yang menyoroti kemampuan sistem untuk beradaptasi terhadap gangguan iklim jangka panjang. Dengan nilai Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) sebesar 0,68–0,75 dan $R^2 = 0,73^*$, model *SWMM–GIS* terbukti andal dalam memberikan prediksi kuantitatif terhadap kinerja drainase di bawah kondisi curah hujan ekstrem.

Secara praktis, temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi pemerintah daerah Kota Mataram untuk merumuskan strategi adaptasi drainase berbasis risiko. Simulasi menunjukkan bahwa peningkatan dimensi saluran sebesar $1,5\times$ dapat menurunkan frekuensi kelebihan kapasitas sekitar 30%, sedangkan penerapan infrastruktur hijau seperti kolam retensi dan sumur resapan seluas 2–5% area kota dapat mengurangi debit puncak sebesar 12–22%. Implementasi strategi ini akan meningkatkan kapasitas adaptif (*adaptive capacity*) sistem drainase dan memperkuat ketahanan (*resilience*) infrastruktur perkotaan terhadap perubahan iklim ekstrem.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal resolusi temporal data curah hujan (2000–2020) dan variabilitas antar-model iklim, yang dapat menyebabkan ketidakpastian hingga $\pm 10\%$ pada proyeksi intensitas hujan. Selain itu, model *SWMM* belum sepenuhnya memperhitungkan pengaruh sedimentasi dan infiltrasi tanah heterogen terhadap penurunan kapasitas saluran jangka panjang. Oleh karena

itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan data satelit dan sensor IoT guna meningkatkan akurasi spasial-temporal, serta mengembangkan model pembelajaran mesin (machine learning calibration) untuk mengoptimalkan prediksi debit limpasan. Penelitian berikutnya juga perlu menilai efektivitas ekonomi strategi adaptasi berbasis alam melalui pendekatan cost–benefit analysis dan mengeksplorasi resilience threshold drainase tropis sebagai dasar perencanaan adaptif jangka panjang.

Dapat disimpulkan bahwa penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam memperkuat pemahaman teoretis dan aplikatif mengenai hubungan antara perubahan iklim dan kapasitas drainase perkotaan, sekaligus menyediakan kerangka ilmiah bagi pengembangan kebijakan drainase yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan di masa mendatang.

Daftar Pustaka

- Biljecki, F., & Ito, K. (2021). Street view imagery in urban analytics and GIS: A review. *Landscape and Urban Planning*, 215(November 2020), 104217. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104217>
- Burger, G., Sitzenfrei, R., Kleidorfer, M., & Rauch, W. (2014). Parallel flow routing in SWMM 5. *Environmental Modelling and Software*, 53, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.11.002>
- Duppa, H. (2017). Sumur Resapan Untuk Mengurangi Genangan Air Dan Banjir. *Jurnal Scientific Pinisi*, 3(1), 48–54.
- Guntoro, D. E., Harisuseno, D., & Cahya, E. N. (2017). Pengelolaan Drainase Secara Terpadu Untuk Pengendalian Genangan Di Kawasan Sidokare Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Pengairan*, 008(01), 60–71. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2017.008.01.06>
- Handoyo, G., Suryoputro, A. A. D., & Subardjo, P. (2016). Genangan Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(1), 55. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i1.601>
- Harahap, R. (2019). Pekerjaan Drainase Dan Penyebab Banjir Lingkungan Permukiman. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*, 2(1), 5–9.
- Herlina, N., & Prasetyorini, A. (2020). Effect of Climate Change on Planting Season and Productivity of Maize (*Zea mays* L.) in Malang Regency. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 118–128. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.118>
- Hooshangi, N., Mahdizadeh Gharakhanlou, N., & Ghaffari Razin, S. R. (2023). Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 384(January 2022), 135481. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135481>
- Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L., & Aksoy, H. (2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*, 212(1–3), 344–356. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.005>
- Jannah, M., Sujono, J., & Pamudji Raharjdo, A. (2023). Kajian Perubahan Iklim Di Dki Jakarta Berdasarkan Data Curah Hujan. *Teknisia*, 28(1), 44–54. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol28.iss1.art5>
- Katili, M. I. N. O. I. A. Y. (2024). Pengukuran Infrastruktur Drainase Permukiman Di Kelurahan Leato Utara Untuk Mendukung Sanitasi Lingkungan Yang Layak. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (J-PMas)*, 3(Vol. 3 No. 3 (2024): Jurnal Pengabdian pada Masyarakat (J-PMas)), 85–92. <https://e-journal.unbitago.ac.id/home/index.php/J-PMas/article/view/226/266>
- Kumalasari, D., & Tisnawati, T. (2018). Penataan Sistem Drainase Permukiman Berbasis Masyarakat Dengan Metode Perencanaan Partisipatif Di Kelurahan Poncol Kecamatan Pekalongan Timur. *Pena Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 32(1), 19. <https://doi.org/10.31941/jurnalpena.v32i1.933>
- Kusumawardhani, Ismi, D., & Gernowo, R. (2015). ANALISIS PERUBAHAN IKLIM BERBAGAI VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN EMISI GAS METANA (CH 4) DENGAN METODE GRID ANALYSIS AND DISPLAY SYSTEM (GrADS) DI KABUPATEN SEMARANG Pemanasan global merupakan naiknya suhu rata-rata diseluruh permukaan bumi akibat dari. *Youngster Physic Journal*, 4(1), 49–54.
- Muthya, A. I., Wahyu, Z., Widodo, M. L., & Hastian, T. (2022). Implementasi Sistem Drainase Perkotaan Di Kawasan Perumnas Iii Kelurahan Tanjung Hulu Kecamatan Pontianak Timur. *Aptekmas*, 5(2), 22–27.

- Novrianti. (2017). Pengaruh Drainase Terhadap Lingkungan Jalan Mendawai dan sekitar Pasar Kahayan. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 31–36.
- Nugroho, S. (2019). Analisis Iklim Ekstrem Untuk Deteksi Perubahan Iklim Di Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 7. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.7-14>
- Nurlatifah, A., Hatmaja, R. B., & Rakhman, A. A. (2023). Analisis Potensi Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Masa Mendatang Sebagai Dampak dari Perubahan Iklim di Pulau Jawa Berbasis Model Iklim Regional CCAM. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 980–986. <https://doi.org/10.14710/jil.21.4.980-986>
- Nurul Puspitasar, O. S. (2016). Analisis Tren Perubahan Suhu Udara Minimum Dan Maksimum Serta Curah Hujan Sebagai Akibat Perubahan Iklim Di Provinsi. *Sains*, 16(2), 66–72.
- Pradiko, H., Arwin, Soewondo, P., Suryadi, Y., & Jatikusuma, I. (2017). Model Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan Skala Individu di Lahan Permukiman Kawasan Bandung Utara. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 83–90. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.1.10>
- Pratiwi, Z., & Santosa, B. (2021). Journal of Geospatial Information Science and Engineering. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1), 81–86.
- Putra, A. F. A. (2021). Aplikasi Sistem Drainase Perkotaan Berwawasan Lingkungan Pada Kawasan Permukiman. *Drainase Perkotaan Berwawasan Lingkungan*, May. https://www.researchgate.net/profile/Adin-Abiyyu-Putra/publication/380731290_Aplikasi_Sistem_Drainase_Perkotaan_Berwawasan_Lingkungan_Pada_Kawasan_Permukiman/links/664c138f479366623a013884/Aplikasi-Sistem-Drainase-Perkotaan-Berwawasan-Lingkungan-Pada-Kawa
- Raksanagara, A., Arisanti, N., & Rinawan, F. (2016). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kejadian Demam Berdarah Di Jawa-Barat. *Jurnal Sistem Kesehatan*, 1(1), 43–47. <https://doi.org/10.24198/jsk.v1i1.10339>
- Ramadhany, A. S., Ds, A. A., & Subardjo, P. (2012). Daerah Rawan Genangan Rob di Wilayah Semarang. *Journal Of Marine Reserach*, 1, 174–180. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Rasmana Putra, D., & Muh Aris Marfai, R. (2012). Identifikasi Dampak Banjir Genangan (Rob) Terhadap Lingkungan Permukiman Di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(1), 76112.
- Roeswitawati, D., Mahabella, L. S., Sofiyani, I. R., & Adibah, A. N. (2022). Perbaikan Drainase Untuk Mengatasi Limpasan Air Hujan Dalam Meningkatkan Kualitas Permukiman Rw 07 Kelurahan Merjosari. *RESWARA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 482–489. <https://doi.org/10.46576/rjpkkm.v3i2.1854>
- Rozci, F. (2024). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Sektor Pertanian Padi. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis*, 23(2), 108. <https://doi.org/10.30742/jisa23220233476>
- Ruminta, R., Irwan, A. W., Nurmala, T., & Ramadayanty, G. (2020). Analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi kedelai dan pilihan adaptasi strategisnya pada lahan tadah hujan di Kabupaten Garut. *Kultivasi*, 19(2), 1089–1097. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i2.27998>
- Saputra, I., Prasmatiwi, F. E., Abidin, Z., & Setiawan, A. (2023). Persepsi Petani Padi Sawah Irigasi dan Tadahan Hujan terhadap Perubahan Iklim di Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 7(1), 166. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2023.007.01.15>

- Shahed Behrouz, M., Zhu, Z., Matott, L. S., & Rabideau, A. J. (2020). A new tool for automatic calibration of the Storm Water Management Model (SWMM). *Journal of Hydrology*, 581(December 2019), 124436. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124436>
- Suhadi, S., Mabruroh, F., Wiyanto, A., & Ikra, I. (2023). Analisis Fenomena Perubahan Iklim Terhadap Curah Hujan Ekstrim. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 94–100. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i1.2738>
- Suripin, S., & Kurniani, D. (2016). Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Hidrograf Banjir di Kanal Banjir Timur Kota Semarang. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(2), 119. <https://doi.org/10.14710/mkts.v22i2.12881>
- Susilokarti, D., Arif, S. S., Susanto, S., & Sutiarmo, L. (2015). Identifikasi Perubahan Iklim Berdasarkan Data Curah Hujan di Wilayah Selatan Jatiluhur Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Agritech*, 35(01), 98. <https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/13038/15155>
- Tanim, A. H., Smith-Lewis, C., Downey, A. R. J., Imran, J., & Goharian, E. (2024). Bayes_Opt-SWMM: A Gaussian process-based Bayesian optimization tool for real-time flood modeling with SWMM. *Environmental Modelling and Software*, 179(June), 106122. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106122>
- Tokan, A. B., & Khaerudin, D. N. (2016). Studi Perencanaan Jaringan Drainase Permukiman Di Perumahan Pegawai Negeri Sipil Kepanjen Kabupaten Malang. ... : *Jurnal Penelitian Teknik ...*, 2(1), 39–49. <https://publikasi.unitri.ac.id/index.php/teknik/article/view/1142>
- Veanti, D. P. O., Virgianto, R. H., & Astiduari, I. G. A. P. P. (2022). The Impact of Climate Change on Cooling Energy Demand in Indonesia Based on Representative Concentration Pathways (RCP) Scenarios. *Science and Technology Indonesia*, 7(1), 9–16. <https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.1.9-16>
- Widodo, E., & Ningrum, D. (2015). Evaluasi Sistem Jaringan Drainase Permukiman Soekarno Hatta Kota Malang dan Penanganannya. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, 11(3), 1–9. <http://sistem.wisnuwardhana.ac.id/index.php/sistem/article/view/9/9>
- Yastika, P. E., Vipriyanti, N. U., Partama, I. G. Y., Suparwata, I. W. E., & Sudiarta, I. K. (2023). Analisis Respon Petani Terhadap Perubahan Iklim dan Curah Hujan di Subak Jatiluwih, Tabanan Bali, Indonesia. *Agro Bali : Agricultural Journal*, 6(3), 783–792. <https://doi.org/10.37637/ab.v6i3.1262>
- Zhu, J., & Wu, P. (2022). BIM/GIS data integration from the perspective of information flow. *Automation in Construction*, 136(December 2021), 104166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104166>