

Mitigasi Bencana Banjir Genangan pada Blok Drainase Lhok Banie Kota Langsa Melalui Pemodelan Profil Muka Air dan Kolam Retensi

Inundation Flood Disaster Mitigation in Lhok Banie Drainage Block in Langsa City Through Modeling of Water Level Profile and Retention Ponds

Nina Shaskia^{1*} Azmeri¹ Ziana¹ Meyrizka Salsabila¹

¹⁾ Universitas Syiah Kuala, Engineering Faculty, Civil Engineering Department
Jl. Tgk. Syech Abdur-Rauf No. 7, Darussalam, 23111, Banda Aceh, Indonesia

*Corresponding author: ninashaskia@usk.ac.id

Diterima: 21 Januari 2025; Direvisi: 04 Maret 2025; Disetujui: 28 Juni 2026

Abstract

The Syiah Kuala primary drainage channel in the Lhok Banie drainage block is located in Langsa Barat sub-district, Langsa City. This channel often experiences flooding due to the inability of the existing drainage channel to convey and accommodate stormwater discharge. One of the efforts to mitigate flood inundation is by conducting flood inundation modeling. This research aims to evaluate drainage channel capacity through water level profile modeling as well as to analyze the use of retention ponds as a flood inundation control measure. Calculation of flood discharge is carried out using a modified rational method for subsequent use in modeling. Water level profile modeling using the HEC-RAS application was performed on a 2,419 m long primary drainage channel and the retention pond analysis was conducted by considering the inflow and outflow discharge in the retention pond. The results of water level profile modeling with HEC-RAS show that the flood discharge elevation is above the elevation of the drainage channel cross-section. This means that the drainage channel capacity will no longer be able to accommodate the flood discharge for a 5-year return period. The channel experiences overtopping throughout its cross-section with maximum overtopping height of 1.23 m located in the channel downstream. The results of calculations for the retention pond using a pump with a capacity of 0.2 m³/s generate a retention pond volume of 32,678.92 m³. This retention pond was planned as flood storage area to temporarily store flood discharge in the Lhok Banie drainage block which has the potential to inundate the city, so that flood risk can be controlled.

Keywords: Lhok Banie drainage, inundation flood, water surface profile, retention ponds, HEC-RAS

Abstrak

Saluran primer Syiah Kuala di blok drainase Lhok Banie terletak di Kecamatan Langsa Barat Kota Langsa. Saluran ini kerap mengalami banjir genangan akibat saluran drainase eksisting yang tidak mampu mengalirkan dan menampung debit limpasan hujan. Salah satu upaya mitigasi banjir genangan adalah dengan melakukan pemodelan genangan banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas saluran drainase melalui pemodelan profil muka air serta menganalisis penggunaan kolam retensi sebagai solusi pengendalian banjir genangan. Perhitungan debit banjir dilakukan dengan menggunakan metode rasional modifikasi untuk selanjutnya digunakan dalam pemodelan. Pemodelan profil muka air saluran dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS dilakukan pada saluran primer sepanjang 2.419 m dan analisis kolam retensi dilakukan dengan memperhitungkan debit masuk dan debit keluar pada kolam retensi. Hasil pemodelan profil muka air dengan HEC-RAS menunjukkan bahwa elevasi banjir berada di atas elevasi penampang saluran drainase. Artinya, kapasitas saluran drainase sudah tidak dapat menampung debit banjir periode ulang 5 tahun. Saluran mengalami overtopping pada seluruh penampang dengan ketinggian overtopping maksimum sebesar 1,23 m yang berada pada bagian hilir saluran. Hasil perhitungan kolam retensi dengan menggunakan pompa berkapasitas 0,2 m³/s menghasilkan volume kolam retensi sebesar 32.678,92 m³. Kolam retensi ini direncanakan sebagai daerah penampungan banjir untuk menampung sementara debit aliran berlebih pada blok drainase Lhok Banie yang berpotensi menggenangi kota, sehingga risiko banjir genangan dapat dikendalikan.

Kata Kunci: drainase Lhok Banie, banjir genangan, profil muka air, kolam retensi, HEC-RAS

PENDAHULUAN

Pengembangan kota yang bergerak cepat berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan (Solekhan & Widodo, 2023; Yang et al., 2014). Urbanisasi dan pengembangan kota yang diiringi dengan alih fungsi lahan dapat meningkatkan luas wilayah kedap air dan memperluas jaringan drainase buatan yang berakibat pada perubahan besaran limpasan (Dams et al., 2013; Marsalek et al., 2014). Meningkatnya wilayah kedap air ini akan menyebabkan penurunan infiltrasi, peningkatan puncak debit dan volume limpasan, serta penurunan waktu konsentrasi aliran selama peristiwa hujan (Chen et al., 2017; Hamel et al., 2015; Locatelli et al., 2017; Rosburg et al., 2017; Walsh et al., 2012; Wang et al., 2017). Hal ini dapat menyebabkan terjadinya banjir pada musim penghujan, terutama jika alih fungsi lahan dilakukan pada daerah rawan banjir (Ramadhan & Susetyo, 2021).

Banjir adalah salah satu bencana alam paling merusak yang umum terjadi di dunia (Hamidi et al., 2023). Banjir dapat menghambat pembangunan berkelanjutan, di mana efeknya lebih dirasakan manusia dibandingkan efek bencana lainnya. Proses terjadinya banjir dan dampaknya terus berubah sebagai akibat dari pesatnya urbanisasi, kesiapan infrastruktur mitigasi banjir, serta peningkatan jumlah permukiman pada dataran banjir (Tellman et al., 2021).

Kota Langsa adalah salah satu kota di Aceh yang sering berhadapan dengan permasalahan banjir genangan (Afrian & Islami, 2018). Kejadian banjir genangan di Kota Langsa disebabkan oleh saluran drainase yang kurang memadai. Intensitas hujan yang sangat tinggi sering terjadi di Kota Langsa mengakibatkan aliran dari hujan setempat tidak dapat segera tersalurkan menuju alur-alur sungai (Dinas Pengairan Aceh, 2022).

Juwita (2022) menyatakan bahwa telah terjadi banjir akibat hujan deras yang mengakibatkan banjir genangan yang melanda 3 kecamatan di Kota Langsa dengan ketinggian 80 cm sampai dengan 120 cm. Berdasarkan data *Outline Plan* dan DED drainase kota Langsa (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2014), terdapat 9 blok drainase di kota Langsa yang terdampak banjir. Blok tersebut terdiri dari blok Pauh Tanjong, blok T.M Bahrom, blok Pauh Pusaka, blok Kertak Aron, blok Pendidikan-Kertak Siren, blok Lhok Banie, blok Sungai Lhueng, blok Karang Anyer, dan blok Sudirman. Salah satu blok drainase yang memiliki luasan genangan yang cukup luas adalah blok drainase Lhok Banie dengan luasan genangan mencapai 19 ha. Ketinggian genangan yang terjadi adalah 30 cm hingga 50 cm.

Banjir yang terjadi diakibatkan oleh limpasan air dari saluran Syiah Kuala. Saluran Syiah Kuala tidak mampu menampung debit air ketika terjadinya curah hujan yang tinggi.

Risiko banjir terus meningkat seiring dengan pesatnya urbanisasi dan pengaruh perubahan iklim, sehingga perlu didukung oleh peningkatan kapasitas drainase (Xu et al., 2020). Kerusakan dan kerugian akibat banjir dapat dikurangi dengan mempersiapkan drainase yang baik (Prawati & Al Fajri, 2021) dan memilih metode yang dapat diterapkan di lapangan (Fitriana et al., 2021). *Outline Plan* dan DED drainase kota Langsa (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2014) merekomendasikan pembangunan kolam retensi sebagai solusi penanganan masalah banjir genangan. Terkait dengan permasalahan tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi kapasitas saluran drainase melalui pemodelan profil muka air serta menganalisis penggunaan kolam retensi sebagai solusi pengendalian banjir genangan.

Kolam retensi adalah bangunan air yang berfungsi untuk menampung air hujan dan limpasan serta berfungsi sebagai pengendali banjir (Handayani et al., 2024). Beberapa penelitian telah dilakukan terkait keefektifan kolam retensi sebagai bangunan pengendali banjir. Al Amin (2016) menyatakan pengendalian banjir dengan kolam retensi menggunakan pompa berkapasitas total 4 m³/s mampu mereduksi luasan genangan sebesar 58,79%. Studi kasus penggunaan kolam retensi di Kabupaten Magetan mampu mengurangi luas genangan banjir sebesar 22% menjadi 2,94 km² (Handayani et al., 2024). Penggunaan kolam retensi terbukti dapat menurunkan debit puncak banjir (Alia et al., 2023; Chalid & Prasetya, 2020).

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan langsung dari survei yang dilakukan pada blok drainase Lhok Banie yang terletak di Kecamatan Langsa Barat, Kota Langsa, Aceh. Survei pengukuran dimensi dan kondisi saluran dilakukan pada tanggal 6 Juli 2023 hingga tanggal 15 Juli 2023 pada saluran primer Syiah Kuala dengan panjang 2.419 m. Selain itu, dilakukan juga pengukuran hidrometri pada saluran drainase untuk memperoleh kecepatan aliran.

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

1. Data hujan dari stasiun ARR Langsa untuk curah hujan dengan periode 13 tahun pada tahun 2009-2021.

2. Peta kawasan banjir, peta jaringan drainase, dan peta daerah tangkapan air dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, tahun 2022
3. Data tutupan lahan dari Dinas Pengairan Aceh tahun 2022
4. Data desa terdampak banjir dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, tahun 2022

Analisis Analisis Hidrodinamika

Analisis Hidrodinamika dilakukan dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS. Aplikasi HEC-RAS merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh U.S. Army Corps of Engineers (USACE) yang dirancang untuk melakukan simulasi aliran atau dimensi yang memberikan kemudahan dengan tampilan grafisnya. Perhitungan hidraulinamika dilakukan hanya dengan menggunakan analisis aliran permanen. Aliran permanen adalah suatu aliran pada suatu titik dalam penampang di mana jumlah cairan yang mengalir tidak berubah dengan waktu atau konstan (Istiarto, 2014).

Pada aliran permanen, HEC-RAS memperhitungkan profil muka air di sepanjang alur urut dari satu tampang lintang ke tampang berikutnya. Perhitungan muka air dilakukan dengan persamaan energi dengan metode *standard step method*. Persamaan Bernoulli yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_1 + Z_2 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f + \sum h_e \quad \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

Y_1, Y_2 : kedalaman aliran (m);
 V_1, V_2 : kecepatan rata-rata (m/s);
 Z_1, Z_2 : elevasi dasar saluran (m);
 g : percepatan gravitasi (m/s²); dan
 $\sum h_f$: total kehilangan energi (m).

Debit banjir yang digunakan untuk simulasi HEC-RAS dilakukan dengan menggunakan Rumus Rasional Modifikasi yang dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut.

$$Q=0,278. C. Cs. I. A \quad \dots\dots\dots(2)$$

di mana:

Q : debit rencana (m³/s);
 C : koefisien aliran permukaan;
 Cs : koefisien tampungan;
 I : intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam); dan
 A : luas daerah aliran (km²).

Perhitungan kapasitas angkut dilakukan dengan menggunakan persamaan Manning sebagai berikut (Triatmodjo, 2009).

$$Q = A. V \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

di mana:

Q : debit aliran (m³/s);
 A : luas penampang basah (m²);
 V : kecepatan rata-rata (m/s);
 R : radius hidraulik tiap bagian tampang (m);
 S_f : kemiringan garis energi akibat gesekan antara kedua tampang; dan
 n : koefisien kekasaran Manning tiap segmen tampang.

Kolam Retensi (*Retention Basin*)

Strategi Perencanaan Perkotaan Ramah Air (*Water-Sensitive Urban Design, WSUD*) mulai banyak digunakan sebagai solusi penanganan banjir. Strategi ini dapat mengendalikan perubahan iklim yang memberikan dampak secara signifikan pada kota melalui kejadian bencana alam, seperti banjir, topan, badai, gelombang panas, atau melalui kerusakan bertahap, seperti akibat perubahan cuaca, perubahan iklim mikro, peningkatan suhu, kenaikan muka air laut, dan sebagainya. WSUD dapat diterapkan melalui penggunaan kolam retensi (Keyvanfar et al., 2021).

Manajemen pengelolaan air hujan dengan WSUD dilakukan melalui pengolahan, pengumpulan, dan penyimpanan air hujan pada lahan basah, perkerasan berpori, tangki air hujan, dan sistem bio-retensi (Fletcher et al., 2008). Pengendalian air hujan dapat dilakukan dalam berbagai bentuk, seperti kolam, sungai, danau, air terjun, dan mata air. Perencanaan kolam retensi adalah salah satu solusi WSUD yang dipercaya dapat mengatasi masalah banjir, menghadapi musim hujan, dan menciptakan urbanisme berbasis air yang layak huni (Siddiqua, 2020).

Kolam retensi juga dikenal sebagai kolam detensi basah dalam sistem drainase yang dirancang untuk membatasi aliran air selama hujan lebat dan menangkap partikel padat terkontaminasi yang berasal dari limpasan di sepanjang jalan raya, jalan tol, dan wilayah perkotaan (Rae et al., 2019; Lee et al., 1997). Selain itu, kolam retensi dapat berfungsi sebagai tempat pengendapan sedimen dan mengurangi konsentrasi polutan (Miguez et al., 2015). Kolam retensi mengendalikan banjir dan kualitas air melalui proses alami dengan memanfaatkan air hujan untuk menghilangkan seluruh massa polutan yang terbawa oleh hujan lebat (Che et al., 2014; Maniquiz-Redillas et al., 2014).

Pada kolam retensi, air ditahan sementara sehingga debit puncak banjir dapat direduksi. Keefektifan pengurangan banjir bergantung dari karakteristik hidrograf banjir, volume kolam, dan dinamika beberapa *outlet*. Pembangunan kolam retensi biasanya dilakukan pada daerah dataran rendah atau rawa. Dengan perencanaan dan manajemen yang tepat, penanggulangan banjir dengan kolam retensi juga memberi dampak positif pada pertanian (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017).

Kapasitas kolam retensi yang dapat menampung volume air pada saat puncak debit banjir dapat dihitung dengan persamaan 5 (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016). Pada penelitian ini tidak dilakukan *flood routing* maupun simulasi hidrograf *outflow* secara dinamis, estimasi kebutuhan volume kolam retensi ditetapkan dengan menggunakan asumsi kapasitas pompa konstan (tetap).

$$V = \int_{t_0}^t (Q_{in} - Q_{out}) dt \quad \dots\dots\dots(5)$$

di mana:

V : volume kolam (m^3);
 t : waktu awal air muka ke dalam inlet (jam);
 t_0 : waktu air keluar dari outlet (jam);
 Q_{in} : debit *inflow* (m^3/jam); dan
 Q_{out} : debit *outflow* (m^3/jam).

Pompa

Penggunaan pompa dilakukan untuk mencegah banjir akibat adanya arus balik yang menyebabkan air yang seharusnya mengalir ke hilir berbalik dan menggenangi pemukiman warga, sehingga perlu dilakukan analisis untuk menentukan kapasitas pompa yang digunakan agar dapat mereduksi debit banjir yang terjadi (Zulbihar & Sedyowati, 2022). Pompa digunakan untuk mengeluarkan air yang sudah terkumpul dalam kolam retensi keluar dari cakupan area. Pompa dengan kapasitas $0,2 m^3/s$ digunakan sebagai parameter desain outlet dalam perhitungan kebutuhan volume kolam retensi. Penelitian ini difokuskan pada estimasi kebutuhan volume tampungan berdasarkan keseimbangan antara volume aliran masuk dan volume yang dapat dipompa keluar, sehingga kapasitas pompa digunakan sebagai asumsi desain dan tidak ditentukan melalui proses optimasi maupun simulasi operasi pompa.

Pompa bekerja dengan mengisap air dengan menggunakan sumber tenaga listrik maupun tenaga diesel/solar. Air yang dihisap akan dibuang langsung ke laut atau sungai/kanal banjir yang bermuara di laut. Jumlah dan kapasitas pompa yang disediakan pada kolam retensi harus disesuaikan dengan volume layanan air yang harus dikeluarkan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan

Rakyat, 2016). Kapasitas pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut (Imamuddin & Supriyanto, 2019):

$$\text{Kap. pompa} = V_{\text{air dipompa}} / T \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$V_{\text{air dipompa}} = V_{\text{air permukaan}} - V_{\text{saluran}} -$$

$$V_{\text{kolam tampungan}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$V_{\text{air permukaan}} = (C \cdot R \cdot A \cdot T) / 3,6 \quad \dots\dots\dots(8)$$

di mana:

C : koefisien *run off*;
 R : curah hujan maksimal (mm);
 A : luas area (m^2); dan
 T : waktu kuras (jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil survei blok drainase Lhok Banie Kecamatan Langsa Barat Kota Langsa menghasilkan peta jaringan drainase dan peta daerah tangkapan air.

Peta Jaringan Drainase Blok Lhok Banie

Blok drainase Lhok Banie memiliki 12 saluran sekunder yang menuju ke saluran primer Syiah Kuala dan 7 saluran sekunder yang menuju ke saluran A. Majid yang akhirnya bermuara pada saluran primer Syiah Kuala. Saluran primer Syiah Kuala memiliki panjang 2.419 m, sedangkan saluran sekunder memiliki panjang 3.155 m. Luas total blok drainase Lhok Banie ini sebesar 1,32 km^2 . Dari survei dihasilkan peta jaringan drainase pada blok Lhok Banie.



Gambar 1 Peta Jaringan Drainase Blok Lhok Banie

Peta jaringan drainase ini merupakan hasil pembaruan dari peta yang diperoleh pada dokumen *Outline Plan* dan DED drainase Kota Langsa. Pembaruan yang dilakukan meliputi penegasan jaringan drainase saluran primer dan sekunder sehingga terlihat lebih jelas, serta penambahan informasi arah aliran air pada setiap saluran primer dan sekunder. Peta jaringan drainase hasil survei dapat dilihat pada Gambar 1.

Daerah Tangkapan Air (DTA)

Berdasarkan hasil survei lapangan yang telah dilakukan, diperoleh peta daerah tangkapan air dengan luas total sebesar 1,32 km². Peta ini merupakan pembaruan (*updating*) dari peta yang telah diperoleh dari *Outline Plan* dan DED drainase Kota Langsa. Proses pembaruan dilakukan untuk menyesuaikan kondisi aktual di lapangan dengan data perencanaan yang telah ada sebelumnya. Hasil pengamatan langsung terhadap kondisi topografi, arah aliran air, serta batas-batas wilayah yang berpengaruh terhadap sistem drainase memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai kondisi daerah tangkapan air sehingga data yang diperoleh menjadi lebih representatif terhadap kondisi eksisting kawasan penelitian. Dari hasil pembaruan tersebut, ditemukan beberapa perbedaan dibandingkan dengan peta pada *Outline Plan* dan DED drainase Kota Langsa, terutama terkait batas dan luas daerah tangkapan air (DTA).

Peta DTA yang dihasilkan memiliki luas lebih kecil dari peta pada *Outline Plan* dan DED drainase kota Langsa. Penentuan batas untuk DTA dilakukan berdasarkan hasil pengukuran topografi. Perbedaan elevasi atau tinggi rendahnya permukaan tanah sangat memengaruhi arah dan pola aliran air pada sistem drainase. Kondisi topografi tersebut menyebabkan adanya perubahan arah aliran air pada beberapa bagian saluran drainase. Berdasarkan pengukuran topografi, arah aliran air pada drainase Blok Lhok Banie dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Peta *updating* DTA hasil survei diberikan pada Gambar 2.

Saluran drainase Lhok Banie dibagi menjadi beberapa *catchment area* berdasarkan arah aliran air yang masuk ke saluran. Debit rencana yang masuk ke masing-masing saluran dihitung secara proporsional dari luas *catchment area*. Dari luas *catchment area* didapatkan luas total daerah tangkapan air untuk blok Lhok Banie sebesar 1,32 km².

Berdasarkan peta tata guna lahan, diperoleh nilai koefisien limpasan yang diolah menggunakan *software ArcGIS*. Karakteristik penggunaan lahan pada Blok Lhok Banie didominasi oleh permukiman dan persawahan. Karena DTA memiliki beberapa

jenis penggunaan lahan, nilai koefisien aliran permukaan dihitung sebagai koefisien runoff komposit.



Gambar 2 Peta Daerah Tangkapan Air Blok Lhok Banie

Analisis Hidrologi

Penelitian ini menggunakan debit banjir rencana periode ulang 5 tahun (Tabel 1) yang dihitung dengan metode rasional modifikasi. Perhitungan debit banjir rencana dilakukan pada setiap DTA, sehingga masing-masing DTA memiliki debit banjir rencana yang berbeda.

Tabel 1 Debit Banjir Rencana

Sta.	Inlet	Q (m ³ /s)
A	1	0,18
B	2	0,21
C	3	0,29
D	4	0,37
E	5	0,51
F	6	0,52
G	7	0,68
H	8	0,78
Outlet		1,18

Besar kecilnya debit limpasan bergantung pada nilai parameter debit pada masing-masing DTA (Stevania et al., 2021) yang tergantung pada parameter koefisien limpasan, koefisien tampungan, intensitas hujan, serta luas DTA. Debit banjir rencana yang masuk ke dalam *inlet* saluran dihitung berdasarkan nilai waktu konsentrasi (t_c) yang terbesar dengan menggunakan koefisien aliran gabungan dan koefisien tampungan gabungan. Besarnya debit pada setiap *inlet* mencerminkan akumulasi limpasan dari daerah tangkapan yang terhubung ke sistem drainase.

Kalibrasi Model HEC-RAS

Pemodelan aliran dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS bertujuan untuk memprediksi secara aktual debit banjir yang terjadi. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai debit yang mendekati nilai di lapangan, dilakukan prosedur kalibrasi. Kalibrasi yang dilakukan merupakan kalibrasi data pengukuran geometri saluran yang diperoleh di lapangan, berupa kalibrasi koefisien Manning. Kalibrasi model HEC-RAS menggunakan kecepatan aliran air yang terukur pada saluran primer dan saluran sekunder yang diperoleh dari pengukuran langsung di lokasi penelitian (Gambar 1). Kecepatan aliran terukur diberikan pada Tabel 2.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini lebih menekankan pada *field-based parameter estimation*, yaitu estimasi parameter berdasarkan data pengukuran langsung di lapangan. Nilai koefisien Manning pada penelitian ini ditentukan berdasarkan data hasil pengukuran lapangan, yaitu

menggunakan data kecepatan aliran terukur dan parameter geometri saluran hasil survei yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai koefisien Manning.

Tabel 2 Kecepatan Saluran Drainase Primer dan Sekunder

Saluran	Nama STA	Jarak (S) (m)	Waktu (t) (s)	Kecepatan (V) = $\frac{S}{t}$ (m/s)
Saluran Primer	Sy.15 – Sy.16	10	53,06	0,19
Saluran Sekunder	Ba.Ki.1 – Ba.Ki.2	10	57,00	0,18

Pendekatan tersebut menghasilkan nilai kekasaran saluran yang diperoleh langsung dari kondisi eksisting di lapangan sehingga parameter yang digunakan dalam simulasi HEC-RAS telah merepresentasikan kondisi aktual saluran drainase. Nilai koefisien Manning hasil perhitungan kemudian digunakan sebagai parameter input pada simulasi HEC-RAS. Dengan demikian, proses penentuan parameter saluran dalam penelitian ini telah mempertimbangkan kondisi hidraulik aktual sehingga dapat menggambarkan karakteristik aliran pada saluran drainase secara lebih realistis. Untuk nilai koefisien Manning hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Nilai Koefisien Manning

Saluran	Nama STA	Lebar Atas (m)	Lebar Bawah (m)	Slope	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Manning (n) = $\frac{1}{V} \times R^{0,6667} \times S^{1/2}$
Saluran Primer	Sy.15 – Sy.16	1,40	1,10	0,0027	1,112	3,030	0,367	0,19	0,15
Saluran Sekunder	Ba.Ki.1 – Ba.Ki.2	0,46	0,46	0,0008	0,253	1,560	0,162	0,18	0,05

Berdasarkan Tabel 3, nilai koefisien Manning pada saluran primer diperoleh sebesar 0,15, sedangkan untuk nilai koefisien Manning saluran sekunder sebesar 0,05. Nilai koefisien Manning pada penelitian ini diperoleh berdasarkan kondisi eksisting saluran di lapangan. Berdasarkan hasil survei, sebagian besar saluran memiliki kondisi yang kurang terpelihara. Beberapa saluran drainase pada lokasi penelitian memiliki kondisi permukaan yang kurang baik, seperti adanya sedimentasi, tumbuhan liar, sampah, permukaan saluran yang

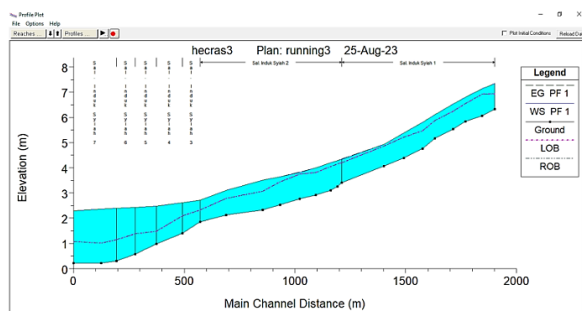
tidak seragam, serta banyak ditemukan keretakan pada dinding dan dasar saluran. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat kekasaran saluran menjadi lebih besar.

Meskipun kecepatan tiap saluran umumnya bervariasi, pada penelitian ini kalibrasi hanya dilakukan pada 2 titik, pertama pada saluran primer, kedua pada saluran sekunder. Nilai koefisien Manning yang telah didapatkan ini dianggap mampu mewakili nilai Manning pada keseluruhan saluran primer dan sekunder.

Evaluasi Kapasitas Debit Saluran Drainase

Kondisi batas hilir pada simulasi HEC-RAS dimodelkan menggunakan elevasi muka air pada saluran penerima sebagai kondisi batas aliran permanen. Kondisi batas hilir tersebut digunakan untuk merepresentasikan pengaruh muka air di bagian hilir terhadap aliran pada saluran drainase. termasuk kemungkinan terjadinya efek arus balik (*backwater*). Pendekatan ini dipilih untuk mengakomodasi kemungkinan terjadinya efek aliran balik (*backwater effect*) akibat pengaruh muka air di bagian hilir.

Penetapan kondisi batas hilir didasarkan pada karakteristik hidraulik sistem drainase di wilayah penelitian, di mana saluran primer Syiah Kuala mengalir menuju saluran penerima dengan kondisi topografi relatif datar dan kemiringan dasar saluran yang kecil. Pada kondisi tersebut, perubahan elevasi muka air di hilir dapat memengaruhi profil muka air di bagian hulu. Dampak dari kondisi ini adalah meningkatnya muka air pada beberapa penampang saluran sehingga kapasitas tampung saluran berkurang dan potensi limpasan (*overtopping*) meningkat.



Gambar 3 Profil Memanjang Muka Air Aliran Periode Ulang 5 Tahun

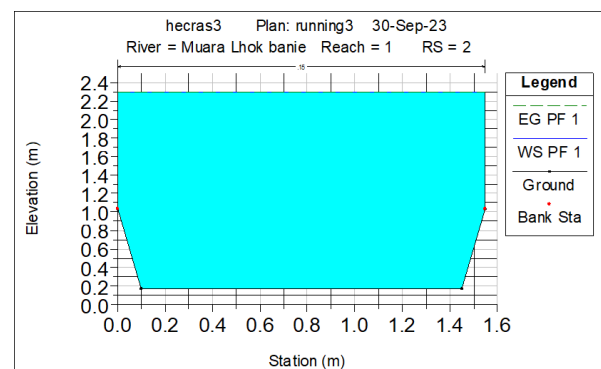
Tabel 4 Tinggi Overtopping Sepanjang Saluran

Sta.	Tinggi Saluran (m)	Tinggi Permukaan Air (m)	Tinggi Overtopping Saluran (m)
A (0 m – 691 m)	6,94	7,34	0,40
B (691 m – 808)	4,20	4,34	0,14
C (691 m – 1401 m)	2,33	2,72	0,39
D (1401 m – 1611 m)	2,09	2,61	0,52
E (1611 m – 1768 m)	1,48	2,48	1,00
F (1768 m – 1900 m)	1,38	2,42	1,04
G (1900 m – 2055 m)	1,14	2,36	1,22
H (2055 m – 2419 m)	1,08	2,30	1,23

Dalam pemodelan menggunakan HEC-RAS, kondisi batas hilir dimasukkan sebagai *stage hydrograph* berupa elevasi muka air tetap (*constant stage*) yang disesuaikan dengan kondisi eksisting saluran penerima. Pemilihan pendekatan tersebut didasarkan pada dua pertimbangan utama, yaitu: (1) kondisi hidraulik pada bagian hilir dipengaruhi secara langsung oleh elevasi muka air saluran penerima, dan (2) kemiringan dasar saluran yang relatif kecil menyebabkan pengaruh *backwater* dapat menjalar ke arah hulu secara signifikan.

Pemodelan HEC-RAS dilakukan dengan *steady flow analysis* menghasilkan profil memanjang saluran primer Syiah Kuala seperti terlihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat adanya *overtopping* hampir di sepanjang saluran. Hasil *running* ini menunjukkan bahwa saluran primer Syiah Kuala tidak mampu lagi menampung debit banjir. Tinggi *overtopping* pada setiap sta. saluran dapat dilihat pada Tabel 4.

Besarnya selisih antara tinggi permukaan air dan tinggi saluran menunjukkan bahwa limpasan yang keluar dari saluran juga semakin besar, sehingga potensi genangan yang terjadi di wilayah sekitar saluran juga meningkat. Hasil *running* ini sesuai dengan data *Outline Plan* dan DED drainase kota Langsa (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2014), tentang blok drainase yang terdampak banjir akibat melimpahnya air dari saluran primer sehingga terjadi genangan di wilayah sekitar saluran tersebut. Dari Tabel 4, terlihat bahwa *overtopping* tertinggi terdapat pada Sta. H (2055 m – 2419 m) yang terletak pada hilir saluran dengan tinggi *overtopping* sebesar 1,23 m. Profil melintang Sta. H diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Profil Melintang Saluran Drainase Sta. H (2055 m - 2419 m)

Gambar 5 menunjukkan kondisi penampang saluran bagian hilir Sta. H (2055 m - 2419 m). Hasil simulasi memperlihatkan bahwa elevasi muka air pada bagian hilir saluran, khususnya di area muara, lebih tinggi dibandingkan elevasi muka air di sepanjang saluran drainase. Kondisi tersebut

mengindikasikan adanya pengaruh hidraulik dari saluran penerima terhadap sistem drainase utama, sehingga aliran pada bagian hilir tidak dapat mengalir secara bebas menuju muara. Kenaikan muka air pada bagian hilir dipengaruhi oleh akumulasi debit aliran yang berasal dari saluran tersier, sekunder, dan primer di bagian hulu. Akumulasi debit tersebut menyebabkan kapasitas aliran pada bagian hilir menjadi terbebani sehingga elevasi muka air meningkat secara signifikan. Pada kondisi tertentu, peningkatan muka air di muara dapat menimbulkan efek aliran balik (*backwater effect*), yaitu kondisi ketika muka air di bagian hilir memberikan pengaruh terhadap profil muka air di bagian hulu. Akibatnya, kecepatan aliran menurun dan muka air pada saluran mengalami kenaikan secara bertahap ke arah hulu.



Gambar 5 Kondisi Penampang Saluran Bagian Hilir Sta. H (2055 m - 2419 m)

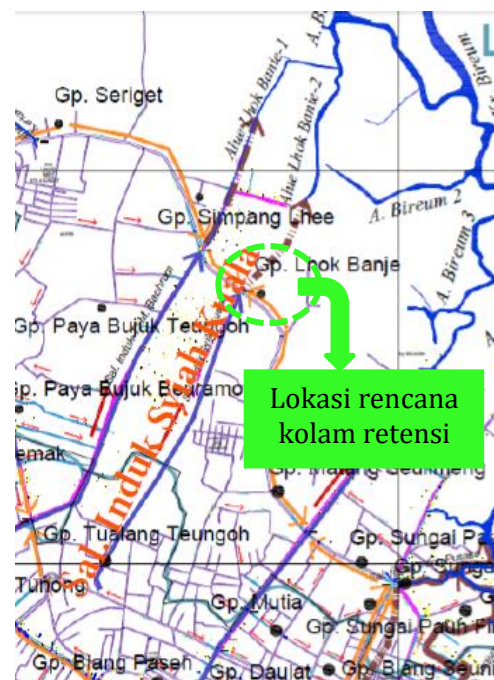
Fenomena *backwater* umumnya terjadi pada lokasi pertemuan saluran, baik pada saluran dengan dimensi kecil maupun besar. Pengaruh tersebut muncul ketika elevasi muka air pada saluran penerima atau muara lebih tinggi dibandingkan elevasi muka air pada saluran utama (Fauziyah et al., 2022). Perbedaan elevasi muka air ini menyebabkan aliran mengalami hambatan sehingga energi aliran berkurang dan profil muka air meningkat pada penampang di bagian hulu.

Pengendalian Banjir Genangan

Fenomena *backwater effect* pada bagian hilir saluran, yang ditandai dengan elevasi muka air di area muara lebih tinggi dibandingkan muka air di sepanjang saluran drainase, menyebabkan aliran pada bagian hilir tidak dapat mengalir secara bebas menuju saluran penerima sehingga memengaruhi profil muka air hingga ke arah hulu. Pengaruh *backwater effect* semakin meningkat akibat akumulasi debit aliran yang berasal dari saluran tersier, sekunder, dan primer di bagian hulu. Pada kondisi debit tinggi, kapasitas pengaliran saluran menjadi berkurang karena muka air hilir yang tinggi menahan aliran dari arah hulu. Akibatnya, terjadi kenaikan muka air secara bertahap pada beberapa

penampang saluran yang berpotensi menimbulkan limpasan (*overtopping*) dan genangan pada kawasan drainase penelitian. Berdasarkan kondisi tersebut, analisis hidrologi dan hidraulika dalam penelitian ini dilakukan menggunakan debit banjir rencana periode ulang 5 tahun untuk mengevaluasi kapasitas saluran eksisting dan menentukan kebutuhan tampungan sementara.

Penanganan yang dipilih berupa penerapan kolam retensi karena dinilai mampu mereduksi debit limpasan hujan yang tidak dapat langsung dialirkan oleh sistem drainase eksisting akibat keterbatasan kapasitas saluran dan pengaruh *backwater* pada bagian hilir. Kolam retensi berfungsi sebagai tampungan sementara untuk menahan debit puncak aliran sehingga beban aliran pada saluran dapat dikurangi dan potensi genangan menjadi lebih kecil. Kolam retensi berfungsi sebagai konstruksi untuk mengurangi serta menghindari kerusakan akibat banjir. Kolam ini menahan limpasan badai dalam sistem drainase untuk waktu tertentu dan membatasi debit puncak ke batas yang dapat ditoleransi oleh drainase (Verstraeten & Poesen, 1999).



Gambar 6 Lokasi Perencanaan Kolam Retensi

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2014)

Lokasi perencanaan kolam retensi disesuaikan pada rekomendasi dari *Outline Plan* dan DED drainase kota Langsa (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2014) berada pada bagian hilir saluran primer, tepatnya pada koordinat $4^{\circ} 29' 43.80''$ LU dan $97^{\circ} 58' 21.39''$ BT (Gambar 6 dan Gambar 7).



Gambar 7 Lokasi Kolam Retensi

Penggunaan kolam retensi terbukti mengurangi dampak akibat banjir, tetapi perlu didukung dengan integrasi yang tepat antara penempatan lokasi, volume, dan strategi pengendaliannya (Liu et al., 2025). Penentuan lokasi kolam retensi yang tidak sesuai dapat menyebabkan distribusi aliran menjadi tidak efektif sehingga limpasan tetap terkonsentrasi pada area tertentu. Selain itu, kapasitas tampungan yang terlalu kecil menyebabkan kolam retensi tidak mampu menampung debit limpasan secara optimal pada saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Sebaliknya, kapasitas yang terlalu besar juga dapat menimbulkan ketidakefisienan dalam penggunaan lahan dan biaya pembangunan. Oleh karena itu, desain kolam retensi perlu disesuaikan dengan karakteristik hidrologi kawasan, kondisi topografi, serta kapasitas sistem drainase eksisting agar dapat berfungsi secara optimal dalam mereduksi debit banjir.

Desain yang terintegrasi dan metode pengendalian yang cocok dapat mengoptimalkan kinerja pengendalian banjir. Bentuk kolam retensi, tata letak vegetasi, dan kondisi dasar kolam mempengaruhi efisiensi hidrauliknya. Di kolam retensi, desain hidraulik, hidrologi, dan botani diintegrasikan dan saling terhubung untuk hasil yang berkelanjutan (Wong, 2006). Secara umum, dapat disimpulkan bahwa: (i) desain kolam retensi yang tidak tepat akan membuat area permukiman menjadi tergenang, dan ii) penanaman vegetasi yang tidak sesuai di sepanjang kolam retensi membuat aliran air menjadi tercemar (Hussein, 2014; Kim et al., 2009).

Kapasitas kolam retensi yang dapat menampung volume debit banjir dihitung berdasarkan debit aliran masuk (*inflow*) ke kolam retensi. Debit aliran yang masuk ke kolam retensi disesuaikan dengan aliran yang berasal dari saluran primer Syiah Kuala. Semakin besar debit aliran yang masuk ke sistem, maka semakin besar pula

kebutuhan kapasitas tampungan kolam retensi agar limpasan tidak langsung meluap ke kawasan permukiman dan menyebabkan genangan. Hasil rekap perhitungan volume aliran masuk dan keperluan pompa dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Kumulatif volume aliran yang masuk ke kolam retensi

Kumul. Waktu (jam)	Kumul. Waktu (menit)	Aliran Masuk (m ³ /s)	Rata-rata Aliran Masuk (m ³ /s)	Volume (m ³)
0,00	0,00	0,00		
0,08	4,55	0,18	0,09	24,22
0,97	58,46	0,21	0,20	686,50
1,23	73,69	0,29	0,25	1111,45
2,48	148,83	0,37	0,33	2961,69
2,94	176,36	0,51	0,44	4693,22
3,28	196,79	0,52	0,51	6075,76
3,61	216,67	0,68	0,60	7747,73
4,14	248,40	0,78	0,73	10837,53
11,63	698,02	1,18	0,98	41024,80

Dalam sistem operasionalnya, kolam retensi dilengkapi dengan pompa pengendali banjir yang berfungsi untuk mengeluarkan air yang telah tertampung di dalam kolam menuju saluran pembuangan atau badan air penerima. Pompa juga membantu mempercepat pengosongan kolam setelah kejadian hujan sehingga kapasitas tampungan dapat kembali tersedia untuk menghadapi hujan berikutnya.

Pompa dengan kapasitas tetap 0,2 m³/s digunakan sebagai parameter desain *outlet* dalam perhitungan kebutuhan volume kolam retensi. Kapasitas tersebut ditetapkan sebagai skenario perencanaan yang merepresentasikan kemampuan pompa dalam mengurangi akumulasi limpasan secara bertahap selama kejadian hujan. Pada penelitian ini tidak dilakukan optimasi kapasitas pompa ataupun simulasi pola operasinya, sehingga kapasitas pompa digunakan sebagai asumsi desain dalam menghitung kebutuhan volume tampungan berdasarkan keseimbangan antara volume aliran masuk dan volume yang dapat dipompa keluar. Dengan kapasitas tersebut, debit keluar dari kolam dapat dikendalikan secara bertahap sehingga tinggi muka air di dalam kolam tetap berada pada batas aman. Apabila debit aliran masuk lebih besar dibanding kapasitas pompa, maka kelebihan debit akan tersimpan sementara di dalam kolam retensi.

Tabel 6 Analisis volume kolam retensi dan keperluan pompa

Kumulatif Waktu (menit)	Volume (m ³)	Volume Kumulatif Pompa	Volume Kolam Retensi
		0,2 m ³ /s	0,2 m ³ /s
0,00	0,00	0,00	0,00
4,55	24,22	54,63	-30,41
58,46	686,50	701,56	-15,06
73,69	1111,45	884,32	227,13
148,83	2961,69	1785,93	1175,75
176,36	4693,22	2116,36	2576,87
196,79	6075,76	2361,45	3714,31
216,67	7747,73	2599,99	5147,74
248,40	10837,53	2980,81	7856,72
698,02	41024,80	8376,29	32648,51

Perhitungan volume kolam retensi dapat dilihat sebagai berikut

1. Perhitungan volume aliran pada inlet 1 yang masuk ke kolam retensi
 $\text{Volume aliran masuk} = \text{rata-rata aliran masuk} \times \text{kum. waktu} \times 60$
 $\text{Volume aliran masuk} = 0,09 \times 4,55 \times 60$
 $\text{Volume aliran masuk} = 24,22 \text{ m}^3$
2. Perhitungan volume kolam retensi dengan keperluan pompa di inlet 1
 $\text{Volume pompa} = 0,2 \times \text{kum. waktu} \times 60$
 $\text{Volume pompa} = 0,2 \times 4,55 \times 60$
 $\text{Volume pompa} = 54,63 \text{ m}^3$
3. Perhitungan volume kolam retensi di inlet 1
 $\text{Volume kolam retensi} = \text{Volume aliran masuk} - \text{volume pompa}$
 $\text{Volume kolam retensi} = 24,22 - 54,63$
 $\text{Volume kolam retensi} = -30,41 \text{ m}^3$
4. Perhitungan volume akhir kolam retensi dihitung berdasarkan Tabel 5.
 $\text{Volume kolam retensi} = \text{Nilai maks} - \text{nilai min}$
 $\text{Volume kolam retensi} = 32.648,51 - (-30,41)$
 $\text{Volume kolam retensi} = 32.678,92 \text{ m}^3$

Air yang telah terkumpul di dalam kolam retensi dapat dibuang langsung ke bagian hilir yang bermuara ke Sungai Alue Lhok Banie dengan bantuan pompa. Kolam retensi ini berfungsi sebagai tampungan sementara pada saat terjadi debit puncak, sementara pompa bekerja mengalirkan air secara bertahap menuju badan air penerima. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pengendalian banjir tidak sepenuhnya bergantung pada volume tampungan kolam, tetapi juga dipengaruhi oleh kemampuan pompa dalam mengurangi debit genangan secara kontinu. Jumlah dan kapasitas pompa yang ada disesuaikan dengan volume kapasitas kolam retensi. Penggunaan 1 unit pompa berkapasitas 0,2 m³/s menghasilkan volume kolam retensi sebesar 32.678,92 m³.

KESIMPULAN

Peta jaringan drainase dan peta daerah tangkapan air (DTA) yang dihasilkan merupakan peta yang telah diperbarui. Peta jaringan drainase yang baru menunjukkan jaringan drainase saluran primer dan sekunder serta arah aliran air pada setiap saluran primer dan sekunder yang sesuai dengan kondisi lapangan. Peta daerah tangkapan air memiliki pembaruan terhadap luasan atau batas dari DTA. Luasan peta daerah tangkapan air ini menjadi lebih kecil. Penentuan batas atau luasan DTA dilakukan berdasarkan hasil dari pengukuran topografi. Hasil pemodelan HEC-RAS memperlihatkan bahwa saluran drainase tidak mampu menampung debit banjir rencana. Dari 30 titik *cross section* yang diteliti, hampir seluruhnya mengalami *overtopping*. Pada bagian hilir saluran terjadi *overtopping* mencapai 1,23 m yang disebabkan oleh akumulasi aliran dari saluran tersier, sekunder, dan primer di bagian hulu yang menyebabkan peningkatan muka air. Peningkatan muka air di bagian hilir ini menimbulkan efek aliran balik (*backwater effect*). Pengendalian banjir yang sesuai untuk kondisi ini adalah dengan merencanakan kolam retensi agar akumulasi air pada bagian hilir dapat segera dialirkan menuju badan air penerima. Hasil perhitungan kolam retensi dengan menggunakan pompa berkapasitas 0,2 m³/s menghasilkan volume kolam retensi sebesar 32.678,92 m³.

REFERENSI

- Afrian, R., & Islami, Z. R. (2018). Kajian kesiapsiagaan menghadapi bencana hidrometeorologi pada masyarakat dan pemerintah Kota Langsa. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 3(1).
- Al Amin, M. B. (2016). Analisis genangan banjir di kawasan sekitar kolam retensi dan rencana pengendaliannya, studi kasus: Kolam Retensi Siti Khadijah Palembang. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 27(2), 69. <https://doi.org/10.5614/jrcp.2016.27.2.1>
- Alia, F., Indriyati, C., & Aditya, B. B. (2023). Desain dan perencanaan teknis Kolam Retensi Arafuru Kota Palembang. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 339. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.876>
- Chalid, A., & Prasetya, B. (2020). Utilization of a pond in East Jakarta for a sustainable urban drainage system model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 437(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/437/1/012018>
- Che, W., Zhao, Y., Yang, Z., Li, J., & Shi, M. (2014). Integral stormwater management master plan and design in an ecological community. *Journal of Environmental Sciences*, 26(9), 1818–1823. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.028>

- Chen, J., Theller, L., Gitau, M. W., Engel, B. A., & Harbor, J. M. (2017). Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States. *Journal of Environmental Management*, 187, 470–481.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.017>
- Dams, J., Dujardin, J., Reggers, R., Bashir, I., Canters, F., & Batelaan, O. (2013). Mapping impervious surface change from remote sensing for hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, 485, 84–95.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.045>
- Dinas Pengairan Aceh. (2022). *Masterplan pengendalian banjir*. Pemerintah Aceh.
- Fauziyah, D., Kartikaningrum, F., Hadiani, R., Endah, D., & Suryandari, S. (2022). Analisis backwater dengan HEC-RAS di Kelurahan Sewu Kota Surakarta. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 5(2), 133–139.
<https://doi.org/10.20961/jrrs.v5i2.54730>
- Fitriana, T., Gunawan, T. A., & Juliana, I. C. (2021). Evaluasi dan analisis kolam retensi pengendalian banjir: studi kasus Kolam Retensi Brimob Kota Palembang. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9(2), 89–95.
<https://doi.org/10.35139/cantilever.v9i2.46>
- Fletcher, T. D., Deletic, A., Mitchell, V. G., & Hatt, B. E. (2008). Reuse of urban runoff in Australia: A review of recent advances and remaining challenges. *Journal of Environmental Quality*, 37(S5). <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0411>
- Hamel, P., Daly, E., & Fletcher, T. D. (2015). Which baseflow metrics should be used in assessing flow regimes of urban streams? *Hydrological Processes*, 29(20), 4367–4378.
<https://doi.org/10.1002/hyp.10475>
- Hamidi, E., Peter, B. G., Munoz, D. F., Moftakhari, H., & Moradkhani, H. (2023). Fast flood extent monitoring with SAR change detection using Google Earth Engine. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1–19.
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3240097>
- Handayani, M. P., Hadiani, R. R., & Solichin, S. (2024). Retention basin for flood mitigation (case study: Magetan Regency). *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(4), 9.
<https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i4.2718>
- Hussein, M. K. (2014). Sustainability of three recreational forest landscape management in Selangor, Malaysia. *Journal of Design and Built Environment*, 14(2).
<https://ejournal.um.edu.my/index.php/jdbe/article/view/5345/3132>
- Imamuddin, M., & Supriyanto, G. (2019). Analisis kapasitas drainase sisi timur Jalan Kampung Gusti sampai dengan Rumah Pompa Kampung Gusti. *Prosiding Semnastek* 2019.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/5144>
- Istiarto. (2014). *Modul pelatihan simulasi aliran 1-dimensi dengan bantuan paket pemrograman hidrodinamika HEC-RAS*. Universitas Gadjah Mada.
- Juwita, H. (2022, Oktober 20). *Tiga kecamatan di Kota Langsa terendam banjir seorang lansia dievakuasi*. Badan Penanggulangan Bencana Aceh.
<https://bpba.acehprov.go.id/berita/kategori/bencana/tiga-kecamatan-di-kota-langsa-terendam-banjir-lagi-seorang-lansia-dievakuasi-kerumah-anaknya>.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Modul 4: Perencanaan sistem polder dan kolam retensi*. Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2014). *Outline plan dan DED drainase Kota Langsa*. PT. Karya Indah Pramuditha.
- Keyvanfar, A., Shafaghat, A., Ismail, N., Mohamad, S., & Ahmad, H. (2021). Multifunctional retention pond for stormwater management: A decision-support model using Analytical Network Process (ANP) and Global Sensitivity Analysis (GSA). *Ecological Indicators*, 124, 107317.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107317>
- Kim, H., Sato, S., Jeong, J. H., & Din, N. C. (2009). Investigation of the characteristics of sequential landscape elements using images for historical space. *Journal of Design and Built Environment*, 5, 61–76.
<https://borneojournal.um.edu.my/index.php/jdbe/article/view/4973>
- Lee, P.-K., Touray, J.-C., Baillif, P., & Ildefonse, J.-P. (1997). Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France. *Science of The Total Environment*, 201(1), 1–15.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)84048-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)84048-X)
- Liu, Y., Wang, H., Liu, P., Liu, W., Luo, X., Liao, W., Xu, H., Zhou, C., Kang, A., & Wang, D. (2025). An integrated design combining the layout, volume, and active control of detention ponds for urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 647, 132321.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132321>
- Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P. S., Arnbjerg-Nielsen, K., Deletic, A., Roldin, M., & Binning, P. J. (2017). Hydrologic impact of urbanization with extensive stormwater infiltration. *Journal of Hydrology*, 544, 524–537.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.030>

- Maniquiz-Redillas, M. C., Geronimo, F. K. F., & Kim, L.-H. (2014). Investigation on the effectiveness of pretreatment in stormwater management technologies. *Journal of Environmental Sciences*, 26(9), 1824–1830. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.018>
- Marsalek, J., Jiménez, B., Malmquist, P. A., Karamouz, M., Goldenfum, J. A., & Bernard, C. (2014). *Urban water cycle processes and interactions*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482288544>
- Miguez, M., Veról, A., De Sousa, M., & Rezende, O. (2015). Urban floods in lowlands—levee systems, unplanned urban growth and river restoration alternative: A case study in Brazil. *Sustainability*, 7(8), 11068–11097. <https://doi.org/10.3390/su70811068>
- Prawati, E., & Al Fajri, R. (2021). Analisis sistem drainase akibat curah hujan yang tinggi (studi kasus Ruas Jalan Krakatau – Ruas Jalan Tawes Kelurahan Yosorejo Kecamatan Metro Timur Kota Metro). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 10(2), 124–132. <https://doi.org/10.24127/tp.v10i2.1581>
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2017). *Modul metode pengendalian banjir*. https://simantu.pu.go.id/epel/edok/41622_04._Modul_4_Metode_Pengendalian_Banjir.pdf
- Rae, M., Miró, A., Hall, J., O'Brien, K., & O'Brien, D. (2019). Evaluating the validity of a simple citizen science index for assessing the ecological status of urban drainage ponds. *Ecological Indicators*, 98, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.053>
- Ramadhan, I. K. B., & Susetyo, C. (2021). Prediksi debit limpasan air permukaan pada daerah rawan banjir di Kabupaten Jombang berdasarkan pemodelan penggunaan lahan. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.54046>
- Rosburg, T. T., Nelson, P. A., & Bledsoe, B. P. (2017). Effects of urbanization on flow duration and stream flashiness: A case study of Puget Sound Streams, Western Washington, USA. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(2), 493–507. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12511>
- Siddiqua, A. (2020). Emergence of water sensitive design: New development strategies for Eastern Periphery of Dhaka Metropolitan Area. *The Iraqi Journal of Architecture and Planning*, 19(1), 46–63. <https://doi.org/10.36041/ijap.2020.169546>
- Solekhan, M., & Widodo, A. (2023). Environmental degradation in sustainable urban development. *Proceedings of the International Conference on Law, Economics, and Health (ICLEH 2022)* (pp. 432–441). https://doi.org/10.2991/978-2-38476-024-4_43
- Stevania, R. T., Wibowo, H., & Danial, M. (2021). Analisis limpasan permukaan (runoff) pada bagian hilir DAS Sekayam. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 8(2). <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/48924/75676590370>
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- Triatmodjo, B. (2009). *Hidrologi terapan*. Beta Offset.
- Verstraeten, G., & Poesen, J. (1999). The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in Central Belgium. *Geomorphology*, 29(3–4), 275–292. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00020-3)
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Burns, M. J. (2012). Urban stormwater runoff: A new class of environmental flow problem. *PLoS ONE*, 7(9), e45814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045814>
- Wang, P., Pozdniakov, S. P., & Vasilevskiy, P. Yu. (2017). Estimating groundwater-ephemeral stream exchange in hyper-arid environments: Field experiments and numerical simulations. *Journal of Hydrology*, 555, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.004>
- Wong, T. H. F. (2006). Water sensitive urban design - the journey thus far. *Australasian Journal of Water Resources*, 10(3), 213–222. <https://doi.org/10.1080/13241583.2006.11465296>
- Xu, H., Ma, C., Xu, K., Lian, J., & Long, Y. (2020). Staged optimization of urban drainage systems considering climate change and hydrological model uncertainty. *Journal of Hydrology*, 587, 124959. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124959>
- Yang, X., Yue, W., Xu, H., Wu, J., & He, Y. (2014). Environmental consequences of rapid urbanization in Zhejiang Province, East China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), 7045–7059. <https://doi.org/10.3390/ijerph110707045>
- Zulbihar, H. A. M., & Sedyowati, L. (2022). Kajian kapasitas pompa sebagai alternatif solusi pengendalian aliran balik di Kampung Glintung (GWS) Kota Malang. *Composite: Journal of Civil Engineering*, 1(2), 51–61. <https://doi.org/10.26905/cjce.v1i2.8597>