

FENOMENA BOTTLENECK PADA BANJIR PATI DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA

Jati Iswardoyo¹, Rokhmat Hidayat^{1*}, Yeuma Maulina Ceuqania Isnanda¹ dan
Shintawati Setyo Mahanani¹

Balai Teknik Sabo, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

*rokhmathidayat33@gmail.com

Pemasukan: 7 Desember 2024 Perbaikan: 16 Juni 2025 Diterima: 28 Juni 2025

Intisari

Banjir dan banjir bandang sering terjadi di Indonesia, disebabkan oleh faktor alam maupun aktifitas manusia. Makalah ini membahas tentang penyebab dan mitigasi banjir bandang di Pati. Pada 14 Juli 2022 banjir bandang melanda kawasan permukiman maupun persawahan di Pati. Banjir bandang dipicu hujan lebat sehari sebelumnya mencapai 90 mm/ hari. Penelitian diawali dengan survei lapangan, analisis kondisi kerusakan akibat banjir bandang, penyebab banjir bandang, serta alternatif penanganannya. Sumber material diduga berupa material longsor di hulu sungai. Pemicu banjir selain curah hujan tinggi juga fenomena bottleneck pada sungai, Kondisi sungai di daerah hulu mayoritas mengalami erosi vertikal berlangsung intensif, sehingga mempunyai tebing sungai terjal. Kondisi sungai di hulu lebar dan dalam, sementara di hilir sempit dan dangkal, serta dinding/tebing sungai berupa tanggul. Pada Sungai Silingonggo hulu di jembatan sumbermulya, penampang sungai mempunyai lebar 13m, kedalaman 8m. sementara lokasi hilir Desa Ngurenrejo mempunyai lebar 8m, kedalaman 4m. Kondisi lebar sungai yang kecil, ketika sungai banjir akan meluap menjebol tanggul dan menggenangi pemukiman serta persawahan. Berdasarkan hasil kajian maka direkomendasikan untuk penanggulangan dan mitigasi bencana berupa tindakan struktural dan tindakan non struktural Tindakan struktural berupa peninggian jembatan dan pembangunan bendung penahan sedimen, pemeliharaan dan perbaikan tanggul, serta normalisasi sungai. Sedangkan tindakan nonstruktural berupa sistem peringatan dini dan sosialisasi bahaya banjir bandang.

Kata Kunci: Fenomena bottleneck, Banjir Bandang; penanganan struktural; penanganan non-struktural.

Latar Belakang

Bencana Banjir Bandang di Kabupaten Pati terjadi pada kamis 14 Juli 2022. Hujan deras mengguyur wilayah Lereng Gunung Muria yang menjadi hulu sejumlah sungai di Kabupaten Pati, mengakibatkan banjir serta menyebabkan tanggul beberapa sungai jebol dan memicu banjir bandang. Tanggul yang jebol itu menyebabkan air menyapu ke permukiman penduduk dan lahan persawahan (BBWS Pemali Juana, 2022).

Banjir bandang mempunyai daya rusak tinggi. Banjir bandang secara umum mempunyai sifat berupa banjir yang cepat dan membawa segala material berupa tanah, batu, dan kayu. Material banjir yang merupakan campuran lumpur, kerikil, bongkahan batuan, serta limbah kayu, mempunyai daya rusak yang sangat dahsyat. Telah dilakukan simulasi dengan tujuan untuk memperkirakan luas area yang terdampak banjir bandang di Sungai Sat, Kabupaten Pati (Iswardoyo & Satria, 2023). Hal tersebut menyebabkan sarana prasarana maupun infrastruktur menjadi hancur (Adi & Thamrin, 2013; Sahara et al., 2013; Skilodi Mou et al., 2018; Canelli et al., 2013). Penelitian mengenai kondisi curah hujan yang menjadi pemicu banjir bandang telah dilakukan di Provinsi Vicenza, Italia, untuk mendefinisikan sistem peringatan hidrologi untuk longsor. Model empiris dan fisik telah digunakan untuk mengidentifikasi ambang curah hujan minimum untuk terjadinya fenomena banjir debris (Floris et al. 2012, Fransi et al. 2013). Ditinjau dari segi geografis, wilayah Indonesia mayoritas merupakan kawasan rawan banjir. Berdasar data, 77% bencana yang terjadi di Indonesia merupakan bencana hidrometeorologi (Rosyidie, 2013). Pemodelan dengan memetakan tingkat kerawanan banjir debris dengan parameter kondisi batuan, kemiringan dan paparan radiasi matahari (Angillieri, 2013). Banjir bandang diawali kejadian longsor, hujan deras yang menjenuhkan material longsor, yang selanjutnya memicu banjir bandang (Wilopo, 2021)

Banjir membawa material debris seperti pasir/lumpur dan bahan rombakan akibat erosi dan longoran di bagian hulu sepanjang alur sungai yang menyebabkan dampak kerusakan infrastruktur permukiman, bangunan publik serta korban harta. Wilayah yang terkena banjir mayoritas berada pada sisi timur Gunung Muria (**Error! Reference source not found.**). Lokasi yang terdampak banjir dapat dilihat dalam Tabel 1.



Gambar 1 Rumah warga rusak akibat banjir bandang

Tabel 1 Rekap Kejadian Bencana 14 Juli 2022

NO	Desa	Kecamatan	Kabupaten	Nama Sungai Lokal	Nama Sungai PERMEN-PU	DAS	Koordinat	Kejadian
1	Bulumanis	Margoyoso	Pati	Suwatu	Suwatu	Suwatu (DAS No.32)	6°36'37.19"S, 111°3'34.99"E	Tanggul Jebol
2	Tunjungrejo	Margoyoso	Pati	Sat	Sat	Sat (DAS No.37)	6°35'46.63"S, 111°4'22.90"E	Tanggul Jebol
3	Margorejo	Wedarijaksa	Pati	Bapoh	Bapoh	Juwana (DAS No.43)	6°42'40.09"S, 111°3'59.90"E	Tanggul Jebol
4	Ngurenrejo	Wedarijaksa	Pati	Gungwedi	Gungwedi	Gungwedi (DAS No.42)	6°41'44.98"S, 111°5'27.88"E	Tanggul Jebol
5	Tlutup	Trangkil	Pati	Golan	Suwaduk	Suwaduk (DAS No.41)	6°38'58.45"S, 111°5'28.69"E	Tanggul Jebol

Sumber: Paparan BBWS Pemali Juana

Metodologi Studi

1. Pengumpulan data dengan dua metode yaitu data sekunder didapat dari instansi terkait, yaitu peta topografi, peta daerah banjir, dan penutup lahan. Data primer diperoleh langsung di lapangan, berupa kondisi dan lokasi bencana, luas penampang sungai, serta kerusakan infrastruktur.
2. Data primer dan sekunder berfungsi untuk identifikasi dan pemodelan banjir bandang. Hasil dari pengolahan data inidijadikan dasar sebagai rekomendasi untuk perencanaan perbaikan dan pecegahan bencana banjir bandang.
3. Dilakukan survei penelusuran kondisi banjir bandang dari hulu hingga ke hilir.
4. Dilakukan penyusunan peta lereng dan peta ketinggian diperoleh dari peta topografi.
5. Dilakukan penyusunan peta penutupan lahan dilihat dari peta RBI.
6. Dilakukan analisis kondisi Sungai berdasar data penampang sungai dan peta topografi. Analisis yang dilakukan antara lain dengan analisis pembagian zonasi, analisis geologi dan analisis debit dengan metode HSS Nakayasu.
7. Penyusunan rekomendasi penanggulangan banjir bandang untuk mencegah berulangnya bencana, baik penanganan secara struktural maupun non-struktural.

Hasil Studi dan Pembahasan

1. Kondisi daerah hulu

a. Kondisi sungai

Kondisi sungai di daerah hulu mayoritas mengalami erosi vertikal berlangsung intensif, sehingga mempunyai tebing sungai yang terjal. Sungai bermeander terbentuk oleh adanya pergerakan menyamping akibat arus sungai terhadap formasi batuan. Arus yang berbelok-belok juga akan terjadi pada setiap sungai, terjadinya endapan setempat-setempat yang selanjutnya dalam perkembangannya dapat terbentuk meander. Kejadian longsor pada tebing sungai, yang materialnya terbawa banjir menyebabkan material tersangkut pada jembatan.

b. Penggunaan lahan

Penggunaan lahan di daerah hulu mayoritas berupa perkebunan singkong. Lahan kebun singkong yang dilakukan dengan proses penggemburan lahan mengakibatkan erosi lahan menjadi tinggi. Penggunaan lahan merupakan pencerminan hubungan antara alam/lahan dengan manusia dalam kegiatannya. Apabila jumlah manusia sedikit dibanding luas wilayah/kawasan, maka dapat diartikan bahwa penggunaan lahan belum banyak bervariasi akibat terbatasnya jenis kegiatan yang dilakukan. Pola pemanfaatan ruang merupakan suatu bentuk dari segala aktivitas yang saat ini dilakukan oleh masyarakat di atas suatu lahan. Aktivitas tersebut selanjutnya dikelompokkan dalam suatu guna lahan yang merupakan dominasi dari pemanfaatan ruang yang ada.

c. Banyak titik longsor

Faktor berupa potensi gerakan tanah yang tinggi dan pembukaan lahan perkebunan baru dan lahan pertanian di sekitar dan sepanjang aliran sungai di bagian hulu (Gambar 2 dan Gambar 3).



Gambar 2 Detail longsor



Gambar 3 Situasi hulu Gunungsari dan longsor yang terjadi.

2. Kondisi Hilir (Zona Sedimentasi)

a. Penyempitan sungai di hilir (*bottleneck*)

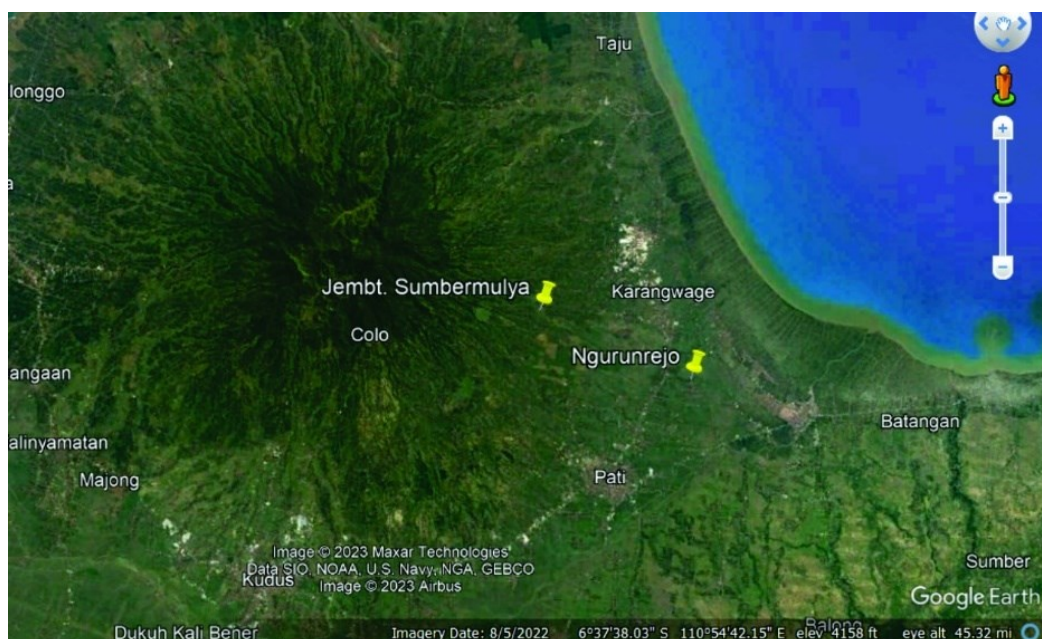
Secara keseluruhan, pada titik survei yang ditinjau mengalami penyempitan pada penampang basah sungai serta terjadi sedimentasi berupa sampah dan tumpukan kayu. Sehingga banyak terjadi penyumbatan serta limpasan air.

Perbandingan kondisi dua lokasi hulu dan hilir Sungai Silingonggo. Hulu berada di jembatan sumbermulya, Desa Lahar, Kecamatan Tlogowungu pada koordinat 6,653475oS dan 110,997600oE. Pada lokasi ini penampang sungai mempunyai lebar pada kisaran 13m, kedalaman kisaran 8m. sementara pada lokasi hilir yaitu di Desa Ngurenrejo pada titik koordinat 6.69307oS, 111.08406OE mempunyai lebar kisaran 8m, kedalaman 4m, dan dinding sungai sungai berupa tanggul. Kondisi tanggul ini akan rawan jebol apabila sungai meluap. Dengan kondisi ini dimana di daerah hulu mempunyai penampang sungai yang lebih besar (fenomena bottleneck)

maka bila terjadi hujan dengan curah hujan tinggi di hulu maka akan rawan terjadi limpasan banjir di daerah hilir.

b. Tanggul Sungai

Di daerah hilir hamper semua sungai dinding/tebing sungai berupa tanggul. Pada beberapa titik survei tanggul mengalami keruntuhan akibat luapan air sungai. Tim berhasil melakukan survey ke empat tanggul yaitu Tanggul Bulumanis, Tanggul Ngurenrejo, Tanggul Margorejo dan Tanggul Tunjungrejo (Gambar 4). Dikarenakan intensitas hujan yang tinggi (147,5 mm/hari) yang tercatat pada pos curah hujan Rahtawu di daerah hulu, maka terjadi limpahan pada area hilir. Banyaknya sampah, baik sampah rumah tangga maupun pohon yang hanyut akibat longsoran hulu dan sepanjang tebing sungai sehingga menyumbat saluran air (Gambar 5).



Gambar 4 Lokasi survey



Gambar 5 Lokasi survey yang terjadi sedimentasi dan penumpukan sampah

Pada tanggul Tunjungrejo, terjadi penyumbatan pada awal tikungan sungai yang diakibatkan sampah. Selanjutnya terjadi genangan air yang diperkirakan melimpas dan melewati tanggul (overtopping). Aliran ini menyebabkan tanggul menjadi jebol.

Pada tanggul Bulumanis lokasi koordinat Lat -6.61032° Long 111.07815° , juga terjadi keruntuhan. Posisi tanggul Bulumanis yang jebol terletak pada bagian luar tikungan. Di titik survei ditemukan penurunan fungsi akibat kesalahan penggunaan yaitu digunakan untuk penanaman pohon dan dilubangi untuk saluran air rumah tangga, selain itu banyak ditemukan lubang rumah tikus.

Pada tanggul Tunjungrejo lokasi koordinat Lat -6.5966° Long 111.07296° , juga terjadi keruntuhan. Posisi tanggul Tunjungrejo yang jebol terletak pada bagian luar tikungan (Gambar 6). Diduga pemicu jebolnya tanggul sunagi, karena ada pohon tumbang yang menyumbat pada aliran sungai sehingga air Sungai meluap.

Pada tanggul Ngurenrejo juga terjadi keruntuhan. Banyaknya sampah di intake tanggul dan diakibatkan volume air yang besar sehingga menyebabkan tanggul terdorong dan bergeser ke perkebunan debu. Diduga tanggul sebelumnya sudah terjadi gerusan pada pondasinya, sehingga kehilangan daya dukung dan mudah mengalami keruntuhan.



Gambar 6 Posisi Tanggul berada di tikungan luar

Tanggul Margorejo juga mengalami keruntuhan. Tanggul ini murni terbuat dari tanah sehingga cenderung kurang kuat dalam menghadapi overtopping. Ketika terjadi banjir, tanggul mengalami overtopping, sehingga terjadi penggerusan tanah pada sisi luar tanggul sehingga tanggul kehilangan daya dukung dan mengalami keruntuhan.

Selain itu juga terjadi pendangkalan sungai akibat sedimen layang yang berasal dari runoff di hulu. Tinggi tebing sungai alami tanpa tambahan tanggul sangat rendah yaitu hanya sekitar 1 meter.

Analisis dan Pembahasan

1. Pembagian zonasi

Dari data Digital Elevation Model, diolah menjadi penampang memanjang dan didapatkan 3 zonasi yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Penampang memanjang Sungai Sat

Dari penampang memanjang sungai Sat didapatkan bahwa kemiringan zona produksi adalah $7,53^\circ$, zona transportasi $1,62^\circ$ dan zona sedimentasi $0,43^\circ$.

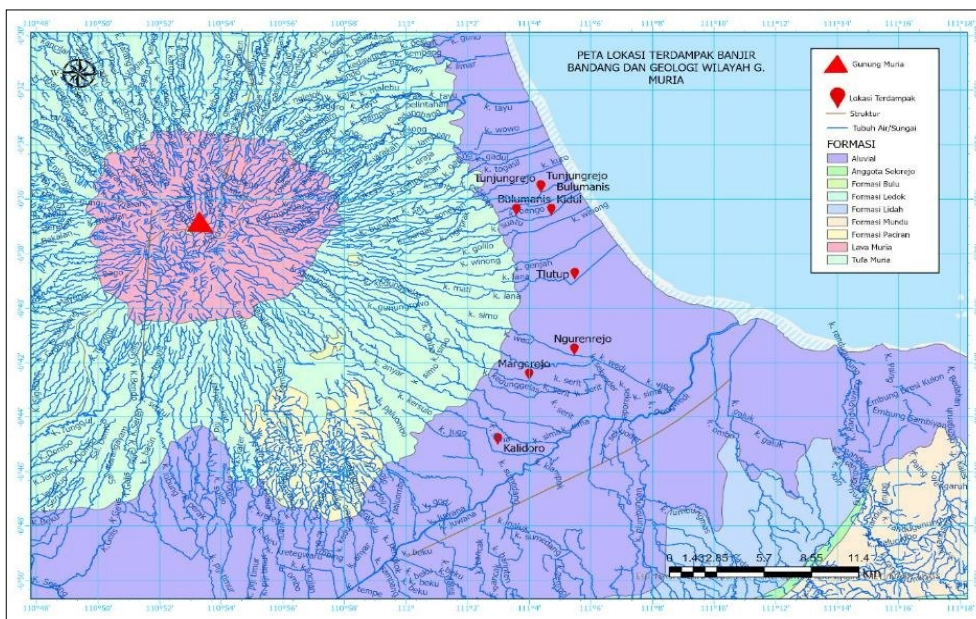
2. Analisis Geologi

Bencana Alam adalah peristiwa atau serangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan/penghidupan masyarakat, sehingga mengakibatkan kerugian materi dan non-materi. Potensi bencana di daerah kajian terutama banjir dan longsor. Potensi longsor tinggi terjadi karena kondisi tanah yang dan gembur. Perlindungan terhadap kawasan rawan bencana alam dilakukan untuk melindungi manusia dan kegiatannya dari bencana yang disebabkan oleh alam maupun karena perbuatan manusia. Kawasan rawan bencana alam di lokasi kajian terutama terjadi di wilayah Intensitas Hujan Tinggi.

Wilayah hulu banjir bandang yang merupakan lereng Gunung Muria didominasi oleh Batu lava muria dan tufa muria. Batuannya telah mengalami lapuk lanjut dengan ketebalan tanah berkisar 2-5 meter, kondisi ini mengakibatkan rawan terjadi erosi lateral, serta pada lokasi-lokasi yang lerengnya terjal maka akan rawan terjadi longsor. Pada beberapa tebing sungai berupa batu breksi.

Geologi Umum Gunung Muria Komplek Gunung Muria terletak di Semenanjung Muria, yang termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Jepara, Kudus dan Pati, Provinsi Jawa Tengah. Komplek ini berasosiasi dengan Gunung Muria yang tidak aktif dan terpotong, yang dihasilkan dari busur kepulauan, sesar Jawa Tengah terutama di daerah Rembang.

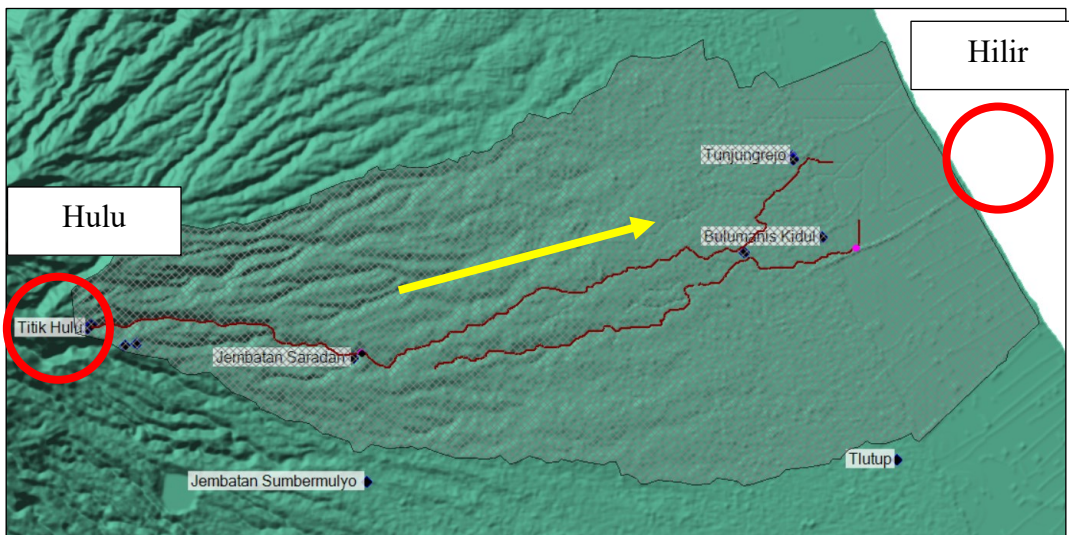
Topografi daerah puncak Gunung Muria sangat kasar dan terdapat 4 daerah depresi yang mencerminkan adanya bentuk kawah-kawah gunungapi, yang diduga merupakan sisa-sisa kawah gunungapi masa lalu dari aktivitas Gunung Muria. Erupsi ini menghasilkan endapan piroklastik aliran dan jatuhan, aliran lava, kubah, lahar dan endapan fluvial (Gambar 8).



Gambar 8 Titik lokasi terdampak banjir bandang pada peta geologi wilayah Gunung Muria

3. Analisis Hidrolika

- a. Input Data Geometri. Data geometri berdasarkan pada Digital Elevation Model daerah Pati, Jawa Tengah yang didapatkan dari DEMNAS. Gambar 23 menunjukkan DEM yang mencakup area analisis. Area analisis dan gambar aliran Sungai tersaji pada Gambar 9.



Gambar 9 Batas Area Analisis dan Aliran Sungai

- b. Debit. Analisis dilakukan dengan menggunakan 3 plan variasi debit puncak kondisi eksisting yang disesuaikan dengan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, yaitu debit $100\text{ m}^3/\text{s}$ (kala ulang 2 tahun), $200\text{ m}^3/\text{s}$ (kala ulang 25 tahun), dan $300\text{ m}^3/\text{s}$ (kala ulang 200 tahun).

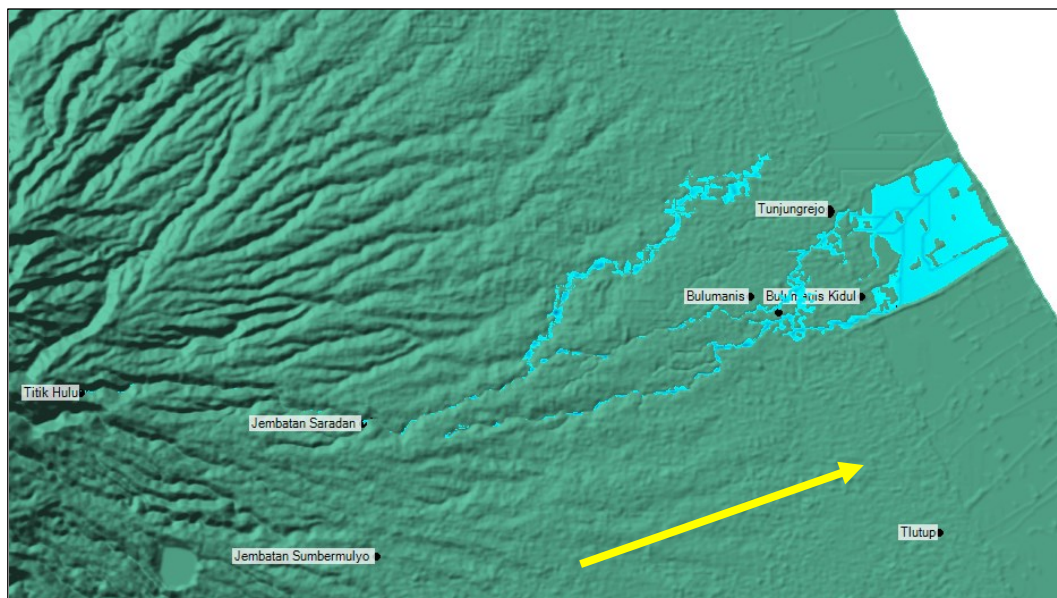
c. Parameter Geometri. Dalam pembuatan model analisis, digunakan parameter geometri sebagai berikut:

- Friction Slope : 0.07
- EG Slope : 0.34
- Cv : 54%
- Max Cv : 80%

Dalam analisis, koefisien pengaliran kondisi eksisting adalah 50% untuk 2 tahun, 61% untuk 25 tahun dan 70% untuk 200 tahun.

4. Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Simulasi debit kala ulang 2 tahunan berdasarkan hasil simulasi plan 1 dengan koefisien pengaliran (C) 0.50 dan debit puncak 105,91 m³/s didapatkan daerah terdampak banjir seperti gambar Gambar 10.



Gambar 10 Hasil Simulasi Debit Kala Ulang 2 Tahunan

Total luas area yang tergenang akibat aliran dengan debit kala ulang 2 tahunan adalah 655 ha. Dengan kedalaman air rata-rata 3,25 m.

5. Rekomendasi Tindakan Penanganan Permanen

Secara umum bencana banjir bandang Pati tanggal 13 Juli disebabkan banyak faktor yaitu faktor alam dan faktor non alam. Untuk penanganan banjir bandang yang tuntas dan tidak berulang memerlukan kajian yang lebih mendalam dengan teknologi sabo sebagai tindak lanjut. Bangunan penahan sedimen sabodam merupakan salah satu bangunan pengendali sedimen yang berfungsi menampung dan mengendalikan sedimen di sungai serta menahan sedimen di hulu bangunan. Selain itu, sabodam juga berfungsi untuk mengendalikan stabilitas morfologi sungai (Ditjen SDA, 2012). Sabodam tipe celah (slit sabo) tunggal atau celah ganda, merupakan bangunan yang efektif dalam mitigasi jangka pendek terhadap aliran debris atau banjir bandang. (M. Silva et al., 2016). Akibat terjadinya longsor akan

memicu aliran debris yang mengangkut sejumlah material. Ketersediaan material sedimen hasil runtuhnya bendung alam lereng Desa Poi dapat memicu kejadian berikutnya (Azmeri, dkk. 2017). Gempa bumi tektonik dangkal dan longsor merupakan jenis suplai sumber sedimen, dengan kata lain, suatu saat gempa serupa akan berulang (Suardiari dkk., 2019). Metode penanganan bencana ini dibagi dalam tiga zonasi, sebagai berikut :

1. Zona Produksi :
 - a) Pengembalian Fungsi Hutan (tanaman keras) dan dikombinasikan dengan pengendalian tanaman ubi jalar agar dapat mengurangi erosi tanah yang terjadi
 - b) Peningkatan sistem peringatan dini banjir, antara lain pemasangan alat pencatat water level dan sinkronisasi alat pencatat curah hujan
2. Zona Transportasi :
 - a) Pembuatan Embung/Kolam Retensi/Waduk untuk memperlambat kecepatan aliran sekaligus menampung volume air yang berlebih
 - b) Pembangunan Checkdam (Sabodam) yang berfungsi sebagai penstabil dasar sungai, menampung sedimen dan mengurangi kecepatan aliran
3. Zona Sedimentasi:
 - a) Pemeliharaan dan perbaikan tanggul irigasi akibat limpasan banjir dan hilangnya daya dukung tanah dibelakang tanggul
 - b) Normalisasi sungai dilakukan dengan memperlebar dan memperdalam sungai untuk meningkatkan kapasitas sungai, karena penampang basah sungai yang berkurang karena sampah, batang kayu dan sedimentasi

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Banjir bandang melanda kawasan permukiman maupun persawahan di Pati dipicu hujan lebat sehari sebelumnya mencapai 90 mm/ hari. Berdasarkan survei secara langsung di lapangan pada titik-titik terdampak banjir bandang terdapat beberapa hal yang perlu menjadi perhatian. Kejadian longsor di daerah hulu menyebabkan banyak material tersangkut pada pilar-pilar jembatan. Dari sisi geologi, wilayah hulu banjir bandang merupakan lereng Gunung Muria dan tufa Muria yang rawan terjadi erosi lateral. Kombinasi antara potensi gerakan tanah yang tinggi dan penggunaan lahan sebagai lahan perkebunan tersebut menyebabkan banyaknya titik-titik longsor. Pada titik hilir, titik-titik survei yang ditinjau mengalami penyempitan penampang basah sungai (*bottleneck*) serta terjadi sedimentasi berupa sampah dan tumpukan kayu yang menyumbat saluran dan menyebabkan limpasan air. Penyumbatan yang terjadi pada daerah dengan tanggul memicu fenomena overtopping, kondisi tanggul yang kondisinya kritis kemudian jebol akibat fenomena tersebut. Didukung dengan hasil analisis debit menggunakan HSS Nakayasu, dapat disimpulkan bahwa daerah yang telah disurvei berpotensi banjir secara berulang apabila tidak ada penanganan yang komprehensif dari zona produksi, zona transportasi sampai zona sedimentasi. Perpindahan air dari hulu ke hilir terjadi dengan cepat, sementara dimensi saluran pada bagian hilir yang mengecil tidak cukup untuk menampung aliran (*bottleneck*). Hal tersebut

dibuktikan dengan grafik debit aliran dan adanya genangan di beberapa tempat di bagian hilir. Selain itu, sumbatan sampah menurunkan performa saluran untuk mengalirkan air dan memperparah kondisi banjir.

Saran

Sebagai salah satu upaya mitigasi bencana sedimen, perlu dilakukan penanganan struktural dengan pengendalian aliran debris, yang berfungsi untuk menurunkan jumlah angkutan sedimen pada sungai itu sendiri. Pencegahan atau penurunan laju sedimentasi di daerah hulu dapat dilakukan dengan reboisasi dan penghijauan serta bangunan fisik untuk konservasi lahan. Bangunan tersebut diharapkan akan menangkap sedimen dan mengendapkannya pada daerah tampungan. Untuk penanganan bencana fenomena *bottleneck* di pada banjir Pati direkomendasikan menjadi tiga tahapan tergantung dari zonasi yang ada yaitu zona produksi, zona transportasi, dan zona sedimentasi.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Teknik Sabo atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan kajian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di Balai Teknik Sabo atas bantuan dan dukungan dalam melakukan kajian ini. Tidak lupa disampaikan apresiasi kepada warga masyarakat yang sangat kooperatif dan mendukung terlaksananya penelitian ini

Daftar Referensi

- Adi, S., & Thamrin, J. M. H. (2013). Characterization of flash flood disaster in Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 15(1), 42–51.
- Angillieri E., 2013, Debris flow susceptibility mapping in a portion of the Andes and Preandes of San Juan, Argentina using frequency ratio and logistic regression models, *Earth Science Research Journal*. Vol. 17, No. 2 (December, 2013): 159 – 167
- Azmeri, Fatimah, E., Herawati, H., Sundary, D., Isa, A. H. (2017). Analisis Spasial Risiko Banjir Bandang Akibat Keruntuhan Bendungan Alami pada DAS Krueng Teungku, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 24(3). DOI: 10.5614/jts.2017.24.3.6
- Canelli, L., Ferrero, A. M., Migliazza, M., and Segalini, A.: Bandang flow risk mitigation by the means of rigid and flexible barriers –experimental tests and impact analysis, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1693–1699, doi:10.5194/nhess-12-1693-2012, 2012.
- Ditjen SDA, JICA., 2012, Petunjuk Tindakandan Mitigasi Banjir Bandang, Direktorat Jenderal SDA, Jakarta
- Franzi L., Arattano M., Arai M., and Katz O., 2013, Overview: Documentation and monitoring of landslides and bandang flows for mathematical modelling and design of mitigation measures – outcomes of the EGU 2011, NH session *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2013–2016, 2013 Floris, M., D’Alpaos, A., De Agostini, A., Stevan, G., Tessari, G., and Genevois, R.: A process-based model for the definition of hydrological alert systems in landslide risk

- mitigation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3343–3357, doi:10.5194/nhess-12-3343-2012, 2012.
- Franzi L., Arattano M., Arai M., and Katz O., 2013, Overview: Documentation and monitoring of landslides and bandang flows for mathematical modelling and design of mitigation measures – outcomes of the EGU 2011, NH session *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2013–2016, 2013
- Iswardoyo, J. dan Satria, H., 2023, “Analisis Daerah Terdampak Banjir Bandang Menggunakan HEC-RAS 2 Dimensi Di Sungai Sat, Kabupaten Pati, Jawa Tengah”, *Jurnal Teknik Hidraulika Vol.14 No.1 Juni 2023*
- Kim, N. (2015). Numerical Study on Debris-Flow Behavior. A dissertation of Doctoral Degree in Civil and Earth Resources Engineering, Disaster Prevention Research Institute, River Disaster Prevention Systems Laboratory, Department of Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto University, Japan
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan, *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota Vol 24/No.3 Desember 2013*
- Sahara, F., Istijono, B., & Sunaryo. (2013). Identifikasi Kerusakan Akibat Banjir Bandang di Bagian Hulu Sub Daerah Banjir Sungai (DAS) Limau Manis. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(2), 72–81.
- Skilodimou, H.D.; Bathrellos, G.D.; Koskeridou, E.; Soukis, K.; Rozos, D. Physical and Anthropogenic Factors Related to Landslide Activity in the Northern Peloponnese, Greece. *Land* 2018, 7, 85. [CrossRef]
- Silva, M., Costa, S., Canelas, R.B., Pinheiro, A.N., & Cardoso, A.H. (2016). Experimental and Numerical Study of Slit-Check Dams. *International Journal for Sustainable Development and Planning*. Vol. 11, No. 2 (2016) 107–118. DOI:10.2495/SDP-V11-N2-107-118
- Suardiari, G., Supardi, & Mulyono, J. (2019). Kerusakan dan Perilaku Bendungan Hasil Inspeksi Luar Biasa Akibat Gempa Lombok. *Jurnal Infrastruktur*, 5(01). p-ISSN 2527-497X, e-ISSN 2580-4448.
- Wilopo W., 2021, The Mechanism of Landslide-Induced Debris Flow In Geothermal Area, Bukit Barisan Mountains Of Sumatra, Indonesia, *Journal of Applied Engineering Science Vol. 19 No. 3 (2021)*