

Kajian Banjir dan Perubahan Dasar Sungai Banger Akibat Penutupan Regulator Gate, Kota Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah

Sandhi Akhmad Juliadi¹, Indratmo Soekarno², Widyaningtias³, Eka Oktariyanto Nugroho⁴, Arno Adi Kuntoro⁵, Teguh Purnama Sidiq⁶, Sella Lestari Nurmaulia⁷, Cayekti Widigdo⁸

^{1,2,3,4,5,6,7}Bandung Institute of Technology, Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kec. Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat

⁸Bappeda Kota Pekalongan, Jl. Sriwijaya No.44, Podosugih, Kec. Pekalongan Bar., Kota Pekalongan, Jawa Tengah
nugrohoeka@itb.ac.id

Abstract

In the regional development system of Central Java Province, the provincial government designates Pekalongan City as one of the strategic areas for economic growth. Despite its significant potential, Pekalongan City still needs to find solutions to reduce recurrent flooding. Floods in Pekalongan City are caused by tidal waves (rob) and overflow from rivers. According to the City Planning and Development Agency (Bappeda) of Pekalongan, in the year 2020, flooding covered an area of 1,177.86 hectares. To address the flood issue, the government has implemented several flood control infrastructures in Pekalongan City, including regulator gates and parapet embankments. The construction of these regulator gates aims to control the flow entering the Loji River system, redirecting the entire flow towards the Banger River in the future. This study simulates floods in the Pekalongan City area to assess the impact of the construction of regulator gates and river embankments, particularly around the Banger River using HEC-RAS 6.4 divided into 4 scenarios. The simulation is conducted with flood discharges for return periods of 25 years and 50 years. The results of this study indicate that the flood-affected area before the construction of the regulator gate was 710.06 hectares, and after the construction, the flooded area reduced to 363.02 hectares. The remaining floods occur at the mouth of the Banger River, but after the addition of parapet embankments through normalization, flooding in Pekalongan City can be resolved.

Keywords: Pekalongan, Flood, Regulator Gate, Parapet, HEC-RAS

Abstrak

Dalam sistem pengembangan daerah Provinsi Jawa Tengah, Pemerintah provinsi menetapkan Kota Pekalongan sebagai salah satu wilayah strategis untuk pertumbuhan ekonomi. Meskipun memiliki potensi yang signifikan, Kota Pekalongan masih perlu mencari solusi untuk mengurangi banjir yang merupakan masalah berulang. Banjir di Kota Pekalongan disebabkan oleh gelombang pasang (rob) dan luapan banjir yang terjadi di sungai-sungai yang melintasi kota. Menurut Bappeda Kota Pekalongan, pada tahun 2020 terjadi genangan banjir seluas 1.177,86 hektar. Untuk mengatasi masalah banjir, pemerintah telah membuat beberapa infrastruktur pengendalian banjir di Kota Pekalongan, diantaranya *regulator gate* dan tanggul parapet. Pembangunan *regulator gate* ini bertujuan untuk mengatur aliran yang masuk ke sistem Sungai Loji, sehingga kedepannya seluruh aliran ke Sungai Banger sepenuhnya. Studi ini mensimulasikan banjir di wilayah Kota Pekalongan untuk menilai dampak pembangunan *regulator gate* dan tanggul sungai khususnya di sekitar Sungai Banger menggunakan HEC-RAS 6.4 dengan dibagi menjadi 4 skenario. Simulasi dilakukan dengan debit banjir periode ulang 25 tahun dan 50 tahun. Hasil studi ini menunjukkan area terkena banjir sebelum pembangunan *regulator gate* adalah 710,06 hektar, dan setelah pembangunan *regulator gate*, area banjir berkurang menjadi 363,02 hektar. Banjir yang tersisa terjadi di muara Sungai Banger, tetapi setelah normalisasi penambahan tanggul parapet dilakukan, banjir di Kota Pekalongan dapat diselesaikan.

Kata Kunci: Pekalongan, Banjir, *Regulator Gate*, Tanggul Parapet, HEC-RAS

Copyright (c) 2024 Sandhi Akhmad Juliadi, Indratmo Soekarno, Widyaningtias, Eka Oktariyanto Nugroho, Arno Adi Kuntoro, Teguh Purnama Sidiq, Sella Lestari Nurmaulia, Cayekti Widigdo

✉ Corresponding author: Eka Oktariyanto Nugroho

Email Address: nugrohoeka@itb.ac.id (Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia)

Received 2 January 2024, Accepted 9 January 2024, Published 17 January 2024

PENDAHULUAN

Secara Topografi Kota Pekalongan terletak di dataran rendah pantai utara Pulau Jawa dengan ketinggian lahan antara 0 - 6 meter dpl. Keseluruhan wilayah berada pada kemiringan lereng 0-8%.

Karena Kota Pekalongan hanya memiliki elevasi maksimum sekitar 6 meter diatas permukaan laut (dpl) maka beberapa permasalahan kerap terjadi khususnya genangan akibat banjir. Terdapat tiga sungai utama yang membelah Kota Pekalongan yaitu Sungai Kupang, Sungai Loji dan Sungai Banger. Sungai Banger merupakan sungai buatan yang dibangun untuk mereduksi banjir di Kota Pekalongan akibat limpasan dari Sungai Loji. Pembangunan Sungai Banger telah menurunkan tinggi muka air di Sungai Loji. Ketinggian air di bagian hulu (Sungai Kupang) sebelum adanya Sungai Banger adalah 7,5m, sedangkan setelah adanya Sungai Banger berkurang menjadi 5,7m (Nugroho dkk, 2022).

Banjir rob yang kerap terjadi di pesisir Kota dan Kabupaten Pekalongan diakibatkan oleh penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut. Berdasarkan hasil pemodelan numerik yang pernah dilakukan tahun 2022, disebutkan bahwa faktor dominan penyebab banjir di Kota Pekalongan adalah akibat adanya run up gelombang pada kondisi pasang dan gelombang tinggi (Lutfitiana dkk 2022). Selain itu penyebab banjir di Kota Pekalongan pun diperkuat dengan studi yang menyebutkan bahwa luapan pada Sungai Loji terjadi akibat kombinasi hujan, pasang tinggi, dan run-up gelombang di Sungai Loji (Lutfitiana dkk, 2022). Pengaruh penurunan muka tanah menjadi faktor paling tinggi dibandingkan dengan kenaikan muka air laut (Lessy dkk, 2023). Akibat dari adanya penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut ini diprediksi bahwa pada tahun 2025 akan terjadi genangan banjir seluas 1877,07 hektar (Syafrei dkk, 2020).

Penurunan muka tanah yang terjadi di Kota Pekalongan menunjukkan nilai yang tinggi yaitu sekitar 10 – 14 cm/tahun (Heri dkk, 2017) dimana penurunan muka tanah ini sudah tidak mengalami perubahan yang signifikan selama 7 tahun terakhir dengan penurunan terbesar berada pada sisi barat Kota Pekalongan (Sidiq dkk, 2023). Sedangkan kenaikan muka air laut yang terjadi di Kota Pekalongan berkisar 4,3 mm/tahun (Syafrei dkk, 2020). Penurunan muka tanah di Kota Pekalongan ini terjadi akibat kompaksi alamiah sedimen muda pada dataran alluvial yang membentuk wilayah tersebut (Widya dkk, 2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa di muara Kota Pekalongan kecepatan arus cenderung menurun dan tinggi gelombang cenderung meningkat karena adanya penurunan permukaan tanah (Martin dkk, 2009). selain itu penurunan muka tanah juga dipercepat dengan adanya kegiatan pengambilan air tanah yang tidak terkendali (Adhyaksa dkk, 2014).

Seperti halnya wilayah pesisir lainnya di Indonesia khususnya yang berada di kawasan Pantai utara Pulau Jawa, banjir rob merupakan masalah serius yang sering terjadi (Syams dkk, 2013). Arus di perairan Kota dan Kabupaten Pekalongan didominasi oleh arus pasang surut dengan persentase sebesar 57,49% sedangkan arus non pasang surut sebesar 42,51% (Rifyanul dkk, 2015). Pola aliran ini menyebabkan karakteristik sedimen yang ada pada Kota dan Kabupaten Pekalongan berbeda-beda seperti pasir, pasir lanau, lanau, pasir-lanau-lempung, dan lanau lempung (Rifyanul dkk, 2015).

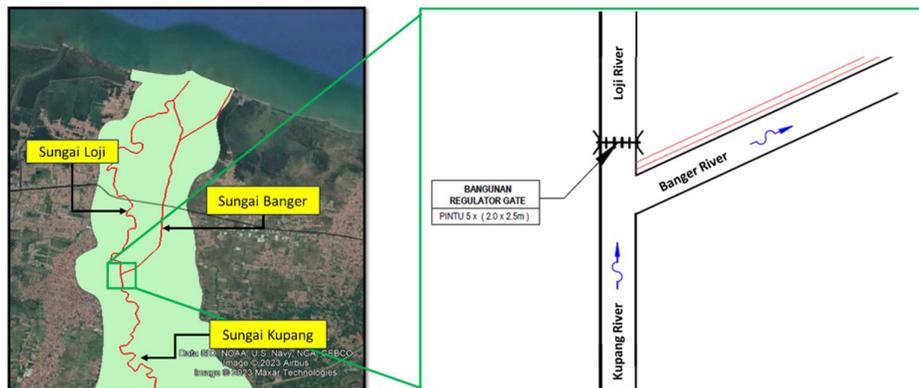
Pada tahun 2013 telah dilakukan penelitian terkait besaran laju sedimen di muara Sungai Banger Kabupaten Pekalongan yang menyebabkan terjadinya pendangkalan. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh data bahwa laju sedimentasi pada muara Sungai Banger Perairan Pekalongan berkisar dari 0,0292 Kg/detik hingga 0,0306 Kg/detik atau sekitar 2,59 Ton/hari (Yuwono dkk, 2013).

Pada Kota Pekalongan, masuknya air laut ke daratan terjadi melalui dua jalur utama, yaitu melalui Sungai Banger dan Sungai Loji yang tidak mampu menampung air laut yang masuk dikarenakan tanggul sungai di beberapa titik telah jebol serta adanya pendangkalan akibat sedimentasi serta air laut dapat langsung masuk ke daratan akibat tanggul pantai jebol maupun mundurnya garis pantai akibat proses abrasi (Sugeng dkk, 2022).

Pada musim barat, akresi terbesar sebesar 25 m terjadi di sebelah barat Pantai Slamaran dan abrasi terbesar sebesar 10,23 m di sebelah barat barat Sungai Banger. Sedangkan pada musim timur, akresi tertinggi terjadi 15,2 m pada sisi timur Sungai Loji dan abrasi terbesar terjadi 13,5 m pada pantai Pasir Kencana (Sugeng dkk, 2022).

Dengan terjadinya kondisi ini, tambak di kawasan pesisir Pekalongan yang menjadi mata pencaharian utama warga di kawasan tersebut akan rusak akibat terendam air. Kemungkinan terburuknya adalah warga terpaksa pindah dari kawasan tersebut karena sudah tidak layak huni.

Menanggapi hal tersebut maka Kementerian PUPR melalui BBWS Pemali Juana telah mengalokasi dana untuk kegiatan Pengendalian Banjir dan Rob Sungai Loji Banger Pekalongan untuk tahun anggaran 2021 hingga tahun 2023 yang diantaranya meliputi pekerjaan pembangunan bendung gerak, pembuatan kolam retensi, pembuatan longstorage pada sub system drainase, normalisasi dan pembangunan tanggul sungai serta pembuatan *regulator gate*. Pembangunan *regulator gate* dilakukan pada hulu Sungai Loji untuk mengatur debit banjir yang masuk ke system Sungai Loji. Dalam pengoperasian kedepannya *regulator gate* akan menutup aliran yang masuk ke Sungai Loji sehingga debit dari hulu (Sungai Kupang) akan masuk ke Sungai Banger sepenuhnya.



Gambar 1. Skema Aliran

Akibat dari penutupan *regulator gate* maka debit air yang mengalir ke Sungai Banger akan bertambah yang tentunya akan menambah volume air dan sedimen yang melewati Sungai Banger. Untuk mengantisipasi hal tersebut Kementerian PUPR telah melakukan penanganan pada Sungai Banger yaitu pengerukan dasar sungai dan penambahan tebing sungai dengan parapet yang diharapkan dapat menambah kapasitas sungai dan menanggulangi banjir yang terjadi. Dalam hal menjaga kapasitas Sungai Banger kedepannya, maka perlu dilakukan pemodelan dengan tujuan untuk mengetahui sebaran banjir yang mungkin terjadi pada Sungai Banger.

Penelitian ini dilakukan untuk memodelkan kondisi Sungai Banger dengan beberapa skenario untuk memberikan informasi bagi pihak – pihak terkait, sehingga diharapkan pihak – pihak terkait dapat merencanakan dan memberikan solusi yang tepat untuk mengatasi masalah yang muncul di masa yang akan datang.

METODE

Analisis Hidrologi

Analisa hidrologi digunakan untuk memprediksi debit air yang masuk pada kala ulang tertentu (Harjono & Widhiasatuti, Y). Data sekunder yang dibutuhkan untuk melakukan analisis hidrologi adalah data hujan. Banyaknya data hujan yang digunakan dalam melakukan analisis hidrologi ini adalah sebesar 20 tahun. Data hujan digunakan untuk mendapatkan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu melalui analisa frekuensi.

Setelah curah hujan rencana didapatkan, selanjutnya adalah menghitung besarnya debit air yang masuk ke dalam Sungai Banger dengan menggunakan hidrograf satuan sintetik. Terdapat beberapa metode hidrograf satuan sintetik yang umum digunakan di Indonesia antara lain metoda Snyder-SCS, Snyder-Alexeyev, Nakayasu, Gama-1, HSS- $\alpha\beta\gamma$, dan Limantara (Natakusumah, dkk). Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS-CN). Metode SCS-CN biasanya digunakan untuk menghitung aliran limpasan dengan mempertimbangkan beberapa variable seperti tata guna lahan, initial abstraksi, *impervious*, dan *lag time*.

Curve Number (CN) merupakan parameter model hidrologi yang dikembangkan oleh *Soil Conservation Service* yang menggambarkan kondisi fisik DAS yang memiliki nilai 1 – 100 (Ramadan, dkk. dan USDA SCS). Rentang nilai CN dari 0-100 tergantung kepada *Hydrologic Soil Group* (HSG), land use dan *Antecedent Moisture Condition* (AMC). Untuk DAS yang lebih besar dari 15 km² metode ini dapat diterapkan dengan melakukan pembobotan *curve number* yang berkaitan dengan penggunaan lahan/tutupan lahan di DAS tersebut atau yang biasa disebut *Curve Number Composite* (CN composite) (Matomela, dkk)]. Persamaan CN composite ditunjukkan dalam persamaan 1 di bawah ini.

$$CN_{composite} = \frac{\sum(CN_i \times A_i)}{A} \quad (1)$$

Abstraksi awal (I_a) merupakan representasi dari semua kehilangan (*Losses*) sebelum terjadinya limpasan dan diberikan oleh persamaan empiris (Jesus, J.D. & Cho, Y.). Initial Abstracion (I_a) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2 seperti berikut.

$$I_a = 0,2 S \quad (2)$$

Dimana S merupakan potensi retensi maksimum yang diformulasikan dalam persamaan 3 seperti berikut.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

Formula diatas diterapkan pada sistem metrik Inggris (S dalam inci) sehingga jika ingin

dikonversi ke satuan Standar Internasional atau SI (S dalam mm), rumus tersebut harus digunakan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4 di bawah ini

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

Persamaan untuk menentukan besarnya parameter *time lag* ditunjukkan dengan persamaan 5 sebagai berikut.

$$t_p = C_1 C_t (LL_C)^{0.3} \quad (5)$$

Dimana t_p adalah *time lag*, L adalah alur sungai terpanjang pada DAS dalam kilometer, dan L_c adalah alur sungai dari sentroid dalam kilometer. C_1 merupakan konstanta yang terkait dengan sistem satuan yang digunakan dan C_t adalah konstanta waktu yang terkait dengan karakteristik dari suatu basin (Deviana, dkk).

Untuk memverifikasi keabsahan dari hidrograf banjir rencana yang telah dihitung, maka perlu dilakukan kalibrasi dengan data dari hasil observasi. Proses kalibrasi pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan antara debit banjir rencana dengan debit aliran dari AWLR Kupang Kuripan yang terletak di di percabangan antara Sungai Loji dan Sungai Banger.

Analisis Pasang Surut

Analisis Pasang Surut diperlukan untuk mengetahui tinggi muka air penting yang merupakan salah satu faktor terjadinya banjir rob. Dalam studi ini, dilakukan analisis pasang surut menggunakan metode analisis harmonik least-squares-based. Untuk menghitung tinggi muka air prediksi tiap jam, maka digunakanlah persamaan berikut:

$$h_p(t) = H_0 + \sum_{i=1}^n c_i \times \cos a_i \times t + \sum_{i=1}^n s_i \times \sin a_i \times t \quad (6)$$

Setelah diketahui masing masing tinggi muka air prediksi dengan konstantanya, maka dihitunglah total kuadrat error dari data tersebut. Total kuadrat error (*Root Square Error*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$e^2 = \sum_{t=1}^n (h(t) - h_p(t)) \quad (7)$$

Dengan:

- hp(t) = tinggi muka air prediksi pada jam ke-t (m)
- h(t) = tinggi muka air observasi pada jam ke-t (m)
- H0 = rata-rata tinggi muka air observasi (m)
- ci = konstanta pertama konstanta ke-i
- si = konstanta kedua konstanta ke-i
- ai = kecepatan konstanta ke-i (radian/jam)
- t = waktu ke-t (jam)
- e2 = total kuadrat error

Untuk mendapatkan tinggi muka air prediksi paling mendekati tinggi muka air observasi, maka nilai dari e^2 haruslah memiliki nilai paling minimum. Oleh karena itu, diperlukan optimasi untuk mendapatkan nilai total kuadrat error paling kecil. Berdasarkan data dari Badan Informasi

Geospasial, tinggi muka air penting di muara Kota Pekalongan tercantum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Tinggi Muka Air Penting

Definisi Muka Air	Simbol	Keterangan	Persamaan
Astronomical Tide	HAT	Pasang Astronomi Tertinggi	$Z_0+(\text{all constituents})$
Highest High Water Level	HHWL	Muka Air Paling Tinggi	$Z_0+(M_2+S_2+K_2+K_1+O_1+P_1)$
High Water Spring	HWS	Muka Air Tertinggi	$Z_0+(M_2+S_2+K_1+O_1)$
Mean High Water Spring	MHWS	Muka Air Tertinggi Rerata	$Z_0+(M_2+S_2)$
Mean High Water Level	MHWL	Muka Air Paling Tinggi Rerata	$Z_0+(M_2+K_1+O_1)$
Mean High Water Neap	MHWN	Muka Air Perbani Tinggi Rerata	$Z_0+\text{abs}(M_2-S_2)$
Mean Sea Level	MSL	Muka Air Laut Rata - Rata	Z_0
Mean Low Water Neap	MLWN	Muka Air Perbani Rendah Rerata	$Z_0-\text{abs}(M_2-S_2)$
Mean Low Water Level	MLWL	Muka Air Paling Rendah Rerata	$Z_0-(M_2+K_1+O_1)$
Mean Low Water Spring	MLWS	Muka Air Terendah Rerata	$Z_0-(M_2+S_2)$
Chart Datum Level	CDL	Muka Air Seajar Datum	$Z_0-(M_2+S_2+K_1+O_1)$
Lowest Low Water Level	LLWL	Muka Air Paling Rendah	$Z_0-(M_2+S_2+K_2+K_1+O_1+P_1)$
Lowest Astronomical Tide	LAT	Surut Astronomi Terendah	$Z_0-(\text{all constituents})$

Analisis Hidrolika

Analisa hidrolika dilakukan untuk menentukan kapasitas saluran dengan memperhatikan sifat – sifat hidrolika yang terjadi pada daerah aliran sungai (Harjono & Widhiasatuti, Y). Pada penelitian ini analisa hidrolika yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Pemetaan model banjir 2 Dimensi sangat berguna untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi terdampak banjir (Formanek, dkk). Perangkat lunak HEC-RAS memiliki empat jenis pemodelan yaitu : (1) Simulasi aliran tunak; (2) Simulasi aliran tidak tunak; (3) Simulasi transport sedimen; dan (4) Simulasi kualitas air.

Pada penelitian ini analisa dilakukan dengan melakukan simulasi aliran tidak tunak yang meliputi analisa kemampuan saluran dalam kondisi eksisting dan desain dalam mengalirkan debit banjir rencana baik itu secara 1 dimensi maupun 2 dimensi. Hukum fisika yang mengatur simulasi aliran tidak tunak dalam sungai adalah prinsip kekekalan massa (kontinuitas) dan prinsip kekekalan momentum. Bentuk final dari persamaan kekekalan massa yang digunakan dirumuskan pada persamaan 8 seperti berikut.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad (8)$$

dimana:

h : kedalaman aliran

t : waktu

u, v : kecepatan aliran arah sumbu x dan y

q : suku fluks aliran

sedangkan untuk persamaan kekekalan momentum yang digunakan dirumuskan pada persamaan 9 dan 10 seperti berikut.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} (v_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} (v_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y}) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} \quad (9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} (v_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} (v_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y}) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} \quad (10)$$

dimana:

u, v : kecepatan aliran arah sumbu x dan y

g : percepatan gravitasi

z_s : elevasi muka air

$v_{t,xx}, v_{t,yy}$: koefisien viskositas eddy horizontal arah sumbu x dan y

$\tau_{b,x}, \tau_{b,y}$: tegangan geser dasar arah sumbu x dan y

R : jari-jari hidraulik

$\tau_{s,x}, \tau_{s,y}$: tegangan permukaan akibat angin arah sumbu x dan y

h : kedalaman aliran

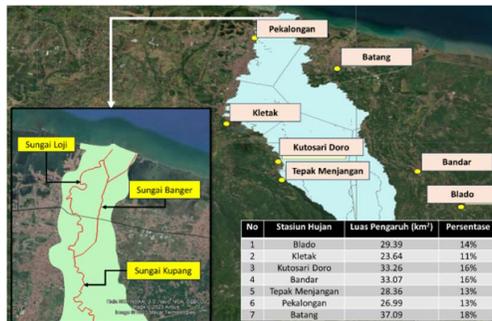
f_c : parameter Coriolis

p_a : tekanan atmosfer

HASIL DAN DISKUSI

Analisis Hidrologi

DAS yang digunakan dalam penelitian ini adalah DAS Kupang dengan luas sebesar 211,80 km² yang didalamnya terdapat tiga sungai utama, yaitu Sungai Kupang, Sungai Loji, dan Sungai Banger. Selanjutnya untuk memperoleh debit rencana yang mengalir di Sungai Kupang, dilakukan analisis debit banjir rencana dengan menggunakan pendekatan hubungan curah hujan-limpasan menggunakan data curah hujan. Pengumpulan dan penentuan data hujan didasarkan pada sebaran stasiun curah hujan di sekitar DAS Kupang. Sebaran pos hujan dan dampaknya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Sungai pada DAS Kupang

Analisis curah hujan rencana di lokasi penelitian menggunakan data dari 7 stasiun hujan yang berada di sekitar DAS Kupang, yaitu Stasiun Hujan Blado, Stasiun Hujan Kletak, Pos Hujan Kutosari

– Doro, Pos Hujan Bandar, Pos Hujan Tapak Menjangan, Stasiun Hujan Pekalongan, dan Pos Batang Hujan. Curah hujan regional diperoleh dengan menggunakan metode Thiessen Polygon dengan menimbang setiap wilayah pengaruh pos curah hujan. Hasil perhitungan curah hujan rencana dengan beberapa periode ulang pada setiap pos hujan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Curah Hujan Rencana Tiap Pos Hujan

No	Periode Ulang (Tr)	Hujan Rencana (mm)						
		PCH Blado	PCH Kletak	PCH Kutosari Doro	PCH Bandar	PCH Tapak Menjangan	PCH Pekalongan	PCH Batang
1	2 tahun	134.94	119.47	131.85	128.30	108.12	152.28	113.64
2	5 tahun	179.12	151.12	177.61	161.09	132.50	191.66	144.26
3	10 tahun	210.39	172.08	212.41	181.46	148.64	217.73	163.44
4	25 tahun	252.27	198.55	261.86	206.03	169.04	250.67	186.71
5	50 tahun	285.24	218.20	302.96	223.63	184.18	275.10	203.47
6	100 tahun	319.79	237.70	347.93	240.74	199.20	299.36	219.82
7	PMP	764.53	572.72	796.87	592.84	459.73	716.69	561.15

Untuk mendapatkan curah hujan wilayah maka hujan rencana pada masing-masing stasiun dikalikan dengan nilai koefisien Thiessen lalu dikalikan kembali dengan faktor luasan area atau *Area Reduction Factor* (ARF). Dengan luas DAS sebesar 211,80 km² maka didapat nilai ARF sebesar 0,865. Hasil perhitungan hujan wilayah tiap periode ulang dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Curah Hujan Rencana

No	Periode Ulang (Tr)	Hujan Rencana (mm)
1	2 tahun	109.52
2	5 tahun	140.33
3	10 tahun	161.24
4	25 tahun	188.38
5	50 tahun	209.19
6	100 tahun	230.53
7	PMP	552.76

Langkah berikutnya setelah mendapatkan jumlah curah hujan rencana adalah menghitung besaran debit rencana. Debit desain dihitung menggunakan metode HSS SCS periode ulang 25 tahun dan 50 tahun. Hasil debit banjir periode ulang 25 tahun yang diperoleh menggunakan metode HSS SCS di DAS Kupang adalah 296,7 m³/detik dan debit banjir periode ulang 50 tahun adalah 325,9 m³/detik.

Analisis Pasang Surut

Analisis pasang surut dilakukan untuk mendapatkan elevasi penting di muara sungai Banger. Muka air penting dari Stasiun Pasang Surut Pekalongan dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

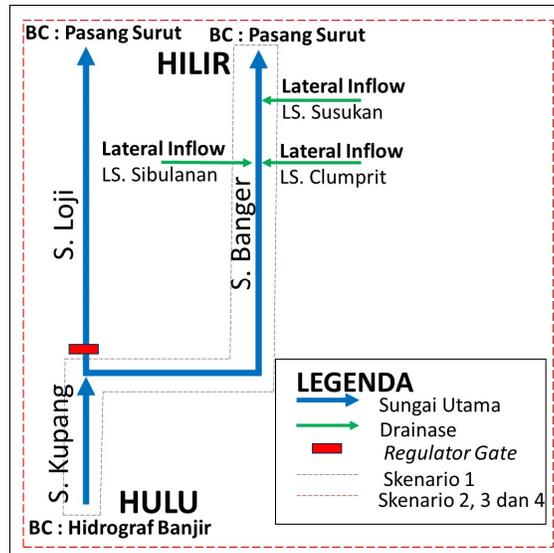
Tabel 4. Tinggi Muka Air Penting Stasiun Pasut Pekalongan

Definisi Muka Air	Simbol	Keterangan	Tinggi (m)
Highest Water Spring	(HWS)	Muka Air Tertinggi	0.59
Mean High Water Spring	(MHWS)	Muka Air Tertinggi Rerata	0.42
Mean High Water Level	(MHWL)	Muka Air Paling Tinggi Rerata	0.17
Mean Sea Level	(MSL)	Muka Air Laut Rata-rata	0.00

Definisi Muka Air	Simbol	Keterangan	Tinggi (m)
Mean Low Water Level	(MLWL)	Muka Air Paling Rendah Rerata	-0.19
Mean Low Water Spring	(MLWS)	Muka Air Terendah Rerata	-0.30
Lowest Water Spring	(LWS)	Muka Air Terendah	-0.44

Kondisi Batas Pemodelan dan Skenario

Pemodelan simulasi debit banjir menggunakan simulasi aliran tidak tunak (*unsteady flow*) dengan kondisi batas (*boundary condition*) pada daerah hulu berupa hidrograf banjir (*hydrograph flow*) dan pada daerah hilir berupa muka air pasang surut (*stage hydrograph*). Skema pemodelan untuk simulasi banjir dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Skema Pemodelan Simulasi Banjir

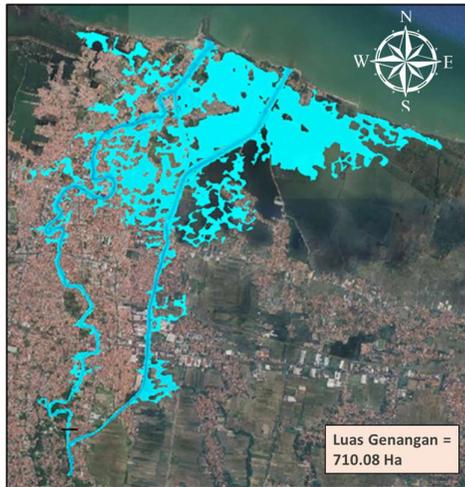
Rekapitulasi kondisi batas pada pemodelan ini dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi kondisi batas tiap skenario

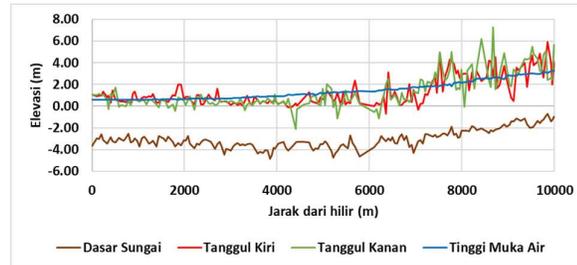
Skenario	Jenis Pemodelan	Hulu	Hilir	Geometri Sungai	Keterangan
1	Banjir	Q25	Pasang Surut	eksisting	Tidak ada bangunan
2	Banjir	Q25	Pasang Surut	eksisting	Terdapat pengaruh Regulator Gate
3	Banjir	Q50	Pasang Surut	normalisasi	Terdapat pengaruh Regulator Gate
4	Banjir	Q50	Pasang Surut	normalisasi	Terdapat <i>Land Subsidence & Sea Level Rise</i>

Analisis Pemodelan Skenario 1

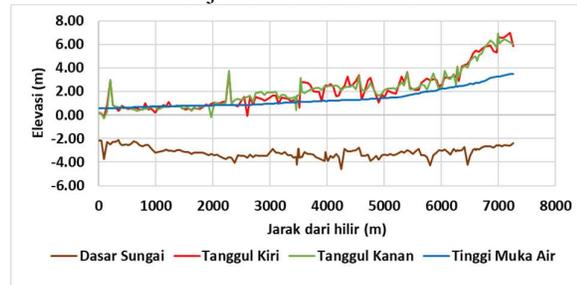
Berdasarkan hasil pemodelan skenario 1 didapatkan hasil berupa adanya genangan banjir seluas 710,08 hektar akibat luapan dari Sungai Banger dan Sungai Loji seperti pada Gambar 4 hingga 6.



Gambar 4. Distribusi Genangan Simulasi Skenario 1



Gambar 5. Kondisi Penampang Memanjang Sungai Loji untuk Skenario 1



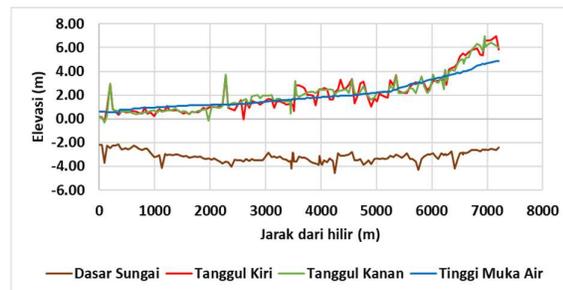
Gambar 6. Kondisi Penampang Memanjang Sungai Banger untuk Skenario 1

Analisis Pemodelan Skenario 2

Pada pemodelan skenario 2 terlihat bahwa aliran dari hulu sudah tidak mengalir Sungai Loji akibat adanya penutupan *regulator gate*. Hal tersebut membuat aliran sungai hanya mengalir ke Sungai Banger. Dengan adanya penutupan aliran sungai oleh *regulator gate*, genangan banjir yang terjadi berkurang sebesar dari yang semula 710,08 hektar menjadi 363,02 hektar seperti pada Gambar 6 dan 8.



Gambar 7. Distribusi Genangan Simulasi Skenario 2



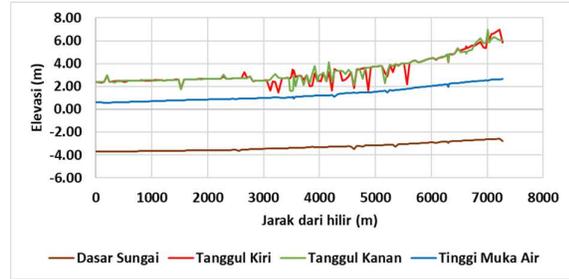
Gambar 8. Kondisi Penampang Memanjang Sungai Banger untuk Skenario 2

Analisis Pemodelan Skenario 3

Pada pemodelan skenario 3, yaitu ketika Sungai Banger dinormalisasi dan ditambahkan tanggul parapet terlihat bahwa sudah tidak ada lagi genangan banjir yang terjadi. Hal tersebut diakibatkan karena daya tampung sungai bertambah menjadi periode ulang 50 tahun seperti pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Distribusi Genangan Simulasi Skenario 3



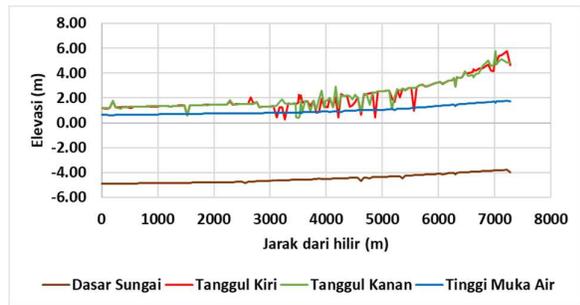
Gambar 10. Kondisi Penampang Memanjang Sungai Banger untuk Skenario 3

Analisis Pemodelan Skenario 4

Pemodelan skenario 4 merupakan skenario prediksi yang akan terjadi 10 tahun kemudian apabila Sungai Banger yang sudah dinormalisasi tersebut dipengaruhi adanya faktor *landsubsidence* dan *sea level rise*. *Land subsidence* yang diterjadi diasumsikan sebesar 12 cm/tahun sedangkan *sea level rise* yang terjadi diasumsikan sebesar 4,3 mm/tahun. Berdasarkan pemodelan skenario 4 didapatkan hasil bahwa genangan banjir kembali terjadi seluas 272,68 hektar seperti pada Gambar 11 dan 12.

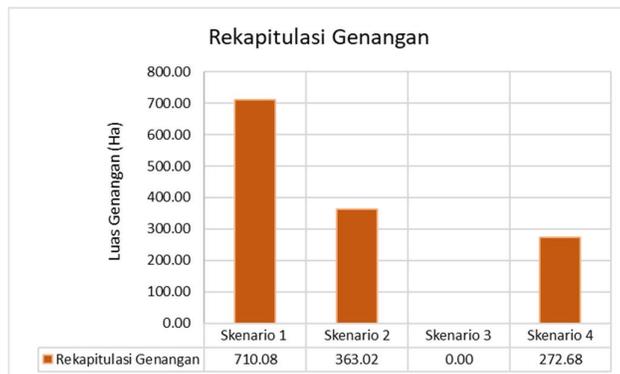


Gambar 11. Distribusi Genangan Simulasi Skenario 4



Gambar 12. Kondisi Penampang Memanjang Sungai Banger untuk Skenario 4

Rekapitulasi luas genangan yang terjadi pada studi ini dapat dilihat pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. Rekapitulasi Genangan Banjir Tiap Skenario

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa secara umum bahwa dengan adanya *regulator gate*, genangan banjir pada Kota Pekalongan berhasil menurunkan genangan banjir sebesar 51,5% dari yang semula sebesar 710,08 hektar menjadi 363,02 hektar. Hal tersebut terjadi karena sudah tidak adanya limpasan yang terjadi pada Sungai Loji akibat penutupan aliran air ke Sungai Loji oleh *regulator gate*. Selanjutnya setelah normalisasi dan parapet diterapkan sebagai struktur pengendalian banjir maka daya tampung sungai menjadi jauh lebih besar karena menggunakan desain periode ulang 50 tahun yang membuat tidak terdapat genangan yang terjadi yang dapat dilihat pada skenario 3. Pada skenario 4 dapat terlihat bahwa walaupun kondisi sungai sudah di normalisasi dan ditambahkan parapet, akan tetapi 10 tahun kemudian akan tetap melimpas akibat adanya faktor pengaruh *land subsidence* (12cm/tahun) dan *sea level rise* (4.3 mm/tahun). Kondisi tersebut membuat terjadinya genangan sebesar 272,68 ha pada Kota Pekalongan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak telah membantu pelaksanaan penelitian khususnya dalam hal finansial yaitu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan pihak yang telah memberikan saran dan masukan selama penyusunan penelitian ini yaitu Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.

REFERENSI

- Deviana, A., Kridasantausa, I., Suryadi, Y. (2011). Kajian Pemodelan Spasial Banjir untuk Mendukung Kebijakan Sempadan Sungai dan Tata Ruang Wilayah (Studi Kasus Wilayah Pengembangan Baleendah). Doctoral dissertation. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Formanek, R., Silasari, R., Kusuma, M.S.B., Kardhana, H. (2013). Two-dimensional Model of Ciliwung River Flood in DKI Jakarta for Development of Regional Flood Index Map. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 45(3), 307 – 325. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Harjono & Widhisatuti, Y., (2019). Analisis Hidrologi dan Hidrolika pada DAS Kali Pacal di Bojonegoro. *Rekayasa Sipil*, 13(1), 16-23. Malang: Universitas Brawijaya.
- HEC. (2022). HEC-RAS 2D Sediment Technical Reference Manual – HEC-RAS 2D Sediment Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, 110. California: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.
- Jesus, JD & Cho, Y. (2019). Estimate Surface Runoff Using SCS-CN Method With GIS Application: A Case Study at Lacro River Watershed, Manatuto Timor Leste. Unpublished Thesis. Seoul: SungKyunKwan University

- Lutfitiana, P., Ramadhani, R.P., Cahyono, M., Nugroho, E.O., Kumaha, Y.E., Lestari, S. (2022). Studi of Loji Riverbed Change in Pekalongan City. The Fourth International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, 558 – 566. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Lutfitiana, P., Ramadhani, R.P., Cahyono, M., Nugroho, E.O., Lestari, S., Kumaha, Y.E. (2022). Studi of Flood in Pekalongan City. Seminar Nasional & Pameran “Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi”, 65-75. Semarang: Politeknik PU.
- Martin, R.J., Kurniawan, A., Nugroho, E.O., Wijaya, F.S., Muhammad, I.F., Yola, Fauzi, N.(2022). The effect of land subsidence on hydrodynamic conditions in Pekalongan coast. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1-11. doi: 10.1088/1755-1315/1065/1/012009
- Matomela, N., Tianxin, L., Morahanye, L., Bishoge, O.K., Ikhumben, H.O. (2019). Rainfall-runoff estimation of Bojiang lake watershed using SCS-CN model coupled with GIS for watershed management. Phoenix Research Publishers, 4(1), 16-24. <http://dx.doi.org/10.21839/jaar.2019.v4i1.263>
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 251-291. Bandung: Institut Teknologi Bandung. <https://doi.org/10.5614/jts.2011.18.3.6>
- Nugroho, E.O., Ramadhani, R., Lutfitiana, P., Cahyono, M., Lestari, S., Kumala, Y. (2022). Investigating The Effectiveness of Banger River Floodway on Reducing Water Level of Loji River in Pekalongan City using Hec-Ras 1D Model. International Conference on Sustainable Built Environment, 292-302. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Ramadan, A.N.A, Nurmayadi, D., Sadili, A., Solihin, R.R., Sumardi, Z. (2020). Study of Determining the Curve Number Value of the Pataruman Watershed based on Indonesian Land Map Units. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 258-266. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sidiq, T.P., Adiwijaya, R.F., Nugroho, E.O., Gumilar, I., Abidin, H.Z. (2023). Long term subsidence rate in Pekalongan city observed by SAR Interferometry. Geomatics International Conference. Doi: 10.1088/1755-1315/1276/1/012014.
- USDA-SCS. (1972). Part 630 hydrology national engineering handbook chapter 10 estimation of direct runoff from storm rainfall. National Engineering Handbook. Washington: United States Department of Agriculture.
- Website Model Pasut BIG. (<https://srgi.big.go.id/page/model-pasut>), diakses pada 01 September 2023