

Penerapan Konsep Simbiosis Mutualisme melalui Integrasi Pemanen Air Hujan, Akuaponik, dan Pengolahan Sampah Organik di Kawasan Pemukiman Perkotaan

Implementation of the Mutualistic Symbiosis Concept Through the Integration of Rainwater Harvesting, Aquaponics, and Organic Waste Management in Urban Residential Areas

Yudha Hanova^{*1}, Kartika Indah Sari², Ahmad Bima Nusa³, Rahmat Dirgantara⁴
(*correspondence author)

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Harapan Medan
E-mail: ¹yudhahanova@unhar.ac.id, ²mutiyalubis@gmail.com,
³ahmadbimanusa71@gmail.com, ⁴rahmatdunhar@gmail.com

Dikirim: 10-05-2026 | Direvisi: 24-05-2026 | Diterima: 02-06-2026 | Tersedia Online: 30-06-2026

Abstrak

Integrasi sistem pemanen air hujan, akuaponik, dan pengolahan sampah dibangun untuk mengurangi genangan serta memanfaatkan air hujan pada lahan pemukiman masyarakat Lingkungan X Kelurahan Tanah Enam Ratus Kecamatan Medan Marelan. Pembangunan integrasi sistem tersebut dilakukan untuk mengelola sumber daya air dan melaksanakan program ekonomi hijau yang ramah lingkungan serta berkelanjutan di pemukiman perkotaan. Metode pelaksanaan program menggunakan pendekatan transfer teknologi berbasis riset dengan mengimplementasikan hasil pengembangan model teoretis terdahulu ke dalam skala prototipe lapangan. Proses pelaksanaan kegiatan diawali dengan analisis data dan perancangan desain, dilanjutkan dengan pembangunan konstruksi integrasi sistem di lahan individu masyarakat, serta diakhiri dengan evaluasi model di lapangan. Kegiatan pengabdian ini berhasil memberikan dokumen desain teknis dan model integrasi sistem yang sangat potensial untuk direplikasi di pemukiman perkotaan. Infrastruktur terpadu ini memiliki kapasitas tampungan air hujan sebesar 5,00 m³ guna menjamin suplai air baku sistem akuaponik sekaligus mampu mengolah sampah organik menjadi pupuk untuk nutrisi tanaman. Melalui mekanisme pemanfaatan air hujan dan pengolahan sampah tersebut, integrasi sistem ini berhasil menciptakan simbiosis mutualisme pada ketiga sistem serta sukses memproduksi sayuran dan ikan secara mandiri untuk skala rumah tangga.

Kata kunci: Integrasi Sistem, Pemanen Air Hujan, Akuaponik, Pengolahan Limbah, Simbiosis Mutualisme.

Abstract

The integration of a rainwater harvesting system, aquaponics, and organic waste management was constructed to reduce inundation and utilize rainwater on community residential land in Environment X, Tanah Enam Ratus Village, Medan Marelan District. The development of this integrated system was carried out to manage water resources and implement an eco-friendly and sustainable green economy program in urban settlements. The program's execution method employed a research-based transfer of technology approach by

implementing prior theoretical model developments into a field prototype scale. The project execution workflow initiated with data analysis and engineering design, followed by the integration system construction on individual community plots, and concluded with field model evaluation. This community service activity successfully delivered technical design documents and an integrated system model highly potential for replication in urban residential areas. This integrated infrastructure possesses a rainwater storage capacity of 5.00 m³ to guarantee the raw water supply for the aquaponics system while simultaneously processing domestic organic waste into fertilizer for plant nutrition. Through these rainwater utilization and waste management mechanisms, the integrated system successfully generated a mutualistic symbiosis across the three systems and successfully produced vegetables and fish independently for household scale.

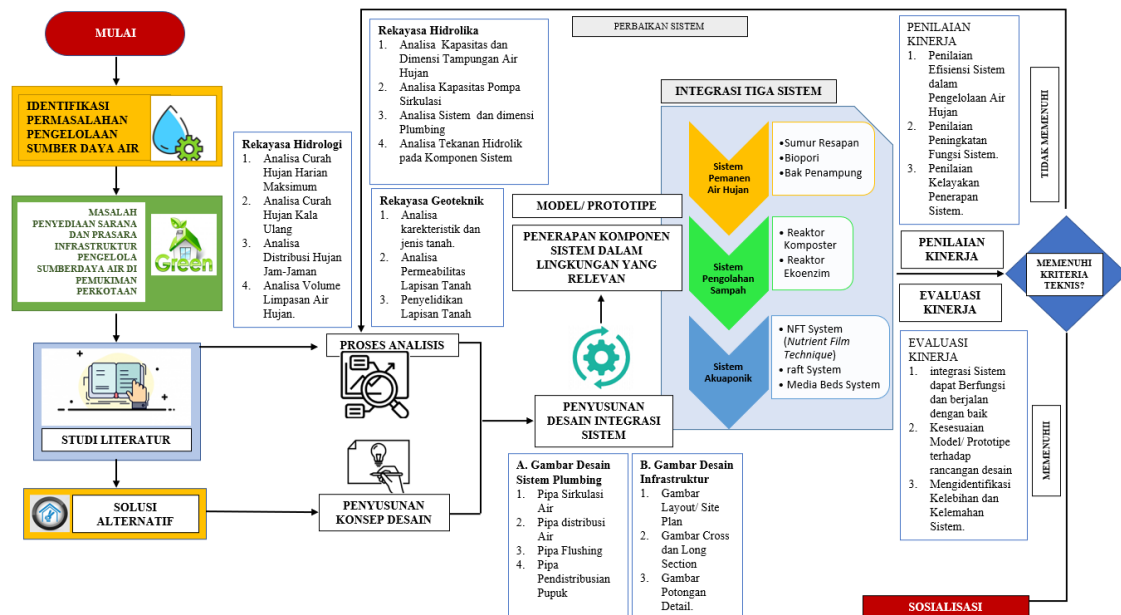
Keywords: *Integrated Systems, Rainwater Harvesting, Aquaponics, Waste Management, Symbiotic Mutualism.*

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sumberdaya air di Indonesia saat ini dihadapkan pada delapan pokok permasalahan. Ketersediaan sarana dan prasarana infrastruktur pengelola sumberdaya air menjadi salah satu permasalahan yang krusial yang harus segera diselesaikan guna mendukung usaha konservasi, pendayagunaan dan pengendalian daya rusak air. Terbatasnya sarana dan pra sarana mengakibatkan beberapa tujuan dalam pengelolaan sumberdaya air belum tercapai secara maksimal. Selain itu peningkatan pembangunan dan pertumbuhan penduduk yang signifikan dalam tiga dasawarsa telah meningkatkan alih fungsi lahan diberbagai wilayah di Indonesia . Hal ini terjadi di wilayah pinggiran perkotaan yang menyebabkan ketidaksesuaian alih fungsi lahan terhadap peruntukan dan fungsi kawasan sehingga berdampak pada penurunan kapasitas resapan air, peningkatan erosi dan sedimentasi serta penurunan kualitas dan kualitas air permukaan (Fahmi et al., 2023)(Hidayati, 2021)(Harahap, 2013). Peningkatan pembangunan didominasi oleh perluasan infrastruktur pemukiman yang linear terhadap pertumbuhan penduduk dimana hal ini juga memicu peningkatan pada permasalahan sosial, ekonomi, dan lingkungan (Harahap, 2013). Perluasan infrastruktur pemukiman juga menyebabkan penurunan tinggi muka air tanah, dan penyempitan lahan resapan hujan (Arsandi et al., 2017) (Sasongko, 2023). Jika hal ini tidak diantisipasi maka akan memicu pertumbuhan kawasan pemukiman kumuh diperkotaan. Kekumuhan akan berimbas pada rusaknya kualitas dan kuantitas air tanah akibat buruknya pengelolaan limbah dan sampah rumah tangga (Sasongko, 2023).

Antisipasi kerusakan sumberdaya air akibat perluasan infrastruktur pemukiman perkotaan dapat dilakukan melalui prakarsa dan partisipasi masyarakat setempat (Sasongko, 2023) (Iqbal et al., 2024). Salah satu mekanisme yang dijalankan adalah dengan manajemen sumberdaya air di lahan masyarakat dengan menerapkan integrasi teknologi tepat guna yang berkelanjutan (Hidayati, 2021) (Khasanah et al., 2022). Oleh sebab itu diperlukan usaha-usaha dalam pengembangan produk infrastruktur sarana dan prasarana pengelolaan sumberdaya air agar mampu menjadi teknologi tepat guna yang multifungsi sekaligus dapat mendukung upaya-

Metode holistik Interdisipliner digunakan untuk merancang, menganalisis dan mengimplementasikan sistem pemanen air hujan, akuaponik dan pengolahan sampah berdasarkan pedoman teknis dan hasil riset terdahulu yang berkaitan dengan sistem tersebut. Seluruh gejala dan perilaku fisik yang timbul pada implementasi sistem dikaji secara hidrologi (Sri Harto, 1993)(Chow et al., 1988), hidrolika dan rekayasa geoteknik (Hardiyatmo, 2002). Rangkaian prosedur kegiatan pengabdian ini dibagi dalam tiga kegiatan yaitu: (1) Identifikasi dan pengumpulan data; (2) Analisa data; (3) Implementasi dan evaluasi. Rangkaian prosedur kegiatan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Metode Penerapan Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi (Sri Harto, 1993) diawali dengan pengumpulan data hujan dari dua sumber utama yaitu Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) serta *Global Precipitation Measurement Mission (GPM)*. Data hujan harian yang diambil adalah Stasiun BMKG Maritim Belawan yang terletak pada koordinat 3.788240° LU dan 98.714920° BT. Sementara itu, data hujan dari GPM digunakan mencakup wilayah dengan rentang koordinat 3.63650° - 3.79030° LU dan 98.43750° - 98.8110° BT. Koordinat dari kedua sumber data tersebut merupakan koordinat stasiun pengamatan hujan terdekat yang mewakili kondisi klimatologi di lokasi penerapan sistem. Sedangkan untuk periode data yang dianalisis dalam penelitian

ini diambil dari tahun 2014 hingga 2023. Berikut adalah hasil analisis hidrologi yang dilakukan.

3.1.1 Hujan Harian Maksimum Tahunan

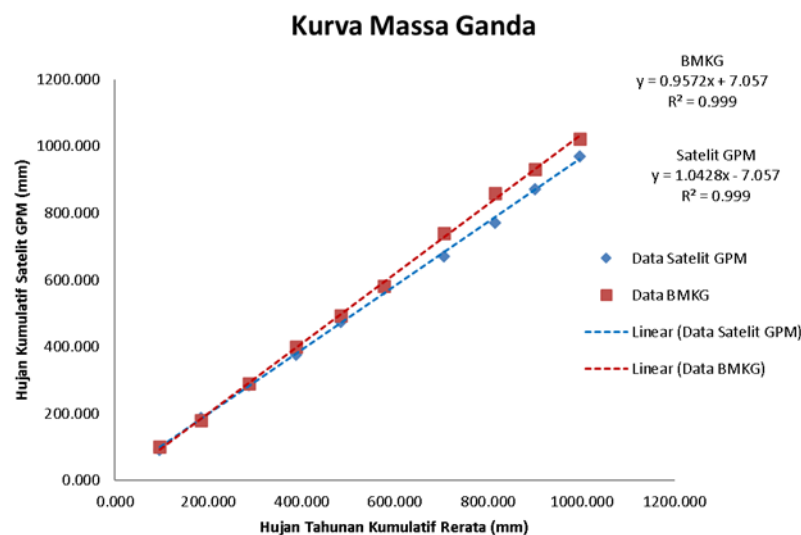
Data hujan harian maksimum dari Stasiun BMKG Maritim Belawan dan Satelit GPM menunjukkan bahwa selama periode 2014 hingga 2023, data GPM secara umum mencatat data curah hujan maksimum direntang nilai 91.50 mm hingga 100.00 mm dengan nilai curah hujan tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 100.00 mm. Sebaliknya, Data BMKG menunjukkan variasi nilai yang lebih besar dengan nilai curah hujan tertinggi mencapai 159.00 mm pada tahun 2020 dan terendah 70.70 mm pada tahun 2022. Di beberapa tahun data menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua data seperti terlihat di tahun 2020 dan 2022. Hal ini bisa disebabkan oleh perbedaan metode pengukuran, resolusi data, atau skala akurasi yang digunakan oleh masing-masing sumber pengamatan (BMKG dan Satelit GPM). Perbedaan ini mengindikasikan bahwa data BMKG cenderung memiliki nilai curah hujan maksimum yang lebih besar dibandingkan data dari GPM. Namun jika data BMKG diamati untuk durasi yang berbeda (2002-2021), maka ditemukan perbedaan signifikan pada nilai durasi hujan harian maksimum di Stasiun BMKG Maritim Belawan, dimana ditemukan nilai hujan harian diatas 150 mm, bahkan di tahun 2006 Stasiun BMKG Maritim Belawan mencatat hujan harian sebesar 396 mm. Dalam penelitian sebelumnya (Hanova & Franchitika, 2021)(Yudha Hanova, 2018) juga diperoleh bahwa data hujan harian maksimum masih berada dalam rentang nilai tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data BMKG dan GPM dapat digunakan untuk menilai dan mengamati pola serta variabilitas hujan di lokasi penerapan sistem (Aini et al., 2024) (Pratiwi et al., 2017)(Maknun & Suripin, 2024) (Amin et al., 2024) (Wahyuni et al., 2020) (Marta et al., 2022) (Kurniawan & Jendra, 2022).

Tabel 1. Hujan Harian Maksimum Tahunan		
Tahun	Curah Hujan Maksimum Tahunan (mm)	
	Data Curah Hujan GPM	Data Curah Hujan BMKG
2014	92.03	100.00
2015	95.94	80.50
2016	96.50	109.10
2017	91.50	110.00
2018	99.38	93.00
2019	97.16	88.60
2020	98.48	159.00
2021	100.00	119.50
2022	99.85	70.70
2023	99.29	91.20

(Sumber : BMKG Maritim Belawan dan Satelit GPM, 2024)

3.1.2 Validasi Data Hujan

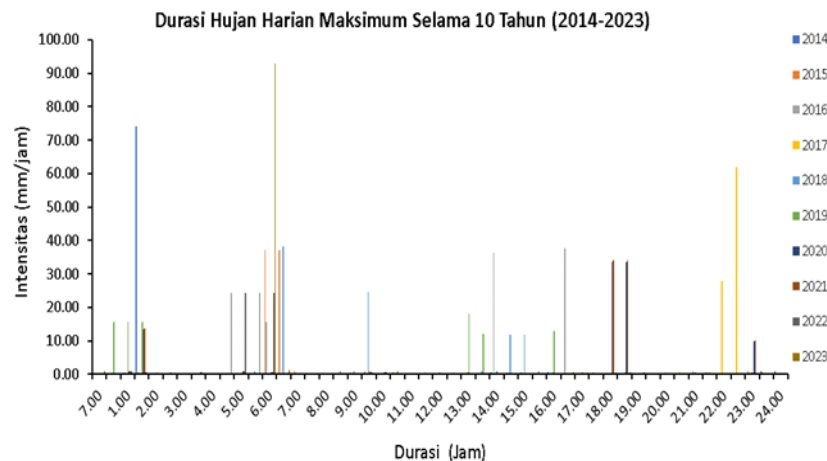
Hasil uji validasi data hujan satelit GPM dengan data hujan BMKG menggunakan metode Kurva Massa Ganda (Chow et al., 1988) (SNI 2415:2016, 2016) menunjukkan nilai korelasi 0.999 dengan masing-masing data membentuk garis linear yang saling bersinggungan. Data BMKG membentuk persamaan linear $y = 0.9572x + 7.057$ sedangkan Data GPM membentuk persamaan linear $y = 1.0428x - 7.057$. kemiringan dan intercept dari persamaan grafik menunjukkan bahwa data BMKG cenderung lebih rendah dari data yang tercatat oleh satelit GPM untuk setiap kenaikan hujan tahunan. Namun demikian, data keduanya dianggap memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam merepresentasikan pola hujan tahunan di kawasan ini sehingga data hujan keduanya dapat digunakan dalam analisis hujan rancangan (SNI 2415:2016, 2016) pada perencanaan integrasi pemanen air hujan, pengolahan sampah, dan akuaponik di Kecamatan Medan Marelan yang merupakan salah satu kawasan pemukiman perkotaan Kota Medan (PERPRES No 62 Tahun 2011, 2011) (BPS Kota Medan, 2025).



Gambar 2. Hasil Uji Validasi Data

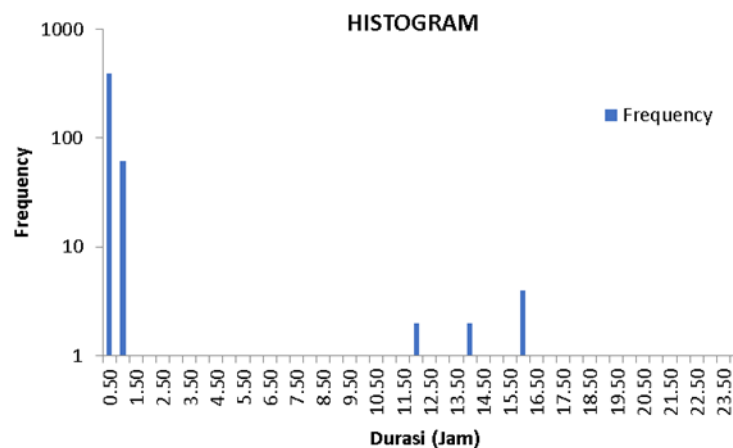
3.1.3 Durasi Hujan Harian Maksimum

Durasi hujan harian maksimum (Data GPM) selama satu hari dimulai pukul 07.00 WIB sesuai standar BMKG (PERKEP BMKG, 2006). Setelah dianalisis, pola durasi hujan harian maksimum selama periode 10 tahun (2014-2023) memiliki karakteristik yang spesifik dimana intensitas hujan maksimum terjadi di beberapa waktu tertentu. Intensitas tertinggi tercatat pada pagi hari antara pukul 07.00 hingga 09.00 WIB, pada tengah hari antara pukul 13.00 hingga 15.00 WIB, serta pada dini hari antara pukul 01.00 hingga 03.00 WIB. Sementara itu, intensitas hujan yang lebih kecil tercatat diantara waktu-waktu tersebut. Hal ini menunjukkan adanya variasi durasi yang signifikan dalam pola curah hujan harian di lokasi penerapan sistem.



Gambar 3. Pola Durasi Hujan Harian Maksimum

Jika dilihat histogram data (Gambar 4), Pola distribusi data hujan cenderung asimetris (Sri Harto, 1993)(Chow et al., 1988) (*right-skewed*) dan intensitas hujan maksimum terjadi dengan durasi pendek (0.50 – 1.50 jam). Representasi grafis histogram juga menunjukkan frekuensi kejadian hujan dimana jumlah data hujan berada dalam interval 0.50 - 1.50 jam dan memiliki nilai frekuensi masing-masing sebesar 387.00 dan 61.00. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat intensitas hujan yang tinggi, durasinya tidak berlangsung lama sehingga durasi hujan akan sangat berpengaruh terhadap fungsi dan bentuk desain dari infrastruktur pengelolaan sumber daya air.



Gambar 4. Histogram Durasi Hujan Harian Maksimum

3.1.4 Debit Rencana

Debit rencana yang dipakai dalam analisa desain bangunan sistem pemanen air hujan ditentukan berdasarkan hasil perhitungan hujan kala ulang. Distribusi hujan kala ulang yang digunakan adalah Distribusi Log Person III. Perhitungan debit rencana dianalisis menggunakan metode rasional. Hasil analisa menunjukkan bahwa nilai debit untuk kala ulang 1 hingga 100 tahun berada pada rentang 3,515 hingga 5,047 m³. Hasil analisa debit rancangan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Debit Rancangan Kala Ulang

Kala Ulang	Intensitas mm/jam	Luas Ha	C	Debit m ³ /s	Volume m ³
1	73.161	0.006	0.800	0.001	3.515
2	96.110	0.006	0.800	0.001	4.617
5	100.661	0.006	0.800	0.001	4.836
10	102.295	0.006	0.800	0.001	4.914
20	103.548	0.006	0.800	0.001	4.974
25	104.123	0.006	0.800	0.001	5.002
50	104.506	0.006	0.800	0.001	5.020
100	105.053	0.006	0.800	0.001	5.047

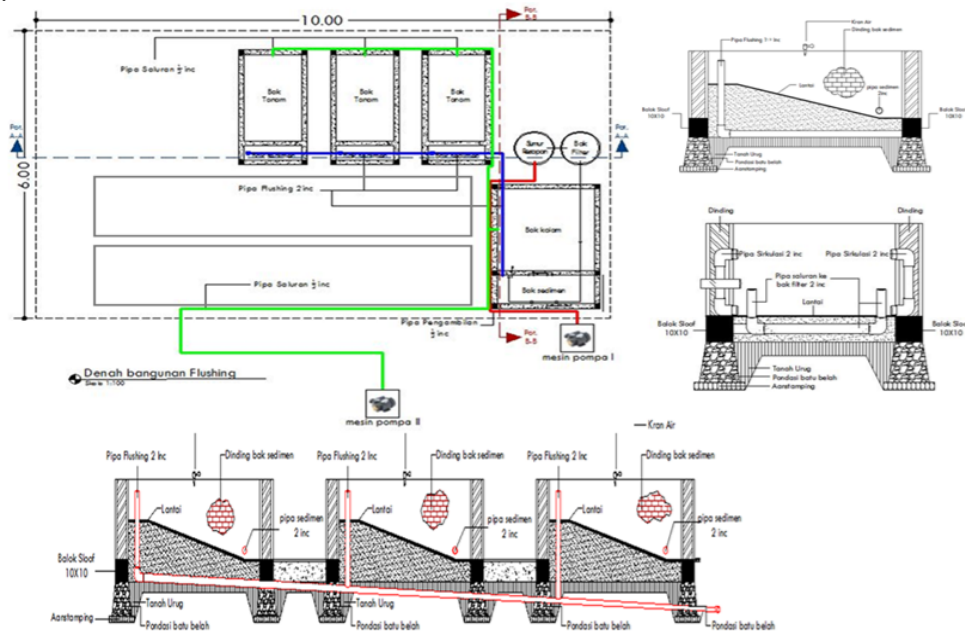
3.2 Analisa Hidrolika

Analisis hidrolika bertujuan untuk mengoptimalkan dan mengintegrasikan fungsi sistem pemanen air hujan terhadap sistem akuaponik melalui dua mekanisme. Pertama, analisa hidrolika digunakan untuk perencanaan sistem plumbing agar air hujan terdistribusi dan tersirkulasi dengan baik. Kedua, analisa hidrolika digunakan untuk mendesain kapasitas volume tampungan kolam akuaponik yang berfungsi sebagai tempat penampungan air hujan dan juga budidaya ikan.

3.2.1 Analisa Sistem Plumbing

Analisa sistem plumbing mengacu pada panduan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8153-2015 tentang Sistem Plumbing (SNI 8153, 2015). SNI ini memberikan panduan teknis yang jelas tentang bagaimana sistem plumbing harus dirancang dan diimplementasikan, termasuk persyaratan khusus untuk sistem penyaluran air hujan. Selain SNI, perencanaan juga didukung oleh literatur terkait sistem pemanen air hujan (Malik et al., 2016) (Ismahyanti et al., 2021) (Pamungkas et al., 2023) (Ali et al., 2017) (Rosadi et al., 2023) (Abadi et al., 2018) dan sistem akuaponik (Ujjania et al., 2023) (Rahmanto et al., 2020). Sistem plumbing dibagi menjadi tiga model dan memiliki fungsi masing-masing, namun ketiganya saling terintegrasi. Model pertama adalah pipa sirkulasi, pipa ini berfungsi menjaga aliran air tetap bergerak di dalam sistem sehingga kualitas air terjaga dan mencegah terjadinya endapan, pipa sirkulasi menggunakan pipa pvc 2.00 inch dan dipasang dengan kemiringan 5 %. Sebelum air kembali ke bangunan pengambilan, air diarahkan ke bak filter dengan kecepatan aliran rencana 0.80 – 1.00 m/s. Setelah air berada di bak filter kecepatan aliran akan diperlambat dengan kecepatan aliran < 0.4 m/s agar partikel sedimen yang terbawa aliran dapat mengendap sebelum disirkulasikan kembali ke dalam sistem. Model kedua adalah pipa distribusi, yang bertugas mendistribusikan air dari tangki penyimpanan air hujan ke sistem akuaponik dan kolam. Pipa distribusi menggunakan pipa jenis pvc dengan diameter 1 ½ inch. Model ketiga adalah pipa pengambilan dengan diameter pipa ¾ inch yang digunakan untuk mengambil air dari tangki penyimpanan dengan mekanisme sistem pemompaan.

Sistem ini menggunakan dua pompa air dengan kapasitas pompa maksimal sebesar 33 Liter/Menit.



Gambar 5. Desain Rencana Sistem Plumbing

3.2.2 Analisa Kapasitas Volume Tampungan

Tampungan yang digunakan untuk menyimpan dan memanfaatkan air hujan terdiri dari empat kolam penampungan, 2 sumur resapan dan 2 lubang biopori. Untuk kolam tampungan, ada dua tipe ukuran yang digunakan. Tipe I, kolam berukuran 2.20 x 1.50 x 0.50 m sebanyak 1 unit dan Tipe II berukuran 2.40 x 1.20 x 0.50 m sebanyak 3 unit. Total volume tampungan dari kolam yang didesain adalah 5.97 m³. Jika kolam dalam kondisi kosong, maka total volume tampungan tersebut masih lebih besar dari nilai debit kala ulang hujan yang berada pada rentang 3,515 hingga 5,047 m³. Namun pada saat kolam dalam kondisi digunakan sebagai kolam budidaya ikan, ketinggian muka air kolam diatur pada ketinggian 0.35 m sehingga volume tampungan kolam untuk air hujan adalah sebesar 1.79 m³. Untuk desain sumur resapan, direncanakan dua unit dengan kapasitas tampungan sebesar 0.40 m³. Sedangkan untuk lubang biopori di desain sebanyak 2 unit dengan kapasitas tampungan sebesar 0.016 m³. Total kapasitas tampungan untuk kolam tampungan, sumur resapan, dan biopori adalah sebesar 2.207 m³.

3.3 Analisa Geoteknik

Analisa geoteknik (Hardiyatmo, 2002) (Braja M. Das, 1995) yang dilakukan adalah penyelidikan lapisan dan karakteristik tanah di lokasi penelitian. Penyelidikan ini bertujuan untuk melihat karakteristik lapisan tanah bawah permukaan. Penyelelidikan lapisan tanah menggunakan peralatan handbore dengan kedalaman 1.00 m. Sampling tanah diambil di tiap kedalaman 0.20 m, kemudian sampling tersebut diuji berat jenis dan kadar air di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Harapan Medan. Hasil analisis menunjukkan bahwa

sampling tanah yang diambil merupakan jenis lempung berpasir, namun dominasi tanah lempung masih sangat dominan. Berat jenis sampling tanah yang diuji memberikan nilai berat jenis direntang nilai 2,60 - 2,74 g/cm³. Hasil analisis dan visualisasi menunjukkan bahwa karakteristik lapisan tanah di lokasi penelitian memiliki daya serap air yang cukup tinggi jika berada pada kondisi kering. Namun jika dalam kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*/ jenuh kering permukaan, daya serap tanah terhadap air semakin menurun. Bahkan untuk kondisi jenuh, tanah dapat kehilangan daya serap dan memiliki nilai swelling yang cukup tinggi.



Gambar 6. Pengujian Sampel Tanah

Selain penyelidikan jenis dan karakteristik tanah, dilakukan juga pengujian permeabilitas dan laju infiltrasi di lapangan. Nilai permeabilitas yang diperoleh di lapangan berada direntang 10^{-5} – 10^{-3} m/s, sedangkan untuk laju infiltrasi menunjukkan nilai 2.00 – 10.00 mm/jam. Dari hasil pengujian lapangan ini dapat disimpulkan bahwa tanah asli di lokasi penelitian dapat menyerap air ke dalam tanah dengan kecepatan yang cukup baik, meskipun tergolong sedang hingga rendah jika dibandingkan dengan standar permeabilitas dan laju infiltrasi untuk tanah berpasir atau tanah lempung berstruktur baik.



Gambar 7. Pengujian Permeabilitas laju Infiltrasi Lahan

Hasil pengujian permeabilitas yang memiliki rentang nilai $10^{-5} - 10^{-3}$ m/s juga menunjukkan bahwa tanah di lokasi memiliki karakteristik semi-permeabel hingga permeabel sedang, yang umum ditemukan pada tanah lempung berpasir atau tanah lempung dengan kandungan organik yang rendah. Sementara itu, laju infiltrasi sebesar 2.00 – 10.00 mm/jam mengindikasikan bahwa tanah mampu mengalirkan air ke lapisan bawah dalam jumlah terbatas per satuan waktu, namun masih cukup untuk mendukung aktivitas konseravasi air dengan rekomendasi penambahan bahan organik, dan penanaman vegetasi penutup tanah di atasnya. Strategi ini dapat membantu meningkatkan daya serap tanah, mengurangi aliran permukaan, serta memperbaiki kondisi struktur tanah. Faktor lain yang mempengaruhi nilai permeabilitas tanah di lokasi adalah tinggi muka air tanah. Hasil pengukuran dan pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa lokasi penelitian berada di zonasi muka air dangkal dengan ketinggian muka air berada pada elevasi (-0.50) – (-0.90) m (Diukur dari datum lokal/titik referensi). Fluktuasi tinggi muka air tanah pada kondisi kering dan basah berkisar antara 0.40 – 0.55 m.

3.4 Sistem Pengolahan Limbah

Sistem pengolahan sampah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem fermentasi ekoenzim (Zurhaini et al., 2020) (Aulia et al., 2021) (Rosnawati et al., 2018). Sistem ini dirancang untuk mengolah sampah organik, seperti sisa buah, sayur, dan bahan organik lainnya, menjadi larutan serbaguna yang ramah lingkungan. Larutan ekoenzim ini memiliki banyak manfaat, antara lain sebagai pupuk cair, bio-pestisida, pengurai limbah, hingga bahan pembersih alami. Untuk membangun sistem ini, diperlukan wadah yang kedap udara sebagian untuk memastikan proses fermentasi berjalan secara anaerob, namun tetap memungkinkan pelepasan gas (seperti karbon dioksida) yang dihasilkan selama

fermentasi. Wadah ini biasanya berupa drum plastik, galon, atau botol besar yang memiliki penutup dengan ventilasi kecil untuk mencegah tekanan gas berlebih. Wadah juga harus tahan terhadap asam yang terbentuk selama proses fermentasi. Proses fermentasi dilakukan dengan mencampurkan bahan organik, sumber gula (molase), dan air dalam perbandingan 3:1:10. Setelah bahan dicampur, wadah ditutup rapat dan disimpan di tempat teduh dan terhindar dari sinar matahari langsung. Fermentasi awal biasanya berlangsung selama 1-2 minggu, ditandai dengan pelepasan gas dan munculnya aroma khas. Selama periode ini, campuran harus diaduk secara berkala untuk memastikan proses fermentasi merata. Setelah fermentasi awal, larutan dibiarkan hingga proses fermentasi selesai, biasanya dalam waktu 3 bulan. Pada tahap ini, bahan organik telah terurai menjadi larutan kaya enzim, asam organik, dan mikroorganisme bermanfaat. Ampas yang tersisa dapat digunakan sebagai kompos untuk memperbaiki struktur tanah, sementara larutan ekoenzim dipanen dan disimpan untuk kemudian digunakan sebagai larutan/campuran didalam sistem akuaponik.



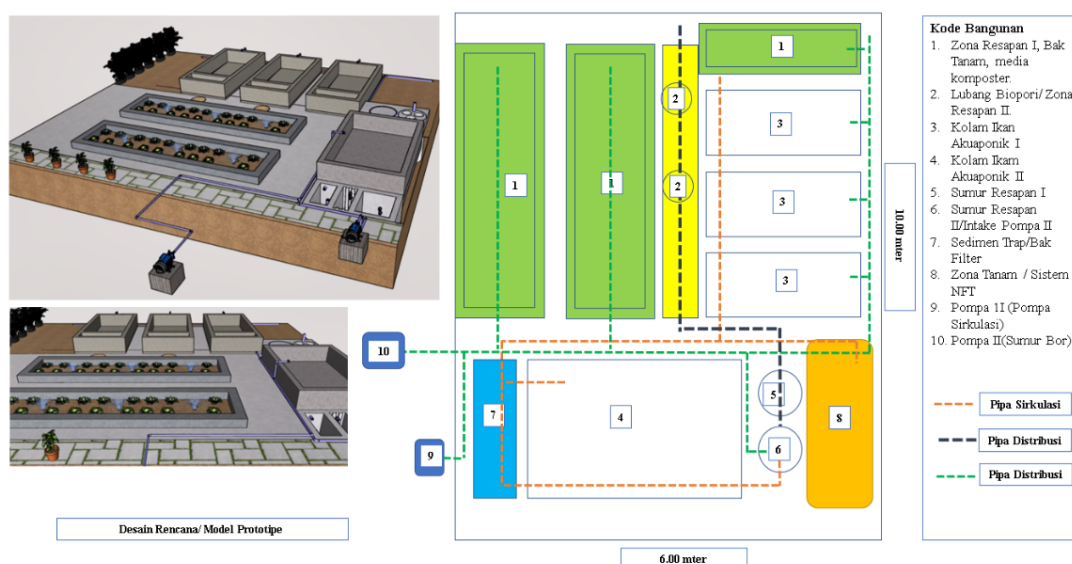
Gambar 8. Hasil Pengolahan Limbah dengan Sistem Ekoenzim

Hasil penelitian menunjukkan bahwa wadah/ tong berwarna putih dengan sifat kedap udara menghasilkan kualitas ekoenzim terbaik karena mulsa putih dibagian atas tumbuh dan terbentuk secara sempurna. Sedangkan di wadah lainnya, mulsa ini hanya sedikit muncul di permukaan larutan ekoenzim. Wadah/ Tong berwarna putih atau semi-transparan dinilai mampu mengurangi intensitas cahaya yang masuk sehingga menjaga stabilitas suhu di dalam wadah. Cahaya matahari yang masuk ke dalam lingkungan fermentasi dapat membantu mempercepat metabolisme bakteri anaerob dan mikroorganisme fakultatif (dapat hidup dengan atau tanpa oksigen). Selain itu, wadah/ tong juga dirancang untuk memenuhi beberapa karakteristik penting dalam fermentasi dengan memasang peralatan tambahan untuk melepaskan gas karbon dioksida melalui ventilasi kecil.

Wadah/Tong juga harus tahan terhadap asam organik yang dihasilkan selama fermentasi, sehingga tidak mudah rusak atau terdegradasi.

3.5 Konsep Desain dan Implementasi

Optimalisasi sistem pemanen air hujan dilakukan dengan menggabungkan sistem akuaponik dan sistem pengolahan sampah menjadi satu rangkaian sistem. Penggabungan ini dilakukan untuk mengoptimalkan fungsi masing-masing sistem agar saling memberikan kontribusi dan manfaat satu sama lain sehingga menciptakan sebuah konsep simbiosis mutualisme. Konsep simbiosis mutualisme ini adalah sebuah terobosan baru dalam menciptakan rancangan desain infrastruktur sumberdaya air yang memiliki nilai kebaruan, inovatif dan berkelanjutan. Konsep desain ini akan diprediksi memberikan manfaat lebih baik dibandingkan dengan konsep sistem pemanen hujan sebelumnya. Melalui konsep ini sistem pemanen hujan akan memberikan manfaat tidak hanya untuk air baku saja, namun digunakan juga untuk budidaya tanaman dan ikan. Sedangkan sistem pengolahan sampah akan mengubah sampah rumah tangga menjadi pupuk organik cair dan digunakan untuk budidaya tanaman.



Gambar 9. Konsep Desain Integrasi Sistem

Konsep desain diimplementasikan dalam bentuk prototipe/model dengan skala 1:1 di lahan berukuran 6.00 x 10.00 m (Luas lahan 60 m²). Evaluasi kinerja model dimulai dengan pengukuran parameter fisik dan hidraulik, seperti laju aliran air, infiltrasi, kapasitas penyimpanan, dan distribusi aliran pada setiap komponen utama, termasuk plumbing, sumur resapan, lubang biopori, bak filter, dan kolam penampung. Integrasi sistem pemanen air hujan, akuaponik, dan pengolahan sampah (ekoenzim) dinilai berhasil dan sesuai dengan kriteria desain dan tujuan konsep desain. Integrasi sistem ini mampu mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air secara terpadu dan mendukung siklus pemanfaatan air berkelanjutan di kawasan pemukiman. Air hujan yang ditampung dapat dimanfaatkan untuk

memenuhi kebutuhan air tanaman akuaponik. Sisa air yang belum dimanfaatkan dapat diserapkan ke dalam tanah melalui sumur resapan dan biopori. Tujuan diresapkan air hujan ke dalam tanah adalah upaya konservasi air dan mengurangi limpasan permukaan di kawasan pemukiman, terutama pada musim hujan. Integrasi sistem juga memanfaatkan sampah organik (sistem ekoenzim) untuk digunakan sebagai bahan yang kaya manfaat, terutama untuk menciptakan bakteri mikroorganisme yang dapat membantu menjaga kualitas air kolam akuaponik dengan mengurai nitrogen menjadi nutrisi yang dapat langsung diserap oleh tanaman. Sehingga air kolam yang disirkulasi dapat terjaga kualitasnya, terutama nilai pH dan TDS.



Gambar 10. Evaluasi Kinerja Model

Implementasi sistem menunjukkan hasil bahwa sistem pemanen air hujan dapat menampung air hujan dan memanfaatkannya untuk memenuhi kebutuhan air pada sistem akuaponik. Air hujan yang dapat ditampung sistem pemanen air hujan bisa mencapai 5.00 m³ atau setara dengan hujan kala ulang 25 tahun. Air hujan tersebut selain digunakan untuk kebutuhan akuaponik juga diserapkan kedalam tanah melalui sumur resapan dan lubang biopori. Selain itu zona bak tanam (Gambar 9 dan Gambar 10) dapat digunakan sebagai wadah komposter untuk sampah organik rumah tangga seperti sisa sampah segar (sisa potongan sayur, dan kulit buah), dan sampah sisa olahan makanan. Caranya dengan menggali media tanam (tanah kompos) sedalam ± 0.30 m, kemudian meletakkan sampah tersebut ke dalam lubang lalu menutupnya kembali dengan tanah. Setelah itu timbunan sampah di siram dengan larutan ekoenzim. Proses perubahan sampah menjadi pupuk kompos memerlukan waktu ± 30 hari.

KESIMPULAN

1. Pendekatan transfer teknologi berbasis riset terbukti sukses mentransformasikan model teoretis menjadi prototipe lapangan fungsional di

- lahan pemukiman masyarakat di Lingkungan X Kelurahan Tanah Enam Ratus Kecamatan Medan Marelan.
2. Infrastruktur pemanen air hujan dengan kapasitas tampungan 5,00 m³ (setara hujan kala ulang 25 tahun) terukur mampu mereduksi limpasan permukaan (*surface runoff*) di lokasi implementasi sistem dan dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan air akuaponik.
 3. Pemanfaatan zona bak tanam sebagai komposter sedalam $\pm 0,30$ m dan pembuatan larutan ekoenzim terbukti efektif mereduksi volume sampah organik rumah tangga harian dengan kecepatan dekomposisi konstan selama $\pm(15-30)$ hari dan menghasilkan pupuk kaya nitrogen untuk kebutuhan nutrisi tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, D. R., Kismartini, K., & Sundarso, S. (2018). Evaluasi Program Pemanen Air Hujan (Rain Water Harvesting) Badan Lingkungan Hidup Kota Semarang. *Jurnal Manajemen Dan Kebijakan Publik*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.14710/gp.3.1.2018.1-13>
- Aini, U. N., Adityawan, M. B., Presetyo, A., Prabandini, F., Wisnu, R., Nugroho, & Madjodjo, E. F. A. (2024). Evaluasi Kesesuaian Data Satelit Global Precipitation Measurement (GPM) terhadap Stasiun Curah Hujan Disekitar Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) di Kabupaten Penajam Paser Utara. *Journal on Education*, 06(02), 13438–13448. <https://jonedu.org/index.php/joe/article/view/4997>
- Ali, I., Suhardjono, S., & Hendrawan, A. P. (2017). Pemanfaatan Sistem Pemanen Air Hujan (Rain Water Harvesting) di Perumahan Bone Biru Indah Permai Kota Watempone Dalam Rangka Penerapan Sistem Drainase Berkelanjutan. *Journal of Water Resources Engineering*, 8(1), 26–38. <https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/303/282>
- Amin, R., Rahayu, S., & Suraji, A. (2024). Studi Perbandingan Curah Hujan Aktual dan Data Satelit GPM di Bendungan Kuningan. *Prosidia Widya Saintek*, 3(2). https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=sLj-uJUAAAAJ&citation_for_view=sLj-uJUAAAAJ:2osOgNQ5qMEC
- Arsandi, A. S., R, D. W., Ismiyati, & Hermawan, F. (2017). Hubungan Pertumbuhan Penduduk dan Infrastruktur di Kota Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(4), 15–29. <https://www.neliti.com/id/publications/188593/>
- Aulia, D. C., Situmorang, H. K., Prasetya, A. F. H., Fadilla, A., Nisa, A. S., Khoirunnisa, A., Farhan, D., Nindya, D. N., Purwantari, H., Jasmi, I. O. D., Akbar, J. A., Ginting, N. M. C. B. R., Lubis, R. F., & G, Z. P. (2021). Peningkatan Pengetahuan dan Kesadaran Masyarakat tentang Pengelolaan Sampah dengan Pesan Jepang. *Jurnal Pengabdian Kesehatan Masyarakat (Pengmaskemas)*, 1(1). <https://journal.fkm.ui.ac.id/pengmas/article/view/5516>
- BPS Kota Medan. (2025). BPS KOTA MEDAN. <https://web-api.bps.go.id/download.php?f=zPyRph6ctZmmPU3afPzqBHEybVlxT0xnZmo4OUtXSDZTUDdISiY0MIZGb1Z3QIRIVTBKUHhrSHFocnFCc3RUbCtIT0NHTIZub>

[kRFaGRoQlhhUDgyaXViUWhJeHArVmx6NWsrT3h1Qk81OCt4OFg3NWNTQk16UmtYdkZXL3VrcVFXVTRkeFdLZWVOZIBTeFILMGIDVGNQcFpMM0JnOHL1K05LeXArMzlQNWl3M2pTZVVUNDZlcHgwa3hOb1dmNjdvcIMrK3RORmg0UkU4SkZqSEVPQXR3MWlkcW9WaFVpVG1IQ1M5K0FNZ2plQzRjZDZ0b2VzYzFLdGMzLzcxcTNOdzhmSkJiNHpNVXQ4eUc3eTUzRlNYMWcvRUVQYm81MHFRTnk0Ymh3PT0=](https://doi.org/10.33019/society.v1i1.40)

- Sri Harto. (1993). *Analisis Hidrologi*. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Braja M. Das. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar, Trans.; Vol. 1). Erlangga.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. In *McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering*. McGraw-Hill. <https://wecivilengineers.files.wordpress.com/2017/10/applied-hydrology-ven-te-chow.pdf>
- Fahmi, N., Tjahjono, B., & Rusdiana, O. (2023). Dampak Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Daya Dukung Air Studi Kasus Kota Bogor dan Kabupaten Bogor. *Jurnal Globe*, 25(2), 121–129. <https://www.big.go.id/uploads/content/produk/Globe/Vol25.2/3.3122.pdf>
- Hanova, Y., & Franchitika, R. (2021). Penataan Distribusi Air Permukaan untuk Efisiensi Penggunaan dan Pemanfaatan Air di Desa Hamparan Perak. *Jurnal Simetri Rekayasa*, 3(2), 229–233. <https://jurnal.harapan.ac.id/index.php/JSR/article/view/657>
- Harahap, F. R. (2013). Dampak Urbanisasi Bagi Perkembangan Kota di Indonesia. *Jurnal Society*, 1(1), 35–45. <https://doi.org/10.33019/society.v1i1.40>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1: JILID 1* (3rd ed.). Gadjah Mada University Press. <https://ugmpress.ugm.ac.id/id/product/teknik-sipil/mechanika-tanah-i-edisi-ke-tujuh>
- Hidayati, I. (2021). Urbanisasi dan Dampak Sosial di Kota Besar Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial*, 7(2), 212–221. <https://doi.org/10.23887/jiis.v7i2.40517>
- Iqbal, M., Kahar, K., & Kamaludin, A. (2024). Meningkatkan Pengetahuan dan Kesadaran Masyarakat Tentang Pentingnya Perilaku Hidup sehat dan pengelolaan sampah Di Kelurahan Sukarasa, Kota Bandung. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Kesehatan Indonesia*, 3(1), 320–327. <https://doi.org/10.34011/jpmki.v3i1.2095>
- Ismahyanti, F., Saleh, R., & Maulana, A. (2021). Perencanaan Pemanfaatan Sistem Pemanen Air Hujan (PAH) dalam Mendukung Penerapan Ecodrain di Kampus B Universitas Negeri Jakarta. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 18–25. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v16i1.19328>
- Khasanah, M., Rahmatillah, S. A., Haryono, B., Nurhaliza, A. P., Putri, C. A., & Fujilestari, N. A. (2022). Alih Fungsi Lahan Resapan Air Menjadi Pemukiman di Kawasan Bandung Utara (Studi Kasus Kelurahan Cipageran dan Kelurahan Citeureup. *Caraka Prabhu: Jurnal Ilmu Pemerintahan*, 6(2), 164–175. <https://doi.org/10.36859/jcp.v6i2.1158>
- Kurniawan, I., & Jendra, M. D. (2022). Evaluasi Data GPM-IMERG (Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-Satellite Retrieval For GPM) di

- Provinsi NTB. *Megasains*, 13(01), 6–13.
<https://doi.org/10.46824/megasains.v13i01.62>
- Maknun, D. A., & Suripin. (2024). Penentuan Debit Aliran Berbasis Data Satelit GPM pada Daerah Tangkapan Air (Studi Kasus: Waduk Sepaku Semoi). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(2), 205–212.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v29i2.59015>
- Malik, Y. S., Suprayogi, I., & Asmura, J. (2016). Kajian Pemanen Air Hujan Sebagai Alternatif Pemenuhan Air Baku di Kecamatan Bengkalis. *Media Neliti*, 3(2).
<https://media.neliti.com/media/publications/205590-kajian-pemanenan-air-hujan-sebagai-alter.pdf>
- Marta, S. D., Suhartanto, E., & Fidari, J. S. (2022). Validasi Data Curah Hujan Satelit dengan Data Hujan di DAS Ngasinan Hulu, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1).
https://www.researchgate.net/publication/367614579_Validasi_Data_Curah_Hujan_Satelit_dengan_Data_Stasiun_Hujan_di_DAS_Ngasinan_Hulu_Kabupaten_Trenggalek_Jawa_Timur
- Pamungkas, T. H., Kariyana, I. M., & Putra, I. G. A. (2023). Potensi Pemanenan Air Hujan Dalam Memenuhi Kebutuhan Air di Desa Seraya. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 19(1), 42–43. <https://doi.org/10.25077/jrs.19.1.42-43.2023>
- PERKEP BMKG, Pub. L. Peraturan Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika Tentang Tata Cara Tetap Pelaksanaan Pengamatan dan Pelaporan Data Iklim dan Agroklimat SK.32/TL.202/KB/BMG-2006 (2006). www.bmg.go.id
- PERPRES No 62 Tahun 2011, Pub. L. Peraturan Presiden Republik Indonesia No 62 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Perkotaan Medan, Binjai, Deli Serdang, dan Karo, Pemerintah Indonesia (2011).
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/41180/perpres-no-62-tahun-2011>
- Pratiwi, D. W., Sujono, J., & Rahardjo, A. P. (2017). Evaluasi Data Hujan Satelit untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Cross Correlation. *Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29067.23845>
- Rahmanto, Y., Rifaini, A., Samsugi, S., & Riskiono, S. D. (2020). SISTEM MONITORING pH AIR PADA AQUAPONIK MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 1(1), 23.
<https://doi.org/10.33365/jtst.v1i1.711>
- Rosadi, M. I., Hariyani, S., & Dwi Ari, I. R. (2023). Pemanenan Air Hujan Sebagai Alternatif Pemenuhan Akses Air Baku Air Bersih di Kabupaten Trenggalek. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3). <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6495>
- Rosnawati, W. O., Bahtiar, B., & Ahmad, H. (2018). Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Masyarakat Pemukiman Atas Laut Di Kecamatan Kota Ternate. *Jurnal Techno (Jurnal Ilmu Eksakta)*, 6(02), 48.
<https://doi.org/10.33387/tk.v6i02.569>
- Sasongko, I. (2023). *Pembangunan Berkelanjutan Penyediaan Infrastruktur pada Kawasan Pemukiman Secara Berkelanjutan*. MK Press.

- SNI 8153, Pub. L. SNI 8153:2015 Tentang Sistem Plumbing pada Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional (2015). www.bsn.go.id
- SNI 2415:2016, Pub. L. SNI 2415:2016 Tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana (2016). www.bsn.go.id
- Ujjania, V. K., Sharma, B. K., & Ujjania, N. C. (2023). Growth Of Vegetable Plan Tomato Solanum Lycopersicum) Cultivated With Rohu and Tilapia Fishes in Floating Raft Aquaponics System. *Journal of Experimental Zoology India*, 26(2). <https://doi.org/10.51470/jez.2023.26.2.1871>
- Wahyuni, S., Hambali, R., & Fahriani, F. (2020). *Evaluasi Ketelitian DataCurah Hujan Satelit GPM Terhadap Data Curah Hujan Permukaan*. [https://www.researchgate.net/publication/349785908_EVALUASI_KETELITI
AN_DATA_CURAH_HUJAN_SATELIT_GPM_TERHADAP_DATA_CURAH_HUJAN
PERMUKAAN](https://www.researchgate.net/publication/349785908_EVALUASI_KETELITI_AN_DATA_CURAH_HUJAN_SATELIT_GPM_TERHADAP_DATA_CURAH_HUJAN_PERMUKAAN)
- Yudha Hanova. (2018). Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) HATHI ke-35. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu Menghadapi Tantangan Perubahan Iklim Ekstrem Dan Percepatan Pembangunan Infrastruktur Di Era Digita*, Jilid 1, 188–195. <http://www.hathi-pusat.org>
- Zurhaini, Z., Jannah, W., & Hadi, T. (2020). Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga Menjadi Pupuk Organik Cair. *Indonesian Journal of Engineering (IJE)*, 1(1), 46–59. <https://unu-ntb.e-journal.id/ije/article/view/24>