

PENGAMANAN LINGKUNGAN HIDUP PEMULIHAN BANJIR DI DAERAH TANGKAPAN AIR BARABAI

Dr. Hanif Faisol Nurofiq, S.Hut., M.P
Erik Teguh Primiantoro, S.Hut., M.E.S.
Dr. Phil Hendricus Andy Simarmata, S.T., M.Si.
Prof. Dr. Ir. H. Syarifuddin Kadir, M.Si.
Hanifah Dwi Nirwana, ST, MT
Sasmita Nugraha, SE
Hendaryanto, S.T., M.Si
Nala Hutasoit, S. Si., M. Si
Dr. Ichsan Ridwan, S.Si,M.Kom
Dr. Rr. Dwinanti Rika Marthanty, ST, MT
Krisna Kumar, ST., M.Si

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014
TENTANG HAK CIPTA

PASAL 113
KETENTUAN PIDANA
SANKSI PELANGGARAN

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Dr. Hanif Faisol Nurofiq, S.Hut., M.P
Erik Teguh Primiantoro, S.Hut., M.E.S.
Dr. Phil Hendricus Andy Simarmata, S.T., M.Si.
Prof. Dr. Ir. H. Syarifuddin Kadir, M.Si.
Hanifah Dwi Nirwana, ST, MT
Sasmita Nugraha, SE
Hendaryanto, S.T., M.Si
Nala Hutasoit, S. Si., M. Si
Dr. Ichsan Ridwan, S.Si,M.Kom
Dr. Rr. Dwinanti Rika Marthanty, ST, MT
Krisna Kumar, ST., M.Si

PENGAMANAN LINGKUNGAN HIDUP PEMULIHAN BANJIR DI DAERAH TANGKAPAN AIR BARABAI



Pengamanan Lingkungan Hidup Pemulihan Banjir di Daerah Tangkapan Air Barabai

*Diterbitkan pertama kali dalam bahasa Indonesia
oleh Penerbit Global Aksara Pers*

ISBN: **978-623-462-181-5**

xiv + 120 hal; 14,8 x 21 cm

Cetakan Pertama, November 2022

copyright © November 2022 Global Aksara Pers

Penulis :

Dr. Hanif Faisol Nurofiq, S.Hut., M.P

Dr. Phil Hendricus Andy Simarmata, S.T., M.Si.

Hanifah Dwi Nirwana, ST, MT

Hendaryanto, S.T., M.Si

Dr. Ichsan Ridwan, S.Si,M.Kom

Krisna Kumar, ST., M.Si

Erik Teguh Primiantoro, S.Hut., M.E.S.

Prof. Dr. Ir. H. Syarifuddin Kadir, M.Si.

Sasmita Nugraha, SE

Nala Hutasoit, S. Si., M. Si

Dr. Rr. Dwinanti Rika Marthanty, ST, MT

Penyunting : Prof. Dr. Ir. H. Syarifuddin Kadir, M.Si.

Desain Sampul : Arum Nur Laili

Layouter : Ilil Ni'matul M

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dengan bentuk dan cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit.

Diterbitkan oleh:



CV. Global Aksara Pers

Anggota IKAPI, Jawa Timur, 2021,

No. 282/JTI/2021

Jl. Wonocolo Utara V/18 Surabaya

+628977416123/+628573269334

globalaksarapers@gmail.com

Kata Pengantar

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang dengan restuNya maka kami dapat merampungkan Buku **“Pengamanan Lingkungan Hidup Pemulihan Banjir Di Daerah Tangkapan Air Barabai Provinsi Kalimantan Selatan”** Kajian ini merupakan bagian dari kajian komprehensif dengan pendekatan multiskala pada DAS Barito Kalsel. Untuk skala Daerah Tangkapan Air kita akan fokus pada kelompok tutupan lahan serta ekosistem besar sepanjang DTA Barabai pada wilayah administrasi Provinsi Kalimantan Selatan.

Kajian ini dilakukan oleh Direktorat Pencegahan Dampak Lingkungan Kebijakan Wilayah dan Sektor, Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan. Pada kajian ini dilakukan permodelan dan serangkaian analisis berdasarkan data time series selama 20 tahun sehingga dapat menangkap dinamika DAS Barito Kalsel dan kaitannya dengan dampak banjir pada awal Januari 2021. Selama 20 tahun terjadi perubahan dalam tutupan lahan, jasa lingkungan yang pada akhirnya mempengaruhi kemampuan sungai Barito dalam mengalirkan air. Banjir juga dilihat secara kewenangan tata kelola mulai dari daerah otonom Desa, Kabupaten/Kota, Provinsi dan Nasional. Untuk desa terdampak banjir juga dilihat status desa untuk merumuskan rekomendasi sebagai respons terhadap banjir.

Diharapkan kajian ini dapat terintegrasi dengan dokumen perencanaan lainnya seperti Kajian Lingkungan Hidup Strategis, Rencana Pembangunan Menengah Daerah (KLHS RPJMD) Kalimantan Selatan juga Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Kalimantan Selatan. Beberapa rekomendasi hasil kajian ini adalah tindakan vegetatif, upaya sipil teknis, pemberdayaan masyarakat dan kebijakan lainnya. Rekomendasi tersebut disertai dengan pedoman integrasinya dalam bagian di KLHS RPJMD dan RTRW Provinsi Kalimantan Selatan sehingga dapat menjadi contoh pengintegrasian kajian serupa yang disusun oleh daerah lain.

Kepada Tim Pengarah, Tim Pakar, Narasumber, Tim Penyusun, Tim Pengumpul data dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya Buku ini disampaikan ucapan terima kasih.

Tulisan ini belumlah sempurna, namun, disusun dengan upaya maksimal untuk lebih teliti, walaupun demikian jika masih terdapat kekurangan, maka segala komentar, karenanya, demi penyempurnaannya akan diterima dengan senang.

Semoga buku ini dapat bermanfaat untuk dosen, mahasiswa, peneliti, serta praktisi kehutanan dan lingkungan hidup yang ingin mengetahui tentang **Pengamanan Lingkungan Hidup Pemulihan Banjir Di Daerah Tangkapan Air Barabai.**

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xii

BAB - I

Mengenal Daerah Tangkapan Air (DTA)	1
1.1 Telaah Masalah Banjir	1
1.2 Arah dan Tujuan Daerah Tangkapan Air	4
1.3 Visi Misi Kajian Daerah Tangkapan Air	4
1.4 Ruang Lingkup Wilayah Studi Daerah Tangkapan Air	5
1.5 Ruang Lingkup Substansi	5
1.6 Metode Kajian Daerah Tangkapan Air	6
1.6.1 Metode Survey	6
1.6.2 Metode Analisis	18
1.7 Sistematika Penulisan	21

BAB - II

Profil Daerah Tangkapan Air (DTA) Barabai	22
2.1 Hidrometri Sungai	22
2.2 Luasan Banjir	30
2.3 Tutupan Lahan	32
2.4 Sosial dan Ekonomi Terdampak	34
2.5 Formasi Ekoregion	36

BAB - III

Permodelan Aliran Banjir	38
3.1 Konsep Pengendalian Banjir	38

3.2	Siklus Hidrologi dan Fenomena Banjir	38
3.2.1	Neraca Air	39
3.2.2	Kuantifikasi Aliran	41
3.2.3	Banjir Sebagai Peristiwa Alamiah dan Bencana.....	42
3.3	Mitigasi Bencana Banjir.....	43
3.3.1	Siklus Bencana.....	44
3.3.2	Manajemen Bencana Banjir	45
3.4	Permodelan Aliran Banjir	50
3.4.1	Persiapan Model.....	51
3.4.2	Persiapan Input HEC-RAS	54
3.4.3	Persiapan Input GITBoLA.....	62
3.4.4	Proses Running Aplikasi.....	67
3.4.5	Permodelan Genangan Banjir	68
3.5	Analisis Hasil	71
3.5.1	Pemilihan Skenario Intervensi dan Kondisi	71
3.5.2	Pengendalian Genangan Banjir.....	74

BAB - IV

Rekomendasi Daerah Tangkapan Air (DTA) Barabai79

4.1	Tindakan Vegetatif	79
4.1.1	Restorasi hutan	80
4.1.2	Penanaman Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air pada Lahan Pertanian dan Perkebunan	82
4.1.3	Penambahan Vegetasi dan Penguatan Infrastruktur Air pada Permukiman.....	85
4.1.4	Reklamasi Pasca Tambang dan Dihutankan Kembali.....	87
4.2	Intervensi Sipil Teknis	90
4.2.1	Rekomendasi Hasil Permodelan Banjir HEC- RAS	91
4.2.2	Rekomendasi Pengendalian Banjir dengan Intervensi Sipil Teknis.....	102
4.2.3	Rekomendasi Hasil Permodelan Potensi Lokasi <i>Nature Based Solution</i> dengan GITBoLA.....	102

4.3	Implementasi Kebijakan dan Peraturan-Peraturan dan RPJMDes.....	113
4.3.1	Input Kebijakan Peraturan atau Peraturan Daerah	114
4.3.2	Dukungan Penguatan Kajian Lingkungan Hidup Strategis Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (KLHS RPJMD) Provinsi Kalimantan Selatan.....	117
Daftar Referensi.....		120

Daftar Tabel

Tabel 1-1 Kondisi Curah Hujan di DTA Barabai.....	3
Tabel 1-2 Peralatan yang Digunakan untuk Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah	14
Tabel 2-1 Hasil Survey Hidrometri Barabai A.....	24
Tabel 2-2 Hasil Survey Hidrometri Barabai B.....	25
Tabel 2-3 Hasil Survey Hidrometri Barabai C	26
Tabel 2-4 Hasil Survey Hidrometri Barabai D	27
Tabel 2-5 Hasil Survey Hidrometri Barabai D	28
Tabel 2-6 Debit Rata-rata Sungai Di DTA Barabai.....	29
Tabel 2-7 Luas Area Desa di DTA Barabai Yang Terdampak Banjir Hasil Pemodelan	31
Tabel 2-8 Penutupan Lahan Tahun 2000 & 2020 di DTA Barabai	33
Tabel 2-9 Penutupan Lahan di DTA Barabai Yang Terdampak Banjir Hasil Pemodelan	35
Tabel 2-10 Formasi Ekoregion di DTA Barabai.....	37
Tabel 3-1 Perbandingan Pendekatan Langrangian dan Eulerian.....	41
Tabel 3-2 Kegiatan Manajemen Bencana dalam Siklus Bencana Banjir	46
Tabel 3-3 Variabel Kesesuaian Teknologi Green Infrastructure	54
Tabel 3-4 Kebutuhan Data GITBoLA.....	62
Tabel 3-5 Luas Genangan Masing-Masing DTA untuk Skenario Hujan 2 Tahunan.....	76
Tabel 3-6 Luas Genangan Masing-Masing DTA untuk Skenario Hujan 50 Tahunan.....	76
Tabel 3-7 Luas Genangan Masing-Masing DTA untuk Skenario Hujan Ekstrim (11 – 18 Januari 2021).....	77

Tabel 3-8 Durasi banjir untuk Masing-Masing Skenario Spasial dan Kejadian Hujan	77
Tabel 4-1 Rekomendasi Restorasi Hutan di DTA Barabai	81
Tabel 4-2 Pemangku Kepentingan yang Terlibat pada Tindakan Restorasi Hutan di DTA Barabai	82
Tabel 4-3 Rekomendasi Penanaman Pohon dan Infrastruktur Air di DTA Barabai	83
Tabel 4-4 Rekomendasi Penanaman Pohon dan Infrastruktur Air di DTA Barabai	86
Tabel 4-5 Rekomendasi Reklamasi Pasca Tambang dan Dihutankan Kembali di DTA Barabai	89
Tabel 4-7 Rekomendasi Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan di DTA Barabai	92
Tabel 4-8 Hasil Simulasi Banjir Hujan 11-18 Januari 2021	96
Tabel 4-9 Rekomendasi Gully Plug/DAM Penahan di DTA Barabai	98
Tabel 4-10 Perhitungan dalam Pembuatan Rekomendasi Sipil Teknis di DTA Riam Kiwa	101
Tabel 4-11 Rekomendasi Pembuatan Sistem Bioretensi di DTA Barabai.....	105
Tabel 4-12 Rekomendasi Pembuatan Constructed Wetlands di DTA Barabai.....	108
Tabel 4-13 Rekomendasi Pembuatan Infiltration Trench di DTA Barabai.....	112
Tabel 4-14 Pola Ruang Kabupaten Hulu Sungai Tengah Terhadap Tindakan Vegetatif di DTA Barabai	115
Tabel 4-15 Pola Ruang Kabupaten Balangan Terhadap Tindakan Vegetatif di DTA Barabai.....	117
Tabel 4-16 Masukan terhadap KLHS RPJMD Kalimantan Selatan	118

Daftar Gambar

Gambar 1-1 Peta Ruang Lingkup Wilayah Studi.....	5
Gambar 1-2 Peta DTA Barabai	7
Gambar 1-3 Distance Meter dan Roll Meter.....	8
Gambar 1-4 Pengukuran Lebar Sungai dengan Roll Meter.....	9
Gambar 1-5 Pengukuran Kedalaman Sungai dengan Tali yang Diikatkan Beban.....	10
Gambar 1-6 Pengukuran Kecepatan Arus Sungai dengan Current Meter.....	11
Gambar 1-7 Contoh Hasil Pengukuran Hidrometri Sungai	12
Gambar 1-8 Titik Lokasi Pengukuran Rencana	13
Gambar 1-9 Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah	15
Gambar 1-10 Pengisian Air pada Infiltrometer	16
Gambar 1-11 Persamaan Laju Infiltrasi.....	17
Gambar 1-12 Grafik Laju Infiltrasi dan Infiltrasi Kumulatif.....	18
Gambar 1-13 Kerangka Kerja Pemodelan Banjir	19
Gambar 1-14 Data input dalam permodelan banjir (penggunaan lahan, soil map dan demnas).....	20
Gambar 1-15 Koreksi terhadap DEMNAS BIG dengan Spatial Resolusi 8,3 M.....	20
Gambar 2-1 Peta Lokasi Survey Hidrometri di DTA Barabai	23
Gambar 2-2 Penampang Melintang dan Debit Barabai A.....	25
Gambar 2-3 Penampang Melintang dan Debit Barabai B.....	26
Gambar 2-4 Penampang Melintang dan Debit Barabai C.....	27
Gambar 2-5 Penampang Melintang dan Debit Barabai D.....	28
Gambar 2-6 Penampang Melintang dan Debit Barabai E.....	29
Gambar 2-7 Peta Pemodelan Banjir Januari 2021 di DTA Barabai	30
Gambar 2-8 Penutupan Lahan di DTA Barabai	33
Gambar 3-1 Siklus Hidrologi.....	39

Gambar 3-2 Internal Renewable Water Resources (IRWR) per Tahun 2012	39
Gambar 3-3 Banjir sebagai Peristiwa Alamiah dan Bencana	42
Gambar 3-4 Siklus Bencana	44
Gambar 3-5 Manajemen Bencana	45
Gambar 3-6 Metode Memperbesar Cross Section Sungai.....	48
Gambar 3-7 Fasilitas Detensi/Retensi	49
Gambar 3-8 Komponen dalam Siklus Hidrologi.....	50
Gambar 3-9 Kebutuhan data dan Proses untuk HEC-RAS	55
Gambar 3-10 Prosedur Perbaikan DEM Secara Umum.....	59
Gambar 3-11 Gambar Land Use Barabai	61
Gambar 3-12 Watershed Barabai	61
Gambar 3-13 Jaringan Sungai Barabai	62
Gambar 3-14 DEM DTA Barabai	63
Gambar 3-15 Ground Water Depth DTA Barabai	64
Gambar 3-16 Percent of Impervious Cover DTA Barabai	65
Gambar 3-17 Road Network DTA Barabai	65
Gambar 3-18 Land Ownership DTA Barabai.....	66
Gambar 3-19 Soil Group DTA Barabai	66
Gambar 3-20 Stream DTA Barabai.....	67
Gambar 3-21 Hasil Running GITBoLA DTA Barabai Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021	68
Gambar 3-22 Rekomendasi Lokasi untuk Infrastruktur Hijau yang menunjang Infiltrasi serta Bioretensi	72
Gambar 3-23 Rekomendasi Infrastruktur Hijau seperti Fasilitas Lahan Basah Buatan dan Lahan Bioretensi.....	73
Gambar 3-24 Genangan di DTA Barabai untuk Skenario Hujan Ekstrim.....	75
Gambar 3-25 Genangan di DTA Barabai untuk Skenario Hujan 50 Tahunan.....	75
Gambar 3-26 Genangan di DTA Barabai untuk Skenario Hujan 2 Tahunan.....	76
Gambar 4-1 Peta Rekomendasi Tindakan Vegetatif di DTA Barabai.....	90
Gambar 4-2 Kolam Retensi.....	92
Gambar 4-3 Rencana Pembuatan Kolam Retensi di Barabai ...	93

Gambar 4-5 Rencana Bendungan Riam Kiwa	94
Gambar 4-6 Rencana Bendungan Pancur Hanau	94
Gambar 4-7 Peta Genangan Banjir DAS Barito Kalsel	95
Gambar 4-8 Peta Genangan Banjir DTA Barabai Skenario 0 ...	96
Gambar 4-9 Gully Plug dari Bronjong.....	98
Gambar 4-10 Check Dam di Italia dibuat secara a) berundak dan b) tunggal.....	99
Gambar 4-11 Daerah dengan Kecepatan Aliran Tinggi	100
Gambar 4-12 Peta Kecepatan Aliran Banjir DTA Barabai Skenario 0.....	100
Gambar 4-13 Rain Garden	103
Gambar 4-14 Implementasi Rain Garden.....	104
Gambar 4-15 Lahan Basah Buatan.....	107
Gambar 4-16 Detail Infiltration Trench	110
Gambar 4-17 Hasil GITBoLA Wilayah Barabai	111

BAB - I

Mengenal Daerah Tangkapan Air (DTA)

Daerah Tangkapan Air (DTA) merupakan titik-titik tempat air hujan ditangkap atau ditampung yang mempunyai manfaat untuk menangkap air sehingga *run-off* akan semakin kecil. DAS lebih fokus terhadap aliran sungai dari hulu ke hilir, sementara DTA fokus pada area penampungan air, sehingga definisi dari kedua istilah tersebut berbeda. Air hujan yang ditampung pada Daerah Tangkapan Air (DTA) inilah yang nantinya akan mengalir melalui lereng-lereng bukit dan bergerak menuju aliran sungai dan akan membentuk kawasan DAS. Dari sisi pengelolaan, DTA Barabai berada di Kabupaten Hulu Sungai Tengah dengan 8 kecamatan, serta 112 desa.

1.1 Telaah Masalah Banjir

Banjir awal Januari 2021 di Kalimantan Selatan sangat mengejutkan semua pihak, karena curah hujan yang sama tidak pernah turun di Kalimantan Selatan sebelumnya (BMKG, 2021) dan perilaku banjir yang sungguh tidak biasa. Hasil kaji cepat menyimpulkan bahwa terdapat *Drivers* multi faktor yang menyebabkan banjir, yang dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu kelompok faktor manusia (*anthropogenic*) dan faktor alam. Berbagai faktor penyebab banjir tersebut lalu termanifestasi dalam kelebihan air sebagai tekanan atau *pressure* terhadap kondisi atau status lingkungan saat ini. Hasil pemodelan pada 4 daerah tangkapan air (DTA) di Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa dampak atau *impact* banjir memiliki

karakteristik yang berbeda dalam mengubah status pada tiap DTA (BPKH V, 2021). Untuk itu dalam usaha merumuskan umpan balik atau respons yang tepat, diperlukan kajian banjir yang lebih komprehensif dalam memotret perilaku banjir pada skala wilayah yang berbeda dari skala Ekoregion DAS Barito Kalsel, skala Sub-DAS Barito Kalsel di Kalimantan Selatan dan Skala DTA di dalam Sub-DAS Barito Kalsel.

DTA Barabai berada di Kabupaten Hulu Sungai Tengah dengan luas 27.106,72 Ha dengan posisi geografis berada di sisi tengah Pegunungan Meratus di Provinsi Kalimantan Selatan yang dilalui sungai Labuhan, Sungai Hinas Kanan, Sungai Paki dan bermuara di Sungai Barabai di hilir DTA Barabai tepat di kawasan perkotaan Barabai. Berdasarkan data tutupan lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2019) secara umum tutupan lahan di DTA Barabai didominasi oleh pertanian lahan campuran seluas 16.968,21 Ha atau sekitar 62,60% kemudian sawah seluas 3.705,12 Ha atau sekitar 13,67% serta hutan lahan kering sekunder seluas 2.069,26 Ha atau sekitar 7,63% dari keseluruhan luas DTA Barabai. Selengkapnya tutupan lahan yang ada di DTA Barabai dapat dilihat pada tabel 1 dibawah. Secara geografis DTA Barabai berada di wilayah berlereng curam dengan titik paling tinggi ada di 1.300 mdpl (berdasarkan data kontur) dimana semakin turun ke kawasan perkotaan di Barabai di 25 mdpl.

Berdasarkan hasil wawancara dengan warga di beberapa Desa seperti Paya Besar, Desa Hantakan, Desa Baru mengatakan hujan terjadi sekitar 2 hari berturut-turut dengan intensitas yang cukup tinggi khususnya di sore hari mulai dari tanggal 14-15 Januari 2021. Akibat hujan yang ekstrem tersebut sungai utama dan anak sungai tidak mampu menampung air sehingga terjadi banjir dalam waktu yang cukup singkat. Di bawah ini beberapa hasil wawancara dengan warga terkait dengan intensitas hujan yang berdampak pada banjir:

Tabel 3-1 Kondisi Curah Hujan di DTA Barabai

No	Desa	Lama Hujan	Tinggi Banjir	Lama Surut
1	Papagaran	Hujan ekstrem terjadi 1-2hari	Titik ekstrem <2 m, khususnya di sempadan sungai	Dari jam 1-4 subuh
2	Datar Rajab	Hujan ekstrem terjadi 1-2hari	Titik ekstrem <3 m, khususnya di sempadan sungai	Dari jam 1-4 subuh
3	Haruyan Dayak	Hujan ekstrem terjadi 1-2hari	Titik ekstrem <2 m, khususnya di sempadan sungai	Dari jam 1-4 subuh
4	Murung B	Hujan ekstrem terjadi 1-2hari	1-2 m, sempadan sungai menjadi paling tinggi	Dari jam 1-4 subuh
5	Cabai	Hujan ekstrem terjadi 1-2hari	1-2 m, sempadan sungai menjadi paling tinggi	Dari jam 1-4 subuh
6	Alat	Hujan sepanjang 3 hari berturut-turut	Lebih dari 2 m	Terendam selama 2 hari
7	Hantakan	Hujan sepanjang 3 hari berturut-turut	Lebih dari 4 m	Terendam selama 1 hari
8	Baru	Hujan sepanjang 3 hari berturut-turut	Lebih dari 4 m	Berangsur surut dalam 12 jam
9	Paya Besar	Hujan sepanjang 3 hari berturut-turut	1 m, banyak merendam kawasan pertanian	Tergenang 12 jam
10	Perkotaan Barabai	Hujan sepanjang 3 hari berturut-turut	Sepinggul orang dewasa	Tergenang selama 2 hari

Sumber: Hasil survey, 2021

1.2 Arah dan Tujuan Daerah Tangkapan Air

Kajian pengamanan lingkungan hidup (*environmental safeguard*) berbasis ekoregion dalam skala DTA bermaksud untuk meningkatkan resiliensi sistem DTA Barabai dalam menghadapi dampak perubahan lingkungan hidup, termasuk banjir. Kajian pengamanan dan pengelolaan lingkungan hidup (*environmental safeguard*) berbasis ekoregion bertujuan untuk:

- 1) Mengidentifikasi wilayah di DTA Barabai yang mengalami banjir beserta karakteristik fisik lingkungan, sosial, dan ekonomi wilayahnya
- 2) Mengidentifikasi kondisi sungai dan ripariannya serta laju kecepatan aliran sungai melalui pengukuran in situ
- 3) Menilai dampak banjir terhadap ekosistem dan masyarakat di wilayah DTA Barabai
- 4) Mempelajari pola perilaku banjir melalui pemodelan banjir skala DTA serta perhitungan laju infiltrasi tanah di beberapa lokasi
- 5) Memberikan rekomendasi tindak lanjut mitigasi banjir, baik berupa penguatan kebijakan/peraturan maupun rencana aksi

1.3 Visi Misi Kajian Daerah Tangkapan Air

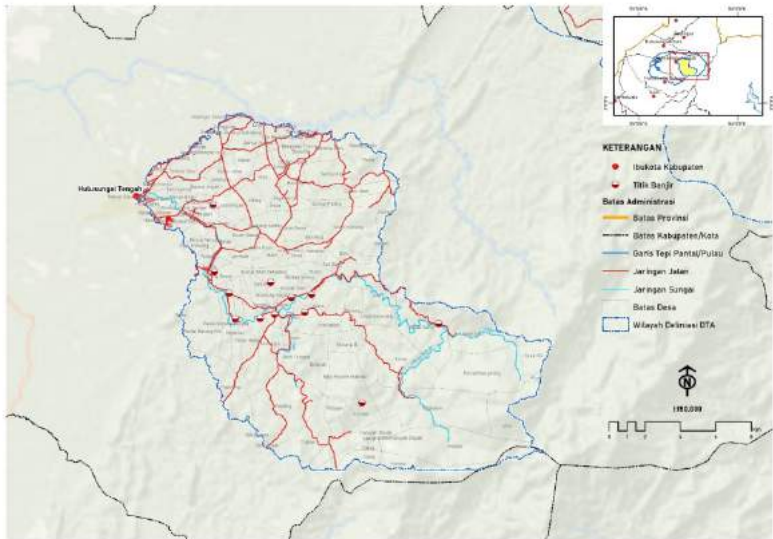
Kajian pengamanan lingkungan hidup (*environmental safeguard*) berbasis ekoregion skala Daerah Tangkapan Air (DTA) memiliki sasaran:

- 1) Tersusunnya *database* atau basis data kejadian, dampak, dan analisa banjir pada DTA (Daerah Tangkapan Air)
- 2) Tersusunnya profil DTA (Daerah Tangkapan Air) pada lokasi yang diprioritaskan penanganannya
- 3) Tersusunnya pemodelan banjir skala DTA
- 4) Tersusunnya identifikasi jasa lingkungan yang berpengaruh dan berdampak terhadap kejadian banjir
- 5) Teridentifikasinya perubahan morfologis sungai di sepanjang DTA
- 6) Terintegrasinya rekomendasi pengelolaan lingkungan hidup (*environmental safeguard*) berbasis lokal

- 7) Terintegrasinya rekomendasi pengelolaan lingkungan hidup (*environmental safeguard*) berbasis ekoregion pada skala DTA

1.4 Ruang Lingkup Wilayah Studi Daerah Tangkapan Air

Ruang lingkup wilayah studi berada pada wilayah terdampak banjir tahun 2021, yaitu pada Daerah Tangkapan Air Barabai yang berada di Kabupaten Hulu Sungai Tengah dengan 8 kecamatan, serta 112 desa.



Gambar 3-1 Peta Ruang Lingkup Wilayah Studi

Sumber: Pengolahan Data, 2021

1.5 Ruang Lingkup Substansi

Pada kajian pengaman lingkungan hidup (*environmental safeguard*) berbasis ekoregion pada skala DTA Barabai, peninjauan terhadap berbagai aspek lingkungan dilakukan secara bertahap meliputi:

- 1) Kajian morfometri sungai
- 2) Kajian demografi dan mata pencaharian untuk mengetahui tekanan dan dampaknya terhadap kejadian banjir

- 3) Kajian krono-spasial jasa lingkungan, khususnya membahas jasa lingkungan DTA Barito
- 4) Pemodelan banjir yang digunakan untuk prediksi dan skenario banjir yang diperoleh dari scaling-up model banjir skala ekoregion
- 5) Kajian tindakan pengamanan lingkungan hidup, baik melalui upaya sipil teknis maupun rekomendasi terhadap dokumen perencanaan

1.6 Metode Kajian Daerah Tangkapan Air

1.6.1 Metode Survey

1) Metode Pengambilan Data Sungai

Tujuan dari survey sungai adalah untuk memperoleh data berupa *cross section* atau penampang sungai dan juga debit yang mengalir pada sungai tersebut. Untuk memperoleh data tersebut, dilakukan beberapa prosedur antara lain penentuan titik peninjauan, pengukuran dimensi penampang sungai, dan pengukuran kecepatan arus sungai.

a. Penentuan Titik Peninjauan

Pada setiap peta Daerah Tangkapan Air (DTA) terdapat *grid* yang sudah ditetapkan. Masing-masing DTA memiliki jumlah *grid* yang berbeda. *Grid* tersebut ditandai dengan abjad untuk mempermudah penandaan lokasi, dimana pada lokasi hilir dimulai dengan huruf A, dan seterusnya hingga ke hulu. Titik peninjauan merupakan lokasi pengambilan sampel berupa lebar sungai, kedalaman sungai, dan arus sungai. Pada setiap *grid*, dilakukan minimal satu titik peninjauan, dimana titik peninjauan ini lebih diutamakan pada lokasi hilir sungai pada *grid* tersebut. Untuk memperoleh data yang lebih akurat, titik peninjauan dilakukan sebanyak tiga kali yang berlokasi pada hilir, antara hulu dan hilir, dan hulu pada setiap *grid*. Koordinat setiap titik peninjauan dicatat untuk mengetahui lokasi titik tersebut pada peta atau citra satelit.

diperoleh dengan bantuan aplikasi pengukur sudut. Dengan begitu, lebar palung sungai dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan prinsip trigonometri biasa.



Gambar 3-3 Distance Meter dan Roll Meter

Sumber: Penulis, 2021

Lebar sungai basah (x_{wet}) diperoleh dengan menggunakan *distance meter* atau *roll meter*, jika tidak memungkinkan, data tersebut diperoleh dengan melakukan pengukuran pada citra *drone* yang dihasilkan dari *drone mapping*. Pengukuran dengan *roll meter* dilakukan dengan menggunakan getek untuk menyeberangi sungai, dimana *roll meter* ditarik dari ujung ke ujung sungai.



Gambar 3-4 Pengukuran Lebar Sungai dengan Roll Meter

Sumber: Survey Lapang, 2021

Kedalaman sungai diukur dengan menggunakan pemberat yang diikat dengan tali rafia atau tambang pada botol plastik. Tali atau tambang tersebut diberikan tanda berupa ikatan yang menunjukkan panjang per satu meter. Pengukuran kedalaman sungai dilakukan sebanyak tiga kali setiap titik peninjauan, yaitu pada $\frac{1}{4}$ (25%), $\frac{1}{2}$ (50%), dan $\frac{3}{4}$ (75%) lebar sungai. Apabila pada titik peninjauan terdapat jembatan, maka pengukuran penampang sungai dilakukan di atas jembatan, mulai dari lebar palung sungai hingga kedalaman sungai.



Gambar 3-5 Pengukuran Kedalaman Sungai dengan Tali yang Diikatkan Beban

Sumber: Survey Lapangan, 2021

c. Pengukuran Kecepatan Arus Sungai

Lokasi pengukuran kecepatan arus sungai sama dengan pengukuran kedalaman sungai. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap titik peninjauan, yaitu pada $\frac{1}{4}$ (25%), $\frac{1}{2}$ (50%), dan $\frac{3}{4}$ (75%) lebar sungai. Alat pengukuran yang digunakan berupa current meter dan botol plastik. Pengukuran dengan *current meter* dilakukan dengan mencelupkan baling-baling alat ke dalam sungai, lalu hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar pembacaan. Sedangkan pengukuran botol plastik dilakukan dengan mengikat botol plastik dengan tali sepanjang lima meter, lalu botol dilepas dan dibiarkan mengalir di atas permukaan sungai sembari menghitung waktunya hingga tali tersebut tegang. Kecepatan arus diperoleh dengan membagi panjang tali dengan waktu yang dibutuhkan tali untuk tegang.



Gambar 3-6 Pengukuran Kecepatan Arus Sungai dengan Current Meter

Sumber: Survey Lapangan, 2021

2) Metode Pengolahan Data Sungai

Data yang diperoleh setelah melakukan survey antara lain, koordinat titik peninjauan, lebar sungai, kedalaman sungai, dan kecepatan arus sungai. Data tersebut diolah untuk menghasilkan output berupa luas penampang sungai dan debit sungai. Prosedur untuk memperoleh output tersebut akan dijelaskan lebih lanjut.

a. Perhitungan Luas Penampang Basah

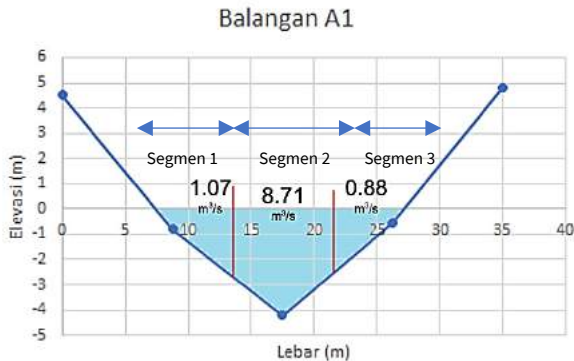
Luas penampang basah (A_{wet}) dihitung per segmen, dikarenakan data kedalaman sungai yang diperoleh juga per segmen, serta untuk mempermudah perhitungan. Data yang dibutuhkan untuk menghitung luas penampang basah adalah kedalaman sungai dan lebar penampang basah. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus luas segitiga dan trapesium.

b. Perhitungan Debit Sungai

Debit sungai juga dihitung per segmen dikarenakan data kecepatan arus yang diperoleh juga per segmen. Debit merupakan hasil kali antara luas dan kecepatan. Sehingga data yang dibutuhkan untuk menentukan debit sungai adalah luas penampang dan kecepatan arus sungai.

c. Pembuatan Penampang Melintang Sungai

Pembuatan penampang melintang sungai dilakukan per titik tinjau. Pembuatan penampang ini menggunakan grafik (X Y Scatter), dimana sumbu horizontal (sumbu X) merupakan lebar sungai dan sumbu vertikal (sumbu Y) merupakan kedalaman sungai dan tinggi palung sungai.



Gambar 3-7 Contoh Hasil Pengukuran Hidrometri Sungai
Sumber: Pengolahan data, 2021

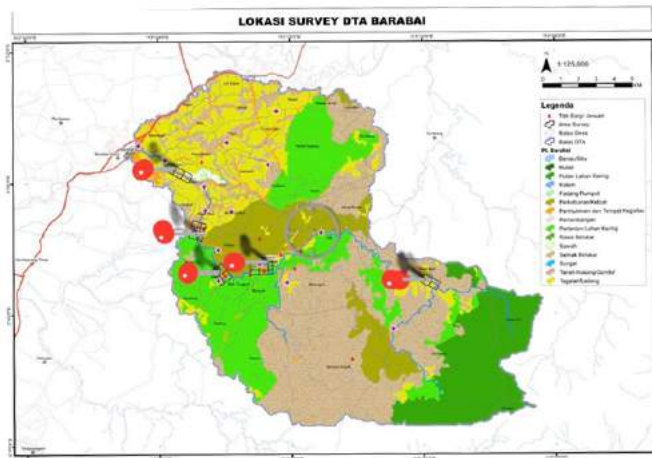
3) Metode Pengukuran Laju Infiltrasi

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah. Banyak faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi, termasuk kondisi permukaan tanah dan tutupan vegetatifnya, sifat-sifat tanah, seperti porositas dan konduktivitas hidroliknya, dan kadar air tanah saat ini (Chow, 2013). Pengukuran infiltrasi mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh SNI 7752:2012 Tata Cara Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah Di Lapangan Menggunakan Infiltrometer Cincin Ganda. Pengukuran ini dapat dilakukan pada permukaan tanah pada lahan kosong atau pada tempat bervegetasi dengan tujuan untuk mempelajari efisiensi drainase, keutuhan irigasi dan sebagainya.

a. Penentuan Lokasi Pengukuran

Lokasi pengamatan laju infiltrasi dilakukan pada tata guna lahan pada empat lokasi daerah tangkapan air yaitu

Balangan, Barabai, Riam Kiwa, dan Bati-Bati Kurau. Tata guna lahan yang dijadikan lokasi pengukuran disesuaikan dengan tutupan lahan yang terdapat pada lokasi tersebut. Tutupan lahan yang biasa dijadikan untuk pengambilan sampel adalah pemukiman, sawah, kebun, dan semak. Untuk setiap grid pada satu dari tangkapan air diambil sampel laju infiltrasinya minimal dua tutup lahan yang mendominasi pada area DTA tersebut. Selain itu pertimbangan dalam pemilihan lokasi juga kemudahan akses air, jalan, dan kondisi cuaca. Berikut contoh lokasi pengambilan laju infiltrasi pada DTA Barabai:



Gambar 3-8 Titik Lokasi Pengukuran Rencana

Sumber: Pengolahan Data, 2021

b. Alat dan Proses Pengukuran

Dalam pengukuran yang dilakukan pada wilayah DTA Barabai, Riam Kiwa, Barabai, dan Bati-Bati Kurau menggunakan alat utama berupa infiltrometer *ring* ganda. Alat ini memiliki tinggi 20 cm dan dilengkapi oleh tangkai tambahan di atasnya untuk memudahkan pemasangan alat di lokasi pengukuran. Pada *ring* bagian dalam diameternya sebesar 15 cm sedangkan jarak ring dalam dan luar sebesar 7.5 cm sehingga total diameter alat ini sebesar 30 cm. Adapun alat tambahan seperti penggaris, *stopwatch*,

palu karet, palu besi, serta cangkul. Penggaris digunakan untuk mengukur penurunan air yang terjadi selama pengukuran infiltrasi sedangkan palu sebagai alat tambahan untuk menekan alat infiltrometer agar masuk ke dalam tanah. Kemudian alat cangkul untuk mengupas dan menggali tanah di lokasi.

Tabel 3-2 Peralatan yang Digunakan untuk Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah

Nama Alat	Gambar
<p>Infiltrometer Ring Ganda</p>	
<p>Palu karet, Palu besi, dan Cangkul</p>	
<p>Penggaris dan Stopwatch</p>	

Sumber: Penulis, 2021

Pengukuran dilakukan dengan penentuan lokasi tutupan lahan yang sudah ditentukan diawal. Kemudian dilakukan pencatatan koordinat lokasi, kondisi cuaca, dan jenis tanah dari penglihatan mata pengamat. Setelah itu alat infiltrometer dipasang dengan cara ditancapkan ke dalam tanah ± 10 cm kedalam tanah. Namun sebelum itu tanah harus di gali sekitar 10 cm dengan cangkul terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran yang barada diatas tanah serta menghilangkan lapisan tanah humus yang ada sehingga mendapatkan jenis tanah asli dari lokasi tersebut. Selanjutnya perlu dipastikan bahwa infiltrometer tertancap dengan benar dan tidak menghasilkan rembesan air disekelilingnya pada saat di lakukan pengukuran nanti. Kemudian penggaris diletakkan pada *ring* tengah dan dilakukan pengisian air pada *ring* luar terlebih dahulu, kira-kira setinggi 15 cm dari permukaan tanah yang berada di dasar *ring*. Selanjutnya *ring* tengah diisi dengan air setinggi kurang dari tinggi air pada ring bagian luar. Hal tersebut agar peresapan air di dalam tanah yang tidak tegak lurus secara hanya terjadi pada *ring* luar saja, sedangkan *ring* dalam penurunan air secara vertikal (tegak lurus).



Gambar 3-9 Pengukuran Laju Infiltrasi Tanah

Sumber: Survey Lapang, 2021

Kedua *ring* yang sudah terisi oleh air siap untuk dilakukan pengukuran penurunan airnya dengan mencatat waktu (t) dan (Δt) pada *stopwatch* serta penurunan air ring dalam (Δh) yang terlihat pada penggaris. Interval waktu yang digunakan disesuaikan dengan penurunan air pada *ring*. Pengamatan dilakukan dengan cara setiap *stopwatch* sudah menunjukkan waktu pencacatan dan terjadi penurunan air, maka *ring* dalam ditambahkan air sampai ketinggian awal air pengukuran. Hal tersebut terus menerus sama mencapai penurunan yang konstan. Pada awal pengamatan, pengukuran dengan interval 1-2 menit sampai tidak terlihat lagi penurunan yang signifikan lalu diubah interval waktunya, yaitu 5 menit sampai penurunan pada muka air konstan, maka pengamatan bisa dihentikan. Rata-rata lama pengamatan selama 20-30 menit untuk 1 lokasi namun bisa lebih lama jika air menurun sangat cepat dan untuk mencapai waktu konstannya lebih lama. Pada *ring* luar, air tidak boleh habis karena akan mempengaruhi penurunan air pada *ring* dalam.



Gambar 3-10 Pengisian Air pada Infiltrometer

Sumber: Survey Lapang, 2021

c. Pengelolaan Data Laju Infiltrasi

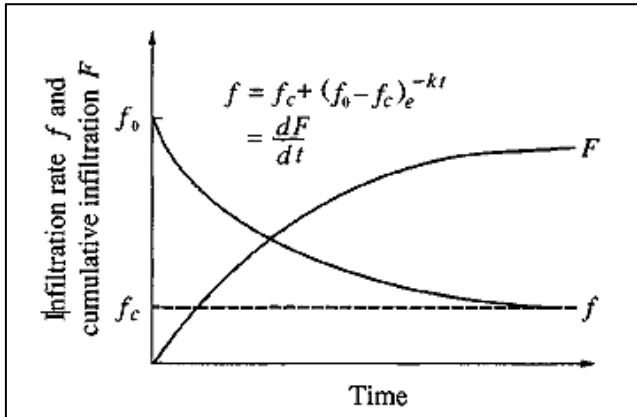
Data waktu dan dan penurunan air dihitung samapu menjadi laju infiltrasi dengan menggunakan metode horton. Metode ini dengan mengamati bahwa infiltrasi dimulai pada laju tertentu f_0 dan menurun secara eksponensial hingga mencapai laju konstan f_c . Variabel f_0 merupakan laju awal tanah sebelum dilakukan pengukuran, f_c merupakan laju infiltrasi saat konstan, k merupakan konstanta, e adalah eksponensial dan t merupakan waktu.

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Gambar 3-11 Persamaan Laju Infiltrasi

Sumber: Chow, 1988

Perhitungan diawali dengan menghitung kumulatif penurunan air dan volumenya yang didapatkan dari Δh dikali dengan luas *ring* dalam infiltrometer. Dari hasil perhitungan serta persamaan penurunan terhadap waktu maka dapat ditentukan grafik infiltrasinya. Dari grafik ini nantinya dapat ditentukan baik buruknya suatu tata guna lahan dalam proses penyerapan air. Terdapat dua grafik yang digambarkan, yaitu grafik volume kumulatif penurunan terhadap waktu dan laju infiltrasi terhadap waktu.



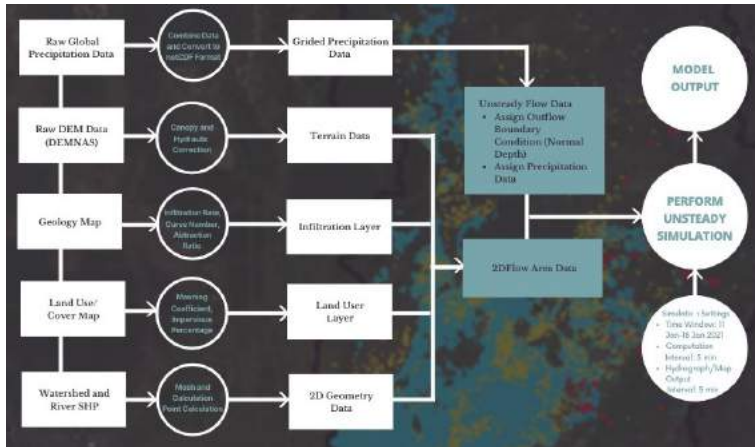
Gambar 3-12 Grafik Laju Infiltrasi dan Infiltrasi Kumulatif

Sumber: Chow, 1988

1.6.2 Metode Analisis

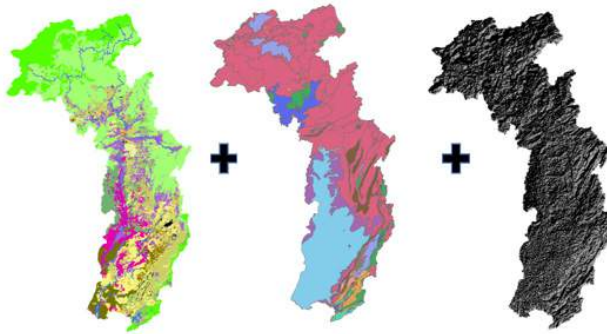
1) Permodelan Banjir

Banjir yang terjadi di DAS Barito Kalsel terjadi karena daya tampung daerah aliran sungai (DAS) yang tidak mampu menampung curah hujan yang terkategori curah hujan tinggi pada Januari 2021. Tentunya banjir yang terjadi dalam *scope* wilayah ekologis DAS Barito Kalsel yaitu dari hulu (Provinsi Kalimantan Tengah) hingga hilir di Provinsi Kalimantan Selatan. Walaupun faktanya titik genangan paling banyak di temukan di bagian hilir. Banjir yang terjadi tentunya diakibatkan oleh *multi-factor*, baik faktor alam maupun faktor antropogenik seperti konversi lahan untuk pertanian, pertambangan maupun perkebunan yang mengakibatkan rendahnya infiltrasi ataupun aktivitas sosial ekonomi masyarakat yang berdampak pada pendangkalan sejumlah sungai sehingga kemampuan menampung air semakin berkurang.



Gambar 3-13 Kerangka Kerja Pemodelan Banjir
 Sumber: Dwinanti, 2021

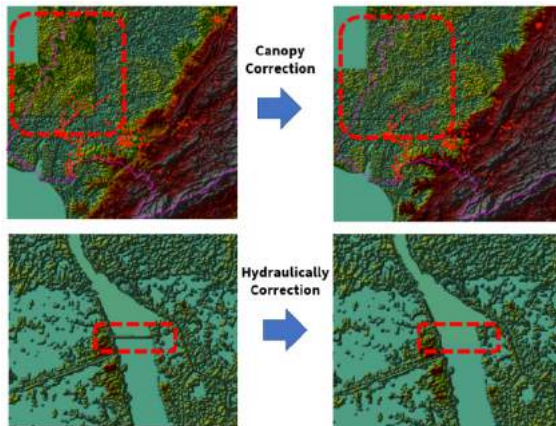
Permodelan banjir ini dilakukan dengan mengkaji beberapa data seperti **Global Precipitation Data** (untuk melihat dinamika curah hujan harian di DAS Barito Kalsel dalam satuan jam tercatat), **Digital Elevation Model** (untuk menggambarkan morfologis wilayah sehingga dapat memprediksi aliran air dari hulu ke hilir), **Geology Map** (untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat presipitasi atau infiltrasi tanah) serta **Watershed and River Data** (untuk memberikan gambaran satuan wilayah aliran air). Sejumlah data tersebut dianalisis dan dirunning dalam software dengan menambahkan beberapa formula di Hec-Ras dan hasil yang diperoleh kemudian dirasionalisasi dari hasil temuan lapangan. Secara garis besar model yang dikeluarkan adalah wilayah genangan dengan satuan ketinggian genangan dan kecepatan aliran genangan banjir.



**Gambar 3-14 Data input dalam permodelan banjir
(penggunaan lahan, soil map dan demnas)**

Sumber: Dwinanti, 2021

Rasionalisasi pengolahan data juga dilakukan untuk memperoleh permodelan banjir yang lebih relevan. Misalnya koreksi terhadap demnas dilakukan agar permodelan menghasilkan model banjir yang lebih rasional sebab di beberapa segmen demnas mengalami *pixel* yang tidak sinkron. Akibatnya *flow model* akan terhambat akibat data yang kurang baik.



**Gambar 3-15 Koreksi terhadap DEMNAS BIG dengan
Spatial Resolusi 8,3 M**

Sumber: Pengolahan Data, 2021

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan Daerah Tangkapan Air (DTA) ini terdiri dari 4 (empat) bab, antara lain:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisikan pendahuluan seperti latar belakang, maksud dan tujuan penulisan, sasaran, ruang lingkup wilayah studi dan sistematika penulisan.

Bab 2 Profil DTA Barabai

Bab ini berisi tentang profil DTA Barabai dimulai dari kondisi morfometri sungai, kondisi tutupan lahan, dan kondisi sosial budaya masyarakat yang ada di DTA Barabai.

Bab 3 Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang pemodelan banjir dengan beberapa skenario dan kerugian yang terjadi sebagai akibat dari kejadian banjir.

Bab 4 Rekomendasi

Bab ini memberikan gambaran mengenai rekomendasi intervensi untuk mengurangi dampak banjir yang terdiri dari rekomendasi vegetatif, teknik sipil, dan implementasi kebijakan.

BAB - II

Profil Daerah Tangkapan Air (DTA)

Barabai

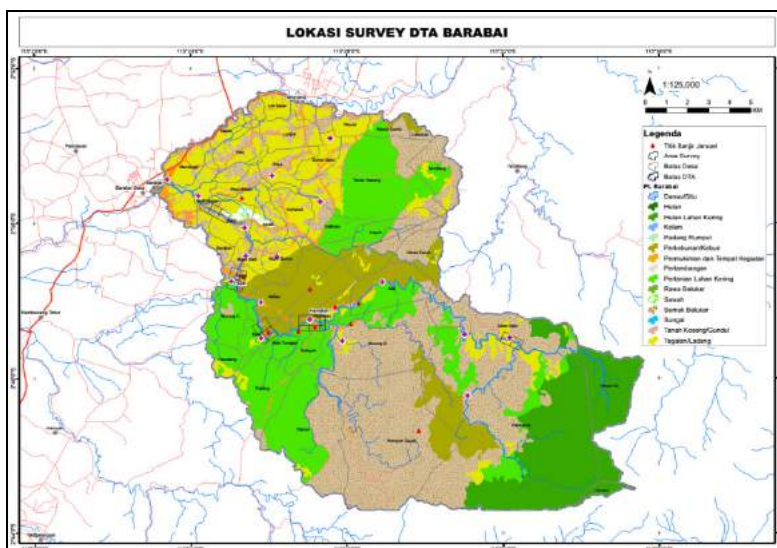
DTA Barabai secara geografis berada di Kabupaten Hulu Sungai Tengah yang melingkupi empat kecamatan yang terdiri atas Kecamatan Barabai, Batu Benawa, Batangalai Selatan, dan Haruyan. Luas DTA Barabai sekitar 27.106,72 ha dengan sungai yang melintas adalah Sungai Barabai yang umumnya berpola dendritik dengan anak sungai yang cukup banyak membentuk percabangan pohon yang memiliki percabangan tidak teratur dari arah dan sudutnya. Beberapa anak sungai yang menuju Sungai Barabai antara lain Sungai Paki dan Hinas Kanan. Pada kejadian banjir Januari 2021, di DTA Barabai terdapat setidaknya 16 desa di empat kecamatan yang terdampak banjir.

2.1 Hidrometri Sungai

Sungai utama yang berada pada DTA Barabai adalah Sungai Barabai, sedangkan anak sungainya antara lain Sungai Paki dan Hinas Kanan. Panjang Sungai Barabai di DTA Barabai sekitar 41,29 km, sedangkan anak sungai terpanjang adalah Sungai Hinas Kanan sekitar 10,73 km. Seperti disebutkan sebelumnya, pola sungai di DTA Barabai adalah dendritik, dengan beberapa anak sungai membentuk tulang daun yang menuju Sungai Barabai. Sungai Barabai di DTA ini berhulu di

Desa Hinas Kiri, Kecamatan Batangalai Selatan, hingga Kelurahan Barabai Selatan di Kecamatan Barabai.

Berdasarkan survey hidrometri yang dilakukan di 3 segmen Sungai Barabai terkait pengukuran lebar sungai, kedalaman, dan debit sungai diperoleh beberapa hasil yang bervariasi. Lokasi pengukuran segmen sungai di DTA Barabai dilakukan di sekitar Desa Aluan Besar, Pagat, Baru, Hantakan, dan Datar Ajab. Lokasi tersebut dipilih karena kriterianya sebagai lokasi banjir, pertemuan sungai, topografi, dan tutupan lahan. Satu klaster lokasi dilakukan pengukuran di tiga lokasi berbeda yang mewakili bagian hulu, tengah, hilir sungai dalam konteks segmen sungai. Berikut adalah peta lokasi survey hidrometri di DTA Barabai.



Gambar 5-1 Peta Lokasi Survey Hidrometri di DTA Barabai
Sumber: Pengolahan Data, 2021

Hasil pengukuran hidrometri Sungai Barabai di Desa Aluan Besar, memperlihatkan debit Sungai Barabai pada segmen tersebut sekitar $8,37 \text{ m}^3/\text{s}$. Lebar sungai pada penampang basah

sungai sekitar 20,44 m, dengan lebar total sungai (plus lebar permukaan) adalah sekitar 28,5 m. Kedalaman sungai bagian tengah sekitar 2,55 m, dengan kedalaman di bagian kanan dan kiri sungai sekitar 1,67 m dan 1,86 m.

Tabel 5-1 Hasil Survey Hidrometri Barabai A

Titik	Koordinat		D (m)	v (m/s)	A wet (m ²)	Q (m ³ /s)	
	S	E				Satuan	Total
1	-02°35'37.19"	115°24'28.17"	1.67	16	5	0.313	8.37
2	-02°35'37.15"	115°24'28.21"	2.55	17	5	0.294	
3	-02°35'35.49"	115°24'25.69"	1.86	25	5	0.200	

Titik	Koordinat		H (m)	x wet (m)	x tot (m)
x1	-02°35'36.44"	115°24'25.20"	3	20.44	28.5
x2	-02°35'37.06"	115°24'28.45"	2.98		

Sumber: Survey Lapang, 2021

Keterangan:

Titik x1, x2 = Titik peninjauan di ujung sungai

Titik 1, 2, 3 = Titik peninjauan di atas permukaan sungai

D (*depth*) = Kedalaman sungai dalam meter (m)

v (*velocity*) = Kecepatan arus sungai dalam meter per detik (m/s)

H (*height*) = Tinggi tepi sungai dalam meter (m)

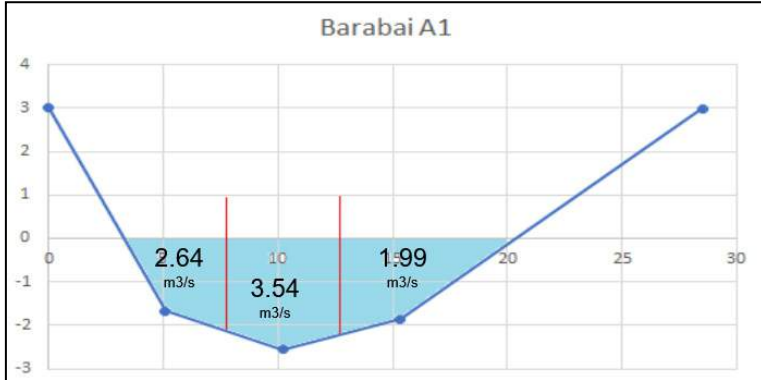
L (*length*) = Lebar tepi sungai dalam meter (m)

A wet (area) = Luas penampang basah sungai dalam meter persegi (m²)

x wet = Lebar penampang sungai dalam meter (m)

x tot = Lebar penampang total sungai (x wet + L) dalam meter (m)

Q = Debit aliran sungai dalam meter kubik per detik (m³/s)



Gambar 5-2 Penampang Melintang dan Debit Barabai A
 Sumber: Survey Lapangan, 2021

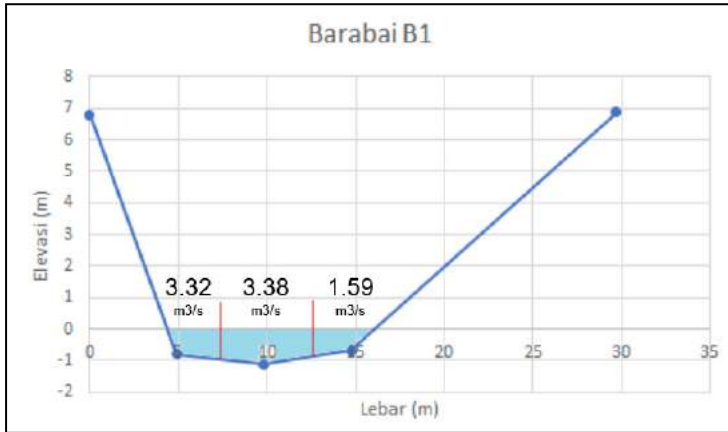
Hasil pengukuran hidrometri Sungai Barabai di Desa Pagat, memperlihatkan debit Sungai Barabai pada segmen tersebut sekitar $8,79 \text{ m}^3/\text{s}$. Lebar sungai pada penampang basah sungai sekitar $19,71 \text{ m}$, dengan lebar total sungai (plus lebar permukaan) adalah sekitar $29,71 \text{ m}$. Kedalaman sungai bagian tengah sekitar $1,1 \text{ m}$, dengan kedalaman di bagian kanan dan kiri sungai sekitar $0,8 \text{ m}$ dan $0,66 \text{ m}$.

Tabel 5-2 Hasil Survey Hidrometri Barabai B

Titik	Koordinat		D (m)	v (m/s)	A wet (m ²)	Q (m ³ /s)	
	S	E				Satuan	Total
1	-02°37'13.97"	115°25'12.03"	0.8	6.21	5	0.805	8,79
2	-02°37'14.01"	115°25'12.20"	1.1	6.4	5	0.781	
3	-02°37'14.11"	115°25'12.38"	0.66	11.1	5	0.450	

Titik	Koordinat		H (m)	x wet (m)	x tot (m)
x1	-02°37'13.87"	115°25'11.77"	6.8	19.708	29.708
x2	-02°37'14.43"	115°25'12.68"	6.87		

Sumber: Survey Lapangan, 2021



Gambar 5-3 Penampang Melintang dan Debit Barabai B
 Sumber: Survey Lapang, 2021

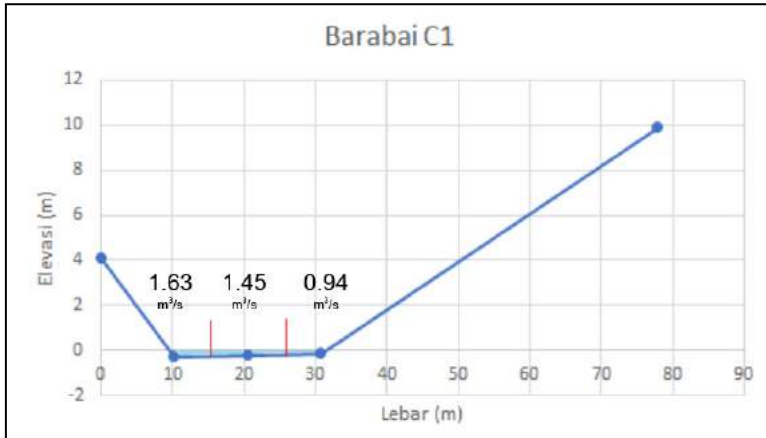
Hasil pengukuran hidrometri Sungai Barabai di Desa Baru, memperlihatkan debit Sungai Barabai pada segmen tersebut sekitar $4,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Lebar sungai pada penampang basah sungai sekitar 41 m, dengan lebar total sungai (plus lebar permukaan) adalah sekitar 77,9 m. Kedalaman sungai bagian tengah sekitar 0,22 m, dengan kedalaman di bagian kanan dan kiri sungai sekitar 0,3 m dan 0,14 m.

Tabel 5-3 Hasil Survey Hidrometri Barabai C

Titik	Koordinat		D (m)	v (m/s)	A wet (m ²)	Q (m ³ /s)	
	S	E				Satuan	Total
1	-02°38'41.74"	115°25'48.54"	0.3	9.1	5	0.549	4,02
2	-02°38'41.71"	115°25'49.20"	0.22	7.79	5	0.642	
3	-02°38'41.60"	115°25'49.76"	0.14	8.2	5	0.610	

Titik	Koordinat		H (m)	x wet (m)	x tot (m)
x1	-02°38'41.82"	115°25'47.93"	4.1	41	77.9
x2	-02°38'41.63"	115°25'50.43"	9.9		

Sumber: Survey Lapang, 2021



Gambar 5-4 Penampang Melintang dan Debit Barabai C
 Sumber: Survey Lapang, 2021

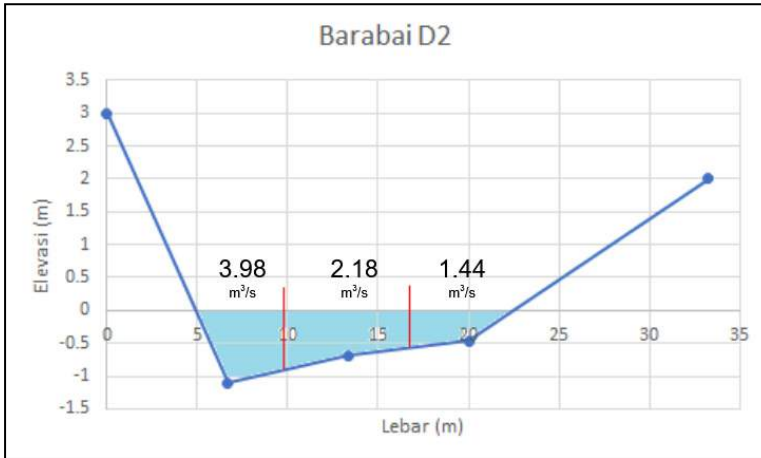
Hasil pengukuran hidrometri Sungai Barabai di Desa Hantakan, memperlihatkan debit Sungai Barabai pada segmen tersebut sekitar $7,60 \text{ m}^3/\text{s}$. Lebar sungai pada penampang basah sungai sekitar $26,72 \text{ m}$, dengan lebar total sungai (plus lebar permukaan) adalah sekitar $33,25 \text{ m}$. Kedalaman sungai bagian tengah sekitar $0,69 \text{ m}$, dengan kedalaman di bagian kanan dan kiri sungai sekitar $1,1 \text{ m}$ dan $0,46 \text{ m}$.

Tabel 5-4 Hasil Survey Hidrometri Barabai D

Titik	Koordinat		D (m)	v (m/s)	A wet (m ²)	Q (m ³ /s)	
	S	E				Satuan	Total
1	-02°38'33.71"	115°26'54.91"	1.1	8.81	5	0.568	7,60
2	-02°38'33.50"	115°26'54.80"	0.69	10.9	5	0.459	
3	-02°38'33.34"	115°26'54.66"	0.46	11.36	5	0.440	

Titik	Koordinat		H (m)	x wet (m)	x tot (m)
x1	-02°38'33.98"	115°26'55.05"	3	26.72	33.251
x2	-02°38'32.89"	115°26'54.50"	2		

Sumber: Survey Lapang, 2021



Gambar 5-5 Penampang Melintang dan Debit Barabai D

Sumber: Survey Lapang, 2021

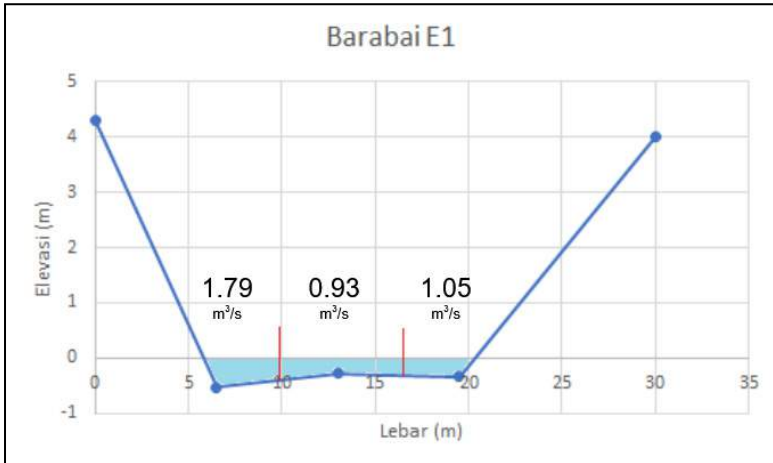
Hasil pengukuran hidrometri Sungai Barabai di Desa Datarajab, memperlihatkan debit Sungai Barabai pada segmen tersebut sekitar $3,78 \text{ m}^3/\text{s}$. Lebar sungai pada penampang basah sungai sekitar 26 m, dengan lebar total sungai (plus lebar permukaan) adalah sekitar 30 m. Kedalaman sungai bagian tengah sekitar 0,28 m, dengan kedalaman di bagian kanan dan kiri sungai sekitar 0,52 m dan 0,33 m.

Tabel 5-5 Hasil Survey Hidrometri Barabai D

Titik	Koordinat		D (m)	v (m/s)	A wet (m ²)	Q (m ³ /s)	
	S	E				Satuan	Total
1	-02°39'00.83"	115°32'03.87"	0.52	8.88	5	0.563	3,78
2	-02°39'00.65"	115°32'03.90"	0.28	11	5	0.455	
3	-02°39'00.44"	115°32'03.93"	0.33	10	5	0.500	

Titik	Koordinat		H (m)	x wet (m)	x tot (m)
x1	-02°39'01.04"	115°32'03.81"	4.3	26	30
x2	-02°39'00.13"	115°32'03.94"	4		

Sumber: Survey Lapang, 2021



Gambar 5-6 Penampang Melintang dan Debit Barabai E
Sumber: Survey Lapang, 2021

Dari hasil survey lapang, maka diperoleh rata-rata debit Sungai Barabai di DTA Barabai, yang dapat dilihat pada Tabel 2-6 berikut. Rata-rata debit Sungai Barabai dari lima lokasi yang diambil hanya sekitar 6,6 m³/s, dengan di bagian hulunya (Desa Datarajab) hanya sekitar 3,66 m³/s. Namun banjir di DTA Barabai ini justru sangat besar perkiraan volume dan debitnya ketika banjir Januari 2021. Banyak faktor yang mempengaruhinya, dari topografi hingga kemungkinan kejadian longsor di hulu yang kemudian menahan dan menampung air hingga akhirnya tidak mampu lagi, dan air melimpas dengan sangat besar.

Tabel 5-6 Debit Rata-rata Sungai Di DTA Barabai

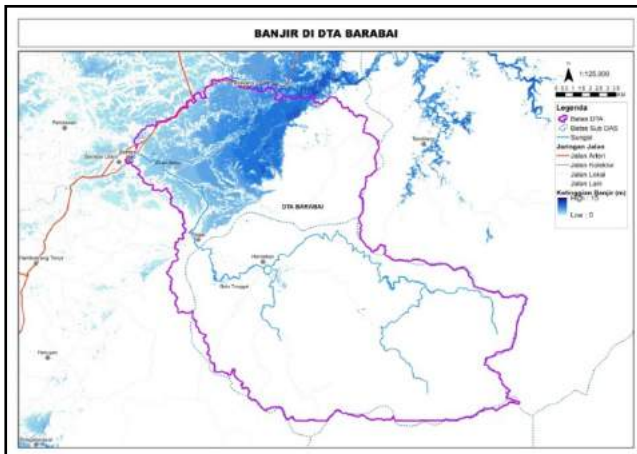
No.	DTA	Lokasi	Debit (m ³ /s)
1	Barabai	A	6.35
2		B	6.93
3		C	9.37
4		D	7.35
5		E	3.66

Sumber: Survey Lapang, 2021

2.2 Luasan Banjir

Dari hasil survey lapangan, informasi terkait banjir di DTA Barabai tersebar di beberapa lokasi, setidaknya terdapat 15 titik banjir yang tersebar di 16 desa di Kecamatan Barabai, Batangalai Selatan, Batubenawa, dan Hantakan. Desa Alat, Pagat, Datarajab, Barabai Barat menjadi desa yang terdampak banjir paling besar. Berdasarkan hasil wawancara dengan warga, saat kejadian banjir Januari 2021, intensitas curah hujan cukup tinggi selama lima hari berturut-turut, dengan tinggi banjir rata-rata hingga mencapai 1 m dengan di beberapa lokasi seperti Datarajab memiliki kecepatan banjir yang sangat tinggi.

Berdasarkan hasil pemodelan dengan *software* HEC-RAS, luas banjir Januari 2021 di DTA Barabai sekitar 6.502,45 Ha (23,99%) dari total luas keseluruhan DTA sekitar 27.106,72 dengan rata-rata ketinggian banjir sekitar 6 m. Dari pemodelan, banjir terjadi dari luapan Sungai Barabai dari bagian hulu di Datarajab hingga ke hilir di Barabai, yang secara topografi beda ketinggiannya cukup jauh. Area banjir dari pemodelan ini dominan berada di lahan sawah dan pertanian lahan kering yang pada akhirnya menimbulkan kerugian yang cukup besar.



Gambar 5-7 Peta Pemodelan Banjir Januari 2021 di DTA Barabai

Sumber: Dwinanti, 2021

Berdasarkan morfologi DAS Barito Kalsel, di bagian timur DTA Barabai (bagian hilirnya) mengalami banjir lebih luas dibandingkan bagian hulunya. Meskipun begitu bagian hulu juga mengalami banjir yang dampaknya juga besar, hanya saja karakteristik banjirnya berbeda. Di bagian hulu, banjir yang terjadi adalah bandang yang disertai longsor sehingga kecepatan yang terjadi sangatlah tinggi. Sedangkan di bagian hilirnya, banjir berangsur menurun kecepatannya namun durasi waktu surutnya yang cukup lama. Dari persebarannya, wilayah banjir hasil pemodelan menyebar dari hulu ke hilir di sepanjang sungai utama dan terparkir di bagian hilir DTA nya. Selanjutnya, setelah diidentifikasi berdasarkan batas administrasinya, wilayah banjir hasil pemodelan mencakup empat kecamatan yang berada di Kabupaten Hulu Sungai Tengah. Berikut adalah 20 desa terluas terdampak banjir hasil pemodelan di DTA Barabai.

Tabel 5-7 Luas Area Desa di DTA Barabai Yang Terdampak Banjir Hasil Pemodelan

Kecamatan	Desa	Luas (ha)	Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Batang Alai Selatan	Kias	417,79	Batu Benawa	Haliau	137,02
Barabai	Mandingin	408,32	Hantakan	Alat	132,99
Batang Alai Selatan	Tanah Habang	358,55	Batang Alai Selatan	Kapar	109,97
Batu Benawa	Bakti	322,25	Batu Benawa	Pagat	109,61
Hantakan	Patikalain	321,96	Batang Alai Selatan	Birayang Timur	99,40
Batang Alai Selatan	Lunjuk	319,21	Hantakan	Hantakan	90,02
Batu Benawa	Kahakan	309,01	Batang Alai Selatan	Kelurahan Birayang	89,50
Batu Benawa	Paya Besar	267,98	Barabai	Gambah	85,66
Batang Alai Selatan	Paya	241,30	Hantakan	Datar Ajab	73,60
Batang Alai Selatan	Cukan Lipai	240,25	Batu Benawa	Baru	66,76
Batu Benawa	Layuh	214,41	Batang Alai Selatan	Banua Rantau	65,35

Kecamatan	Desa	Luas (ha)	Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Batu Benawa	Kalibaru	191,99	Batu Benawa	Murung A.	64,42
Batu Benawa	Aluan	187,98	Hantakan	Tilahan	63,03
Hantakan	Murung B.	185,33	Hantakan	Batu Tunggal	62,14
Batu Benawa	Aluan Besar	175,80	Batang Alai Selatan	Wawai Gardu	51,58
Batang Alai Selatan	Wawai	175,46	Barabai	Kelurahan Barabai Darat	45,78
Barabai	Benawa Tengah	167,32	Hantakan	Pasting	41,08
Batang Alai Selatan	Lok Basar	166,43	Hantakan	Haruyan Dayak	38,62
Batu Benawa	Aluan Sumur	162,09	Hantakan	Bulayak	25,69
Batu Benawa	Aluan Mati	157,57	Barabai	Kelurahan Barabai Timur	22,50

Sumber: Dwinanti & PRPW UI, 2021

2.3 Tutupan Lahan

Tutupan lahan di DTA Barabai, didominasi oleh lahan pertanian lahan kering campuran sekitar 62,65% dari luas keseluruhan. Dari data kurun waktu (*time series*) tutupan lahan dari tahun 2000-2020, mengalami perubahan pada lahan yang berpotensi sebagai lahan serapan air. Sebagai contoh, hutan lahan kering sekunder di tahun 2000 memiliki 2.593,63 ha, yang artinya dalam 20 tahun mengalami penurunan sebesar 19,79%. Sebaran tutupan lahan hutan, baik hutan lahan kering primer maupun hutan lahan kering sekunder hanya berada di bagian hulu DTA Barabai di Desa Hinas Kiri dan Patikalain. Sedangkan tutupan lahan dominan yaitu pertanian lahan kering campuran berada di bagian tengah hingga hilir DTA BARabai. Begitupula dengan sawah yang dominan berada di bagian hilir DTA Barabai hingga perkotaan Barabai.

Karakteristik wilayah di DTA Barabai dapat dikatakan sebagian besar adalah area limpasan air sehingga kemampuan untuk menginfiltrasikan airnya rendah. Bagian hulu pun sudah

mulai berubah tutupan lahannya yang seharusnya dapat menjadi daerah tangkapan air, menurun fungsi tangkapannya karena berubah menjadi pertanian kering seperti jagung. Oleh karena itu, apabila intensitas curah hujan tinggi akan mengakibatkan adanya genangan di bagian hulu dan juga sebagian besar secara langsung mengalirkan air hujan menuju sungai lalu melimpaskannya ke bagian tengah hingga hilir.

Tabel 5-8 Penutupan Lahan Tahun 2000 & 2020 di DTA Barabai

Penutupan Lahan	Luas 2000 (ha)	Luas 2020 (ha)	Delta Perubahan	Proporsi Tahun 2020
Hutan Lahan Kering Primer	1.462,28	1.455,61	-0,46%	5,37%
Hutan Lahan Kering Sekunder	2.593,63	2.080,27	-19,79%	7,67%
Pemukiman	714,78	779,10	9,00%	2,87%
Pertanian Lahan Kering	2.288,00	1.713,00	-25,13%	6,32%
Pertanian Lahan Kering Campur	16.063,28	16.981,92	5,72%	62,65%
Sawah	3.763,67	3.724,81	-1,03%	13,74%
Semak Belukar	221,06	364,48	64,87%	1,34%
Tanah Terbuka	0,00	7,54		0,03%
Total	27.106,72	27.106,72		100,00 %

Sumber: KLHK, 2021



Gambar 5-8 Penutupan Lahan di DTA Barabai

Sumber: Survey Lapangan, 2021

2.4 Sosial dan Ekonomi Terdampak

Sebaran penduduk lebih terpusat di bagian tengah dan hilir DTA Barabai, dimana penduduk terbanyak berada di Kecamatan Barabai sekitar 55.754 jiwa. Secara umum, penduduk di DTA Barabai masih mengandalkan sektor primer dalam mata pencahariannya. Karakteristik penduduk di bagian hulu dan tengahnya DTA Barabai bergantung pada hasil produksi pertanian lahan kering campur dan perkebunan. Mata pencaharian penduduk di DTA Barabai dikonfirmasi kembali dengan survei lapangan yang dilakukan dimana penduduknya memanfaatkan kawasan pertanian dan perkebunan untuk aktivitas ekonominya. Jika dilihat dari dampak banjir pada lahan pertanian, maka kerugian ekonomi dari banjir di DTA Barabai ini cukup besar. Di kawasan perkotaan bahkan kawasan perkantoran terendam cukup lama sehingga aktivitas pemerintahan terganggu.

Dari data statistik BPS tahun 2018, jumlah penduduk tertinggi di Kabupaten Hulu Sungai Tengah pada DTA Barabai adalah Kecamatan Barabai (55.754 jiwa), Batangalai Selatan (23.560), Batu Benawa (19.699 jiwa), dan Hantakan (12.393 jiwa). Jika dioverlaykan kecamatan-kecamatan tersebut dengan model banjir, maka penduduk yang terpapar banjir cukup besar. Dampak banjir di Desa Barabai Barat, Desa Pagat, dan Desa Alat mengakibatkan jembatan penghubung rusak, pencemaran air sumur, kerusakan pada lahan pertanian, kerusakan pada jalan utama, kerusakan dan kehilangan pada beberapa rumah dan tempat wisata, serta bertambahnya lebar badan sungai akibat arus banjir yang kuat meskipun durasi banjir yang singkat. Lahan pertanian yang akan panen pun gagal semuanya karena banjir membawa material sedimen yang sangat banyak. Di Desa Aluan Besar bahkan sawah

tertimbun sedimen (material tanah) hingga setebal 10 cm. Setidaknya terdapat 57 KK yang lahan pertaniannya terdampak dari dua kelompok tani Mengharap dan Bakayuh Beimbai.

Jika dioverlay dengan data penutupan lahan maka dominansi yang cukup besar terdampak kerugian dari banjir adalah sawah dan pertanian lahan kering. Hampir sekitar 54% lahan terdampak banjir adalah sawah (terutama di bagian hilir). Sedangkan untuk permukiman terdapat sekitar 560,4 ha (8,62%) yang terdampak banjir. Jika menggunakan nilai standar dari Damage and Loss Assessment (DaLA) dari InaSafe BNPB, dimana potensi kerugian dari permukiman terdampak bencana adalah Rp. 180.000/m² untuk rata-rata kerusakan ringan di perkotaan dan pedesaan, maka potensi kerugian ekonomi dari seluruh lahan permukiman di DTA Barabai adalah sebesar 1,008 Trilyun Rupiah. Angka yang ditimbulkan terlihat sangat besar, karena data penutupan lahan bukan sepenuhnya bangunan sehingga estimasi sesungguhnya bisa dibawah angka tersebut. Sedangkan untuk memperoleh nilai kerugian lahan pertanian perlu mendapatkan angka penurunan produksi terlebih dahulu yang kemudian dikalikan dengan nilai jual produk per ton.

Tabel 5-9 Penutupan Lahan di DTA Barabai Yang Terdampak Banjir Hasil Pemodelan

Penutupan Lahan	Luas (ha)	Proporsi (%)
Hutan Lahan Kering Primer	33,57	0,52%
Hutan Lahan Kering Sekunder	44,54	0,68%
Pemukiman	560,40	8,62%
Pertanian Lahan Kering	907,00	13,95%
Pertanian Lahan Kering Campur	1.468,95	22,59%
Sawah	3.486,62	53,62%
Semak Belukar	1,36	0,02%
Total	6.502,45	100,00%

Sumber: Dwinanti & PRPW UI, 2021

Dari hasil survey lapangan, laporan dampak banjir di Kabupaten HST menunjukkan angka yang cukup besar. Jumlah penduduk yang terdampak sekitar 29.062 KK dengan korban jiwa hingga 10 orang. Begitupula dengan bangunan rumah yang rusak sekitar 2.973 unit dan 183 unit hilang terseret arus banjir. Sedangkan fasilitas umum terdampak terdapat sekitar 173 sekolah, 150 tempat ibadah dan 31 fasilitas kesehatan.

2.5 Formasi Ekoregion

Secara umum terdapat sembilan tipe formasi ekoregion di DTA Barabai, dimana ekoregion “Perbukitan struktural lipatan bermaterial campuran batuan sedimen karbonat dan non karbonat bervegetasi hutan dipterokarpa pamah” serta “Perbukitan solusional karst bermaterial batuan sedimen karbonat bervegetasi hutan batugamping pamah pada bentang alam karst” menjadi dua tipe yang paling dominan. Formasi ekoregion “perbukitan struktural lipatan bermaterial campuran batuan sedimen karbonat dan non karbonat” memiliki ciri khas di lapangan berupa batu gamping dan memiliki fungsi lahan sebagai penyedia air permukaan dan daerah tangkapan hujan. Umumnya vegetasi berupa hutan dipterokarpa pamah bercirikan seperti tegakan pohon tinggi sekitar 30-60 m, batang pohon yang lurus dan relatif ramping, tajuk pohon yang lebat tetapi berdaun kecil, lebar dan berwarna hijau. Sedangkan formasi ekoregion “Perbukitan solusional karst bermaterial batuan sedimen karbonat” tersusun atas material batuan sedimen karbonat, seperti batugamping (*limestones*) yang membentuk topografi karst. Vegetasi umumnya berupa tipe hutan dipterokarpa pamah dan hutan non dipterokarpa pamah yang berkembang pada lahan pamah bentang alam karst. Formasi ini sangat memungkinkan menjadi tempat tertampungnya air sebelum mengalir lagi menuju hilir karena memiliki porositas yang tinggi dan memiliki daya tampung air yang baik.

Tabel 5-10 Formasi Ekoregion di DTA Barabai

Formasi Ekoregion	Luas (ha)	Proporsi (%)
Dataran fluvial bermaterial aluvium bervegetasi terna rawa air tawar	5.068,76	18,70%
Dataran struktural lipatan berombak-bergelombang bermaterial batuan sedimen non karbonat bervegetasi hutan pamah (non dipterokarpa)	11,73	0,04%
Lembah sungai bermaterial aluvium bervegetasi terna rawa air payau	682,07	2,52%
Perbukitan solusional karst bermaterial batuan sedimen karbonat bervegetasi hutan batugamping pamah pada bentang alam karst	7.099,11	26,19%
Perbukitan struktural lipatan bermaterial batuan sedimen non karbonat bervegetasi hutan pamah (non dipterokarpa)	59,63	0,22%
Perbukitan struktural lipatan bermaterial batuan sedimen non karbonat bervegetasi hutan pegunungan bawah	3,41	0,01%
Perbukitan struktural lipatan bermaterial campuran batuan sedimen karbonat dan non karbonat bervegetasi hutan dipterokarpa pamah	10.092,90	37,23%
Perbukitan struktural plutonik bermaterial batuan beku dalam bervegetasi hutan pegunungan bawah	4.089,12	15,09%
Total	27.106,72	100,00%

Sumber: KLHK, 2021

Berdasarkan titik lokasi banjir Januari 2021, sebaran lokasi tersebut umumnya berada di ekoregion Lembah sungai bermaterial aluvium bervegetasi terna rawa air payau yang tersebar di Desa Buntu Karau, Desa Marias, Desa Sirap, Desa Mungkur Uyam, Desa Juai, dll. Karakteristik formasi ekoregion pada desa-desa tersebut, seharusnya dapat menjadi daerah resapan air. Namun kondisinya yang berupa lembahan dan telah beralih fungsi menjadi permukiman, maka terjadilah genangan banjir pada lokasi-lokasi tersebut. Ditambah dengan lokasinya yang dekat dengan sungai maka jika terjadi curah hujan yang ekstrim dapat berpotensi banjir karena daya dukung dan daya tampung sungai yang tidak mampu lagi terhadap volume air sungai.

BAB - III

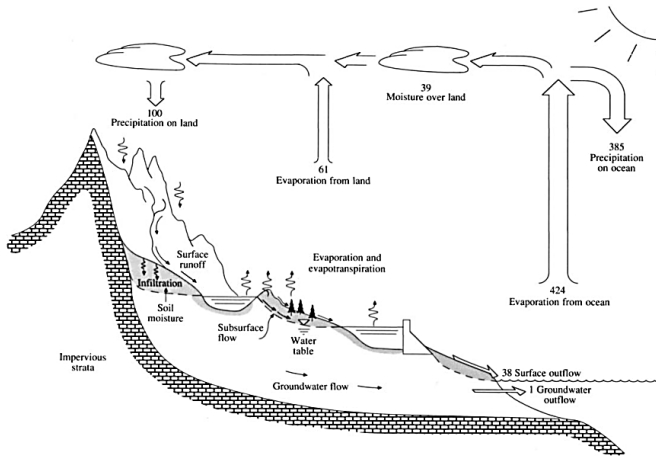
Permodelan Aliran Banjir

3.1 Konsep Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir merupakan metode-metode yang digunakan untuk mengurangi atau mencegah terjadinya dampak buruk dari air banjir. Untuk memahami pengendalian banjir, diperlukan pemahaman terkait siklus air dan fenomena banjir, mitigasi bencana banjir, dan pemodelan pengendalian banjir dengan bantuan *software*. Pada bagian ini, akan dibahas terkait pengamanan lingkungan hidup berbasis ekoregion sebagai upaya pengendalian banjir.

3.2 Siklus Hidrologi dan Fenomena Banjir

Menurut (Chow, 1988), siklus hidrologi merupakan sebuah proses yang berlangsung secara kontinu. Siklus ini tidak memiliki awal dan akhir. Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, air menguap dari lautan dan daratan menjadi bagian dari atmosfer. Kemudian, uap air ini bergerak di atmosfer hingga mengembun dan mengendap pada daratan dan lautan. Presipitasi dari air dapat terintervensi oleh tanaman, menjadi limpasan hujan pada permukaan, terinfiltrasi ke dalam tanah, mengalir melalui tanah sebagai aliran bawah tanah, dan masuk ke badan air.

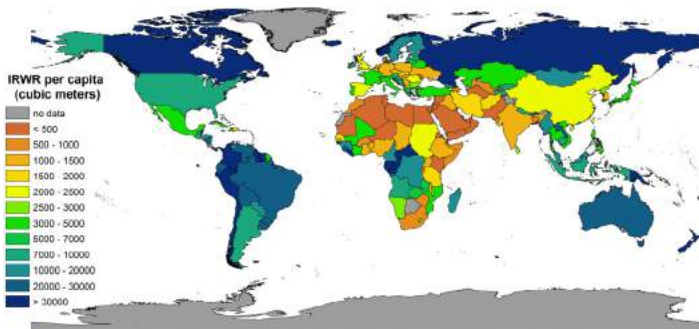


Gambar 7-1 Siklus Hidrologi

Sumber: Chow, 1988

3.2.1 Neraca Air

Neraca air adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Dalam neraca air, banyaknya air yang masuk ke dalam sebuah sistem hidrologi adalah sama dengan banyaknya air yang keluar dan jumlah simpanan yang berubah dalam satu interval waktu.



Gambar 7-2 Internal Renewable Water Resources (IRWR) per Tahun 2012

Sumber: Mancosu, et al., 2015

Menurut Reynold Transport Theorem, total perubahan properti B menurut waktu adalah sama dengan total perubahan properti B yang tersimpan dalam *control volume* dan total properti B yang keluar dari sistem melalui *control surface*.

$$\frac{dB}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{c.v.} \beta \rho dV + \iint_{c.s.} \beta \rho \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A}$$

Dengan mengaplikasikan hukum konservasi massa pada persamaan di atas ($B = m$, $\beta = dB/dm = 1$), dapat diketahui bahwa dalam sebuah sistem hidrologi tidak terjadi perubahan massa menurut waktu ($dm/dt = 0$). Dengan mensubstitusikan nilai-nilai ini dan mengasumsikan ρ konstan, didapatkan:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{c.v.} dV + \iint_{c.s.} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\iint_{c.s.} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \iint_{outlet} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} + \iint_{inlet} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = Q(t) - I(t)$$

Maka, persamaan kontinuitas ini dapat ditulis ulang sebagai:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t)$$

Dalam hidrologi, neraca air dapat dinyatakan dalam sebuah persamaan yang mendeskripsikan aliran air masuk dan keluar sebuah sistem. Pada hal ini, sistem diasumsikan memiliki *steady flow* atau tidak terjadi perubahan menurut waktu. Oleh karena itu, persamaan untuk neraca air dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma S &= \Sigma I - \Sigma Q \\ &\text{atau} \\ S &= P - Q - E - \Delta S_s - \Delta S_G \end{aligned}$$

dimana,

S : *storage* (simpanan)

- I : *inflow*
- P : presipitasi
- Q : *outflow*
- E : evapotranspirasi
- ΔS_s : perubahan simpanan permukaan
- ΔS_G : perubahan simpanan bawah tanah

3.2.2 Kuantifikasi Aliran

Untuk mendefinisikan fluida bergerak, kita perlu mengetahui perubahan properti fisik dari fluida seperti massa jenis, kecepatan, tekanan, suhu, dsb sebagai fungsi waktu di seluruh titik dalam sebuah ruang. Terdapat 2 cara untuk mendeskripsikan fluida bergerak, yaitu dengan pendekatan Langrangian dan pendekatan Eulerian. Kedua pendekatan ini memiliki perbandingan sebagai berikut:

Tabel 7-1 Perbandingan Pendekatan Langrangian dan Eulerian

Langrangian	Eulerian
Pengamatan dilakukan terhadap satu partikel fluida	Pengamatan dilakukan terhadap satu titik dalam aliran partikel
Pengamatan terhadap parameter fluida dilakukan pada titik tertentu	Pengamatan terhadap karakteristik aliran pada setiap titik dapat dideskripsikan seiring partikel fluida melintas
Jarang digunakan	Umum digunakan

Sumber: Langrangian dan Eulerian

Menurut pendekatan Eulerian, properti fluida seperti kecepatan merupakan fungsi ruang dan waktu. Sehingga, kecepatan fluida dapat dinyatakan sebagai $V(x, y, z, t)$ dengan area yang ditinjau disebut sebagai *flow field*. V merupakan kecepatan (flux fluida) yang melalui sebuah titik dalam ruang pada suatu waktu. Menurut hukum konservasi massa, tidak terjadi perubahan massa dalam suatu kontrol volume. Dari hukum ini, diketahui *flow rate*, Q adalah:

$$Q = \int_A V_n dA$$

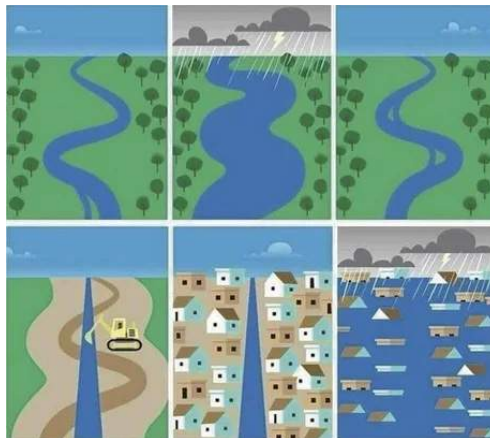
$$Q = AV$$

dengan V_n merupakan komponen normal dari kecepatan. *Flow rate* biasanya digunakan untuk melakukan kuantifikasi aliran *incompressible*.

3.2.3 Banjir Sebagai Peristiwa Alamiah dan Bencana

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) membedakan antara sebuah bencana dan peristiwa alamiah yang menyebabkannya. Bencana merupakan dampak dari kurangnya upaya pencegahan dan perencanaan terhadap sebuah peristiwa alamiah. Bencana terjadi akibat adanya campur tangan manusia pada sistem alam. Sebagai contoh, pada gambar di bawah ini, dapat dilihat bahwa meluapnya air dari badan sungai pada saat hujan merupakan sesuatu yang lumrah. Banjir membentuk lanskap, habitat, dan ekosistem di dataran banjir, lahan basah, dan dataran rendah lainnya.

Sementara itu, keberadaan permukiman di sekitar badan air dapat menyebabkan terjadinya bencana. Sering kali, sungai dipindahkan dari bentuk alamiahnya ke dalam saluran-saluran buatan. Peningkatan debit aliran sungai dapat menimbulkan terjadinya banjir pada wilayah ini, terlebih apabila terjadi perubahan tutupan lahan yang memperparah banjir dan dampaknya ini.



Gambar 7-3 Banjir sebagai Peristiwa Alamiah dan Bencana

Sumber: Google Search, 2021

Banjir merupakan peristiwa alamiah. Namun, banjir juga dapat berubah menjadi bencana yang membawa banyak kerusakan, permasalahan ekonomi, kesehatan, bahkan kematian. Secara umum, banjir hampir tidak mungkin untuk dicegah. Namun, penanganan dan perencanaan untuk mengurangi frekuensi dan dampaknya dapat dilakukan.

3.3 Mitigasi Bencana Banjir

Definisi bencana yang tertuang dalam Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang 'Penanggulangan Bencana' adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Menurut PP No. 21 Tahun 2008 tentang 'Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana', mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Untuk memahami lebih dalam terkait mitigasi bencana banjir, penting untuk mengetahui siklus dari bencana secara umum, manajemen bencana, serta kegiatan dan prasarana/sarana pencegahan bencana banjir.

3.3.1 Siklus Bencana



Gambar 7-4 Siklus Bencana

Bencana terjadi dalam 3 tahapan, yaitu pencegahan (*prevention*), respon/inverensi, dan pemulihan (*recovery*). Berikut adalah definisi dari masing-masing tahapan bencana:

1) Pencegahan (*Prevention*)

Tahap pencegahan merupakan tahapan persiapan. Pada tahap ini, direncanakan bagaimana dampak negatif bencana dapat dikurangi (mitigasi) dan bagaimana bencana akan ditanggapi. Dalam tahap ini, bentuk pencegahan yang dilakukan adalah pencegahan jangka panjang (pendekatan struktural dan nonstruktural) dan jangka pendek (persiapan prabencana, persiapan tanggap darurat, analisis risiko).

2) Respon dan Intervensi

Tahap respon dan intervensi merupakan tahap dimana bencana itu sendiri terjadi. Pada tahap ini, persiapan yang telah dilakukan pada tahap pencegahan diimplementasikan. Tahap ini meliputi tindakan *flood warning* serta respon cepat dan *flood fighting*.

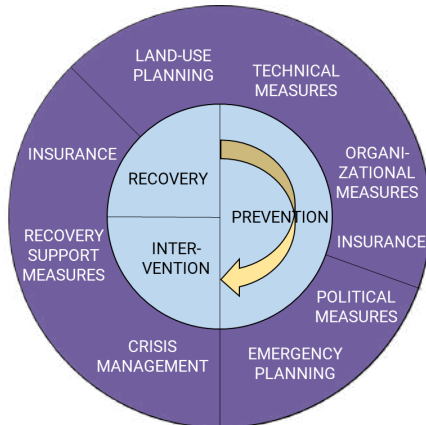
3) Pemulihan (*Recovery*)

Tahap pemulihan bertujuan untuk mengembalikan masyarakat dan lingkungan ke kondisi normal. Didalamnya, dilakukan kegiatan-kegiatan berupa bantuan dan perbaikan, asesmen dampak banjir dan asuransi, serta kajian banjir.

3.3.2 Manajemen Bencana Banjir

Bencana memiliki banyak bentuk, baik akibat manusia maupun peristiwa alamiah. Dalam bentuk apapun, bencana dapat mengganggu sebuah komunitas dan berdampak buruk pada masyarakat, properti, ekonomi, dan juga lingkungan. Oleh karena itu, untuk menganggulangi hal ini dibutuhkan manajemen bencana yang baik.

Manajemen bencana sendiri merupakan sebuah proses mempersiapkan dan merespon sebuah bencana secara efektif. Manajemen bencana meliputi mengorganisir sumber daya yang ada untuk mengurangi dampak bencana. Selain itu, manajemen bencana juga mencakup pendekatan sistematis untuk mengelola tanggung jawab terhadap pencegahan bencana, persiapan, respon, dan pemulihan. Secara umum, manajemen bencana untuk setiap tahap dari siklus bencana dapat dinyatakan dalam gambar berikut:



Gambar 7-5 Manajemen Bencana

Sumber: Risk Management & The System Approach

Kegiatan manajemen bencana dilakukan mengikuti siklus bencana yang tertera di atas. Pada bagian ini, akan dibahas kegiatan-kegiatan yang dilakukan sebagai bagian dari manajemen bencana banjir berdasarkan tahapan siklus bencana.

Berikut adalah kegiatan yang dilakukan untuk masing-masing tahapan siklus bencana banjir.

Tabel 7-2 Kegiatan Manajemen Bencana dalam Siklus Bencana Banjir

Siklus	Kegiatan
Pencegahan (Prevention)	Jangka Panjang - Struktural - Nonstruktural Jangka Pendek - Persiapan Prabencana - Persiapan Tanggap Darurat - Analisis Risiko
Respon/ Intervensi	<i>Flood Warning</i> Respon Cepat dan <i>Flood Fighting</i>
Pemulihan (Recovery)	Bantuan Dan Perbaikan Asesmen Dampak Banjir dan Asuransi Kajian Banjir.

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.3.2.1 Kegiatan Pencegahan (Prevention)

Kegiatan pencegahan yang dapat dilakukan dapat dibedakan menurut jangka pencegahannya, yaitu pencegahan jangka panjang dan pencegahan jangka pendek. Berikut adalah penjabaran masing-masing kegiatan:

1) Pencegahan Banjir Jangka Panjang (*Long Term Flood Prevention*)

Pencegahan banjir jangka panjang dimaksudkan untuk mencegah banjir selama beberapa tahun ke depan. Pencegahan ini dapat dibedakan menurut pendekatannya yang struktural seperti pengendalian banjir di wilayah sungai (*in-stream*) hingga wilayah dataran banjir (*off-stream*) atau nonstruktural seperti pembuatan regulasi, pengelolaan tata guna lahan, hingga sistem peringatan dini.

2) Pencegahan Banjir Jangka Pendek (*Short Term Flood Prevention*)

Pencegahan banjir jangka pendek meliputi 3 hal seperti pada tabel di atas, yaitu persiapan prabencana, persiapan

tanggap darurat, dan analisis risiko. Dalam persiapan prabencana, kegiatan yang dilakukan antara lain adalah pemetaan kawasan rawan banjir, *stockpiling* material untuk menahan luapan air, mendata peralatan untuk pertahanan terhadap banjir, melakukan inspeksi dan perawatan terhadap fasilitas pengendalian banjir, dan menyiapkan lokasi pengungsian untuk masyarakat terdampak banjir. Untuk persiapan tanggap darurat, kegiatan yang dapat dilakukan meliputi pembuatan sistem informasi dan fasilitas komunikasi, *monitoring* aliran pada hulu serta menyediakan sensor dan alarm, serta memerhatikan laporan cuaca. Sementara, analisis risiko dilakukan untuk mengetahui bahaya, *exposure*, kerentanan, kapasitas wilayah, dsb.

3.3.2.2 Kegiatan Respon dan Intervensi

Kegiatan respon dan intervensi untuk menghadapi saat banjir terjadi. Kegiatan ini terdiri atas *flood warning* serta respon cepat dan *flood fighting*. *Flood warning* atau penetapan tingkat siaga banjir dilakukan oleh pemerintah daerah untuk disebarkan melalui berbagai media informasi. Kegiatan respon dan *flood fighting* cepat meliputi pelaporan bencana dan kebutuhan bantuan darurat, koordinasi posko bencana dan bantuan logistik, evakuasi, penyelamatan korban, penyediaan layanan kesehatan, dsb.

3.3.2.3 Kegiatan Pemulihan (Recovery)

Kegiatan pemulihan yang dilakukan dengan bantuan dan perbaikan, asesmen dampak banjir dan asuransi, serta kajian penyebab terjadinya banjir. Bantuan dan perbaikan yang dimaksud adalah bantuan dan perbaikan yang dilakukan segera setelah banjir berakhir, yaitu perbaikan fasilitas umum, mengembalikan masyarakat ke kediamannya masing-masing, rehabilitas korban banjir, dan memberikan bimbingan dan penyuluhan kepada korban banjir. Asesmen dampak banjir dan asuransi dilakukan dengan pendataan korban, penilaian kerugian non-fisik, serta pelaporan penggunaan dan dan bantuan logistik. Kajian banjir dilakukan dalam bentuk kajian untuk daerah-daerah

rawan banjir, evaluasi program-program mitigasi, dan kajian alternatif serta masukan untuk mitigasi bencana banjir.

3.3.2.4 Kegiatan dan Prasarana/Sarana Pencegahan Bencana Banjir

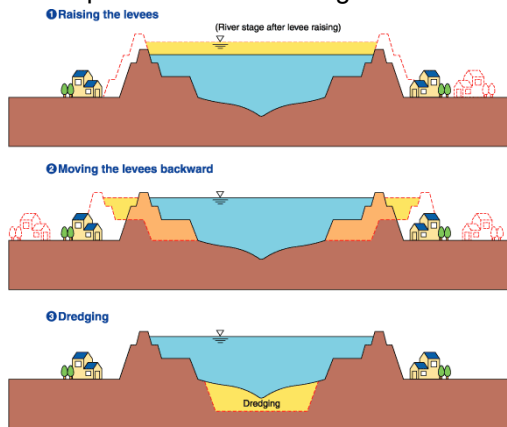
Seperti yang dibahas sebelumnya, pencegahan bencana banjir jangka panjang dapat dilakukan dengan pendekatan struktural. Pendekatan struktural ini dapat diimplementasikan untuk wilayah sungai (*in-stream*) hingga wilayah dataran banjir (*off-stream*). Berikut adalah bentuk prasarana/sarana pencegahan banjir struktural yang dapat dilakukan menurut lokasinya:

1) Prasarana/Sarana *In-Stream*

Berikut adalah prasarana/sarana pencegahan banjir struktural pada wilayah sungai:

a. Struktur sepanjang aliran sungai

Struktur pencegahan banjir yang dapat dibangun sepanjang aliran sungai antara lain adalah modifikasi saluran atau pagar, dan tanggul. Hal ini dimaksudkan agar air dari badan sungai tidak meluap dan menggenangi wilayah sekitarnya dengan memperbesar volume sungai.

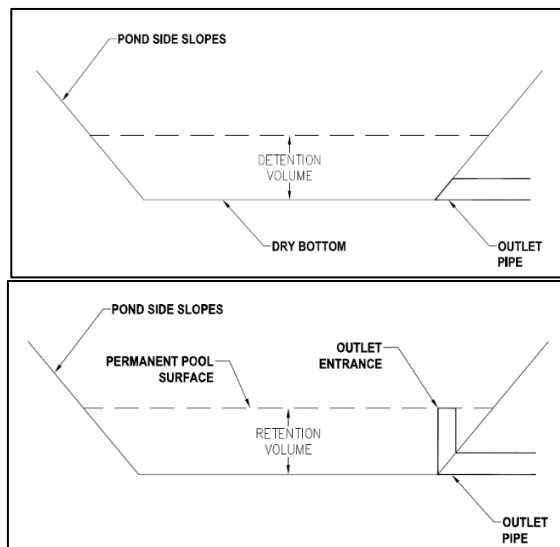


Gambar 7-6 Metode Memperbesar Cross Section Sungai

Sumber: water.go.jp

b. Struktur yang membutuhkan ruang

Beberapa struktur yang dapat dibangun sebagai upaya pencegahan banjir yang membutuhkan ruang lebih antara lain adalah fasilitas detensi/retensi dan sistem pengendalian sedimentasi. Kolam detensi dimaksudkan untuk menampung sementara aliran permukaan dan mengalirkannya secara terkontrol. Sementara, kolam retensi memiliki tampungan permanen dan dimaksudkan untuk melakukan *treatment* terhadap aliran untuk mengurangi polutan dan sedimen sebelum dialirkan.



Gambar 7-7 Fasilitas Detensi/Retensi

(a) Kolam Detensi, (b) Kolam Retensi

Sumber: Foresite Group

c. Struktur lokal

Struktur lokal yang dapat dibangun sebagai pencegahan banjir antara lain adalah jembatan dan perubahan atau penggantian gorong-gorong.

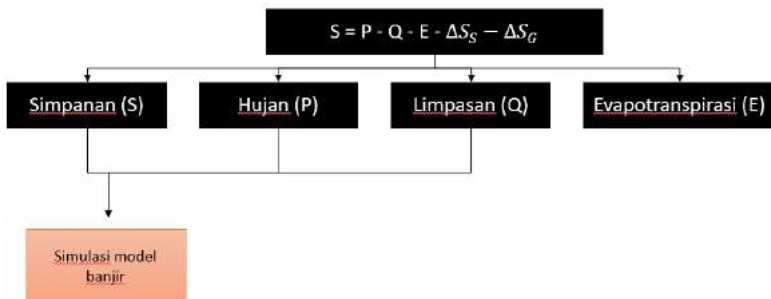
2) Prasarana/Sarana Off-Stream

Sebagai upaya pencegahan banjir *off-stream*, dapat dilakukan kegiatan berikut ini:

- Perbaikan dan konstruksi sistem drainase
- Konstruksi fasilitas detensi/retensi
- Konstruksi sistem infiltrasi
- Konstruksi sistem polder
- Pengendalian erosi, perawatan lereng dan sengkedan

3.4 Permodelan Aliran Banjir

Banjir adalah sebuah aliran yang secara relatif lebih besar yang meluap dari saluran alami yang terbentuk untuk menampung aliran permukaan (Ven Te Chow, 1956). Aliran tersebut jika meluap dapat menghasilkan genangan genangan yang berada pada lahan yang biasanya berada dalam kondisi kering seperti pada lahan pertanian, permukiman, dan pusat kota. Prinsip dasar dari terjadinya suatu banjir dimunculkan pada diagram berikut:



Gambar 7-8 Komponen dalam Siklus Hidrologi

Sumber: Dwinanti, 2021

Diketahui bahwa Fungsi Simpanan (S) merupakan daya tampung dari sebuah sistem daerah tangkapan air yang memiliki tampungan ataupun saluran/sungai. Dalam kondisi ideal berlaku persamaan kekekalan massa di mana besar tampungan harus sama dengan selisih antara aliran air yang masuk dan aliran air yang keluar dari sistem tersebut. Air yang masuk dan keluar pada

sistem tersebut akan sangat bergantung dengan cakupan luas dari daerah tangkapan air yang akan dilakukan analisis.

Secara umum, aliran air yang masuk kedalam sistem tersebut berasal dari hujan. Sebagian air akan jatuh langsung menuju tampungan dan saluran dan sebagian hujan jatuh pada daerah di dalam daerah tangkapan air yang melimpas dan menjadi aliran permukaan lalu mengalir menuju sungai atau tampungan terdekat. Jika debit yang dihasilkan oleh limpasan ini (debit banjir) melebihi kapasitas dari tampungan ataupun saluran yang ada, maka air akan meluap. Aliran air yang keluar dari sistem daerah tangkapan air ini dapat berupa evapotranspirasi, evaporasi, infiltrasi, intersepsi dan lainnya.

Berdasarkan prinsip tersebut, maka dapat dilakukan suatu permodelan aliran banjir dari lokasi yang akan dianalisis. Permodelan aliran banjir pada suatu saluran terbuka ataupun sungai merupakan cara untuk mengamati dan menganalisis bentuk serta pola dari aliran yang berada di sepanjang aliran sungai tersebut. Simulasi dapat dilakukan dengan membuat suatu model fisik ataupun dengan pembuatan model matematis dengan bantuan komputer. Dalam laporan ini, permodelan banjir yang dilakukan adalah dengan menggunakan bantuan computer dengan beberapa alat bantu seperti QGIS, HEC-RAS, dan GITBoLA.

3.4.1 Persiapan Model

3.4.1.1 Alat Bantu QGIS

Quantum GIS (QGIS) adalah salah satu aplikasi untuk mengolah data berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis *open source* dengan lisensi di bawah GNU *General Public License*. QGIS bertujuan untuk menjadi aplikasi pengolah GIS yang mudah digunakan dengan menyediakan fungsi serta fitur yang umum digunakan. QGIS digunakan dalam analisis ini sebagai salah satu alternatif aplikasi untuk mengolah data spasial dikarenakan:

- 1) QGIS dapat diakses secara gratis serta tidak membutuhkan biaya tambahan dalam proses instalasi dan penggunaan program.
- 2) Sistem kode dari QGIS dapat diakses secara bebas. Hal ini memungkinkan pengguna dapat menambahkan dan memodifikasi fungsi yang berada pada QGIS. Hal ini memungkinkan pengguna untuk menambah fitur baru dan melakukan penyempurnaan pada aplikasi.
- 3) Kelengkapan dari QGIS berupa aplikasi, dokumen panduan dan pertolongan, pendukung panduan dan bantuan terhadap permasalahan dapat diakses secara online dan tersedia pada berbagai sistem operasi.

Aplikasi QGIS yang digunakan untuk desktop memiliki beberapa fungsi yang dapat digunakan, antara lain:

- 1) Menampilkan data berbentuk vector maupun raster dalam berbagai format dan proyeksi yang berbeda
- 2) Aplikasi pemetaan dan pengolahan data spasial
- 3) Dukungan membuat, merubah, dan *export* data spasial
- 4) Analisis data spasial
- 5) Publikasi peta melalui jaringan internet menggunakan *Web Map Services*.

3.4.1.2 Alat Bantu HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center-River Analysis System atau biasa disebut HEC-RAS yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) merupakan aplikasi yang berguna dalam melakukan pemodelan aliran yang terjadi di sungai. Dalam aplikasi HEC-RAS terdapat empat komponen yang dapat dilakukan untuk membantu analisis, yaitu:

1) *Steady Flow Water Surface Component*

Komponen ini dapat digunakan untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah beraturan (*steady gradually varied*) flow pada aliran suatu sungai. Jenis dari aliran yang dapat dimodelkan oleh komponen adalah aliran sub-kritis, super-kritis, dan gabungan kedua jenis tersebut. Proses perhitungan profil muka air yang dilakukan oleh komponen ini berdasar pada penyelesaian persamaan

energi (satu-dimensi). Kehilangan energi yang terjadi diasumsikan terjadi akibat gesekan antara air dengan material penampang sungai yang direpresentasikan oleh koefisien manning dan koefisien kontraksi/ekspansi.

2) *Unsteady Flow Simulation*

Komponen ini dapat menyimulasikan aliran tidak permanen secara 1 dimensi, 2 dimensi, dan kombinasi dari keduanya. Permodelan ini dapat dilakukan pada suatu sistem jaringan saluran terbuka ataupun sungai.

a. *Sediment Transport*

b. *Water Quality Analysys*

HEC-RAS digunakan dalam analisis ini sebagai aplikasi untuk melakukan permodelan aliran dikarenakan:

- 1) HEC-RAS dapat diakses secara gratis serta tidak membutuhkan biaya tambahan dalam proses instalasi dan penggunaan program.
- 2) HEC-RAS secara umum digunakan pada dunia akademis dan juga professional sebagai alat untuk memodelkan aliran.
- 3) HEC-RAS dilakukan update secara rutin oleh HEC untuk memperbaiki fitur yang ada dan mengembangkan perangkat ini.
- 4) HEC-RAS mampu secara efektif menyimulasikan banjir secara 1 dimensi maupun 2 dimensi.

3.4.1.3 Alat Bantu GITBoLA

GITBoLA merupakan akronim dari “*Green Infrastructure Tool Based on Location Analysis*”. GITBoLA merupakan suatu ekstensi dari aplikasi QGIS yang berguna untuk melakukan pemetaan kesesuaian *Best Management Practice* (BMPs) berupa teknologi hijau yaitu: *constructed wetland, infiltration basin, bioretention, sand filter, rain barrel, cistern, wet pond, dry pond, grassed swale, infiltration trench, vegetated filter strip, sand filter, green roof, dan porous pavement*.

Analisis yang dilakukan pada aplikasi GITBoLA didasarkan pada analisis multikriteria spasial dari beberapa variabel yang menentukan kesesuaian menempatkan teknologi

hijau pada skala daerah tangkapan air dengan menggunakan kriteria US EPA. Variabel-variabel tersebut adalah model elevasi digital, penggunaan lahan, tutupan kedap air, penggunaan lahan perkotaan (parsel bangunan), kepemilikan tanah, jalan, aliran, tanah, dan kedalaman air tanah. Variabel tersebut ditunjukkan melalui tabel berikut:

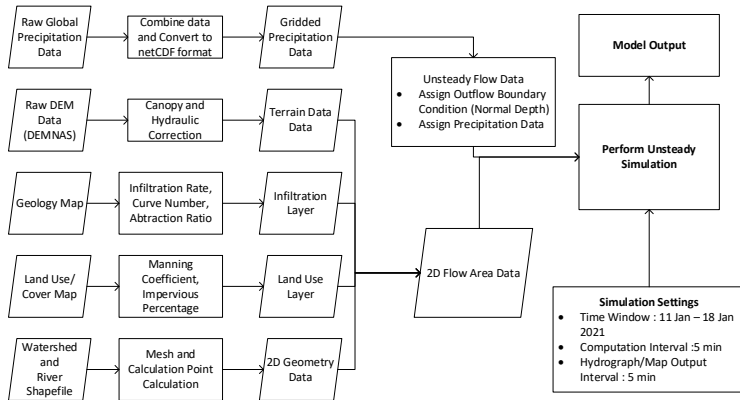
Tabel 7-3 Variabel Kesesuaian Teknologi Green Infrastructure

BMP type	Drainage area	Drainage slope	Impervious	Hydrology soil group	Water table depth	Road buffer	Stream buffer	Building buffer
	(acre)	(%)	(%)		(feet)	(feet)	(feet)	(feet)
Bioretention	<2	<5	>0	A-D	>2	<100	>100	--
Cistern	--	--	--	--	--	--	--	<30
Constructed wetland	>25	<15	>0	A-D	>4	--	>100	--
Dry pond	>10	>15	>0	A-D	>4	--	>100	--
Grassed swale	<5	<4	>0	A-D	>2	<100	--	--
Green roof	--	--	--	--	--	--	--	<1
Infiltration basin	<10	<15	>0	A-B	>4	--	>100	--
Infiltration trench	<5	<15	>0	A-B	>4	--	>100	--
Porous pavement	<3	<1	>0	A-B	>2	--	--	--
Rain barrel	--	--	--	--	--	--	--	<30
Sand filter non-surface	<2	<10	>0	A-D	>2	--	>100	--
Sand filter surface	<10	<10	>0	A-D	>2	--	>100	--
Vegetated filterstrip	--	<10	>0	A-D	>2	<100	--	--
Wet pond	>25	<15	>0	A-D	>4	--	>100	--

Sumber: US EPA

3.4.2 Persiapan Input HEC-RAS

Dalam penelitian yang dilakukan kali ini bahwa secara umum untuk melakukan running dengan HEC-RAS dilakukan 3 tahapan besar yaitu Persiapan *Input Data*, Proses *Running*, dan Pengolahan *Output*. Kebutuhan data untuk HEC-RAS dan proses yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 7-9 Kebutuhan data dan Proses untuk HEC-RAS

Sumber: Pengolahan Data, 2021

Untuk melakukan permodelan tersebut dibutuhkan beberapa data yang menjadi input untuk aplikasi HEC-RAS, antara lain *Raw Global Precipitation Data*, *Raw DEM*, *Geology Map*, *Land Use/Cover Map*, dan *Watershed and River Shapefile*.

Data yang dibutuhkan tersebut, disediakan untuk skala setiap Sub DAS, pada bagian berikut ini akan dijelaskan sumber dari data yang didapatkan serta proses yang dilakukan agar data tersebut dapat digunakan untuk permodelan pada HEC-RAS.

3.4.2.1 Raw Global Precipitation Data

Data TRMM merupakan data hujan yang bersumber dari satelit meteorologi *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) yang memiliki sensor PR (*Precipitation Radar*), TMI (*TRMM Microwave Imager*), dan VIRS (*Visible and Infrared Scanner*), CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*), dan LIS (*Lightning Imaging Sensor*). Data hujan yang dihasilkan oleh TRMM memiliki tipe dan bentuk yang cukup beragam yang dimulai dari level 1 sampai level 3. Level 1 merupakan data yang masih dalam bentuk raw dan telah dikalibrasi dan dikoreksi geometrik, Level 2 merupakan data yang telah memiliki gambaran parameter geofisik hujan pada resolusi spasial yang sama akan tetapi masih dalam kondisi asli keadaan hujan saat satelit tersebut melewati daerah yang direkam, sedangkan level 3

merupakan data yang telah memiliki nilai-nilai hujan, khususnya kondisi hujan bulanan yang merupakan penggabungan dari kondisi hujan dari level 2.

Data hujan TRMM didapatkan dari website *giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/*. Data TRMM yang didapatkan dari website tersebut merupakan data hujan yang dapat diakses secara gratis. Data tersebut menurut klaim dari penyedia dikatakan bahwa sudah dikoreksi dengan pembacaan besaran hujan di stasiun hujan terdekat. Data yang didapatkan dari TRMM tersebut perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Pengolahan tersebut berupa menyatukan data raster dari beberapa *file* dan menyesuaikan cakupannya menjadi sebesar daerah yang dilakukan analisis. Proses ini dapat dilakukan dengan bantuan QGIS.

Selain menggunakan data hujan yang bersumber dari satelit, untuk melakukan permodelan HEC-RAS juga dilakukan dengan input data berupa hujan rencana. Hujan rencana merupakan perkiraan besar dari hujan yang akan terjadi pada suatu wilayah tertentu berdasarkan data pembacaan curah hujan maksimum harian yang ada di stasiun hujan terdekat. Dalam melakukan perhitungan terhadap hujan rencana dapat digunakan beberapa jenis distribusi. Berikut merupakan jenis distribusi yang umum digunakan dalam melakukan perhitungan hujan rencana:

- 1) Distribusi normal secara umum dipakai pada suatu analisis hidrologi, misal dalam menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi Gauss (Soewarno, 1995).
- 2) Distribusi log normal adalah hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah nilai variant X menjadi nilai logaritmik variant (Soewarno, 1995).
- 3) Distribusi Gumbel Tipe I atau dapat disebut juga distribusi ekstrem tipe 1. Secara umum dipakai sebagai metode untuk menganalisis data maksimum, misalnya frekuensi banjir (Soewarno, 1995). Gumbel mengatakan bahwa distribusi

variabel-variabel hidrologi tak terbatas dan menggunakan distribusi dari harga-harga yang terbesar untuk meramalkan nilai-nilai terbesar yang akan datang selanjutnya (Soemarto, 1999).

- 4) Distribusi Log Pearson Tipe III dipakai untuk menganalisis variabel hidrologi terutama dalam melakukan analisis terhadap data maksimum seperti banjir serta analisis data minimum seperti debit minimum dengan nilai ekstrem. Merupakan transformasi dari distribusi Pearson Tipe III dengan mengganti varian menjadi nilai logaritmik (Soewarno, 1995).

Analisis pengujian kecocokan sebaran perlu dilakukan untuk menguji kesesuaian (*the goodness of fit test*) dari suatu distribusi frekuensi curah hujan dengan fungsi distribusi peluang terjadinya curah hujan yang diprediksi dapat merepresentasikan distribusi tersebut (Soewarno, 1995). Metode yang umum digunakan dalam pengujian ini merupakan uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

Uji chi-kuadrat merupakan pengujian terhadap perbedaan antara data sampel dan distribusi probabilitas. Prinsip yang digunakan pada metode ini adalah jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas serta ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut atau dengan membandingkan nilai chi kuadrat dengan nilai chi kuadrat kritis (Soewarno, 1995).

Uji Smirnov-Kolmogorov merupakan pengujian normalitas yang umum digunakan. Keunggulan dari pengujian ini, yaitu pengujian ini relatif lebih sederhana dan tidak memunculkan silih persepsi oleh pengamat yang kerap terjadi pada uji normalitas dengan metode grafik. Prinsip dasar dari uji normalitas Smirnov-Kolmogorov adalah dengan membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku (Soewarno, 1995).

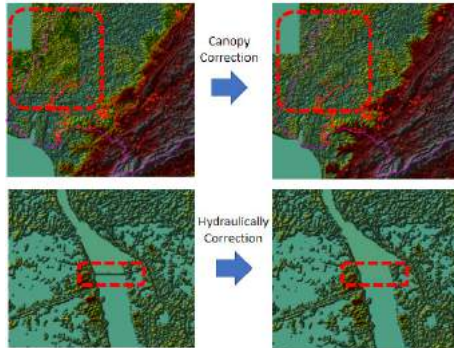
3.4.2.2 Raw DEM

Digital Elevation Model merupakan representasi digital dari elevasi permukaan tanah yang memiliki acuan beberapa

datum yang tersebar. DEM biasanya digunakan untuk merepresentasikan permukaan topografi apapun dikarenakan DEM merupakan bentuk yang paling sederhana dari topografi. DEM dapat direpresentasikan sebagai data raster atau yang dikenal sebagai heightmap ketika merepresentasikan ketinggian dan juga *Triangular Irregular Network (TIN)*.

Peta DEM yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta DEM yang berasal dari DEMNAS dengan skala 1:25000. DEMNAS mempunyai resolusi spasial 0.27–arcsecond atau jika dikonversi ke dalam satuan meter yakni 8 meter, dengan sistem proyeksi Geodetik dan datum vertikal menggunakan EGM 2008. Data penyusun DEMNAS terdiri dari IFSAR (resolusi spasial 5 meter), TerraSAR–X (resolusi spasial 5 meter) dan ALOS PALSAR (resolusi spasial 11.25 meter), dengan menambahkan data Masspoint hasil stereo–plotting. DEMNAS digunakan karena memiliki resolusi yang cukup baik untuk wilayah Indonesia serta dapat dengan mudah diakses secara gratis oleh penggunanya.

Peta DEM yang telah didapatkan perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Pengolahan yang dilakukan dapat menggunakan bantuan aplikasi QGIS yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Penggunaan QGIS dapat dilakukan untuk menggabungkan beberapa peta DEM menjadi 1 kesatuan dan juga memotong peta DEM yang ada menjadi sesuai dengan batasan DTA Barabai yang ada sehingga komputasi yang akan dilakukan nantinya akan menjadi lebih ringan, selain itu dengan aplikasi QGIS juga digunakan untuk melakukan koreksi DEM berupa *Canopy Correction* dan *Hydraulically Corection*.



Gambar 7-10 *Prosedur Perbaikan DEM Secara Umum*

Sumber: *Pengolahan Data, 2021*

3.4.2.3 *Geology Map*

Peta geologi merupakan bentuk ungkapan data dan informasi geologi suatu daerah/wilayah/kawasan dengan tingkat kualitas berdasarkan skala. Peta Geologi digunakan untuk menentukan jenis *Hydrological Soil Group* dari kelompok A-D. Masing-masing jenis batuan/tanah memiliki nilai *hydraulic conductivity* yang berbeda-beda. Maka, Penentuan kelompok A hingga D dapat didasarkan pada nilai *hydraulic conductivity* yang dimiliki oleh kelompok tanah tersebut. Berdasarkan data *hydraulic conductivity* yang terdapat pada buku *Groundwater* (R. Allan Freeze, 1979). Klasifikasi *hydrologic soil group* tersebut dapat digunakan untuk merepresentasikan kemampuan infiltrasi atau penyerapan air ke dalam tanah.

Selain itu, *hydrologic soil group* juga akan berkaitan dengan input file lain berupa *land use*. Klasifikasi *hydrologic soil group* akan memengaruhi besaran nilai dari nilai CN yang akan digunakan untuk merepresentasikan suatu jenis tutupan lahan tertentu. Nilai CN (*runoff curve number*) adalah nilai yang merepresentasikan potensi air larian untuk suatu besar curah hujan tertentu.

Peta geologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta geologi yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk DTA Barabai. Peta yang dikeluarkan oleh Kementerian ESDM ini memiliki skala 1:50000.

3.4.2.4 *Land Use/Cover Map*

Penutupan lahan dapat pula berarti tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati dan merupakan hasil pengaturan, aktivitas, dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis penutup lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada areal tersebut (SNI 7645, 2010). Peta tutupan lahan ini akan menunjukkan fungsi/peruntukan dari suatu lahan yang ada. Jenis tutupan lahan ini akan sangat mempengaruhi terhadap kekasaran dari lokasi tersebut terhadap air yang mengalir di atasnya sehingga akan memengaruhi debit yang akan lalu pada daerah tersebut. Nilai koefisien kekasaran tersebut disebut dengan nilai koefisien kekasaran *manning*.

Jenis tutupan lahan tersebut juga memiliki besaran nilai *percent impervious cover* yang berbeda untuk setiap jenis tutupan lahan tertentu. Persen dari *impervious cover* adalah rasio antara luas total persen dari *impervious cover* dan total luas dari jenis tutupan lahan tersebut. Persen dari *impervious cover* dihitung untuk setiap jenis tutupan lahan.

Peta *land use* yang didapatkan dibutuhkan berbentuk shape file yang juga diolah dengan menggunakan aplikasi QGIS. Jenis data ini akan digunakan pada HEC-RAS untuk memodelkan pada skala DTA Barabai sebagai input data Land Use yang berisi nilai *Manning* dan *Percent Impervious* serta input data untuk data Infiltration Layer yang berisi *Curve Number*, *Abstraction Ratio*, dan *Minimum Infiltration Rate* yang juga bergantung dengan jenis tanah dalam DTA Barabai yang bersumber dari peta geologi pada bagian sebelumnya.

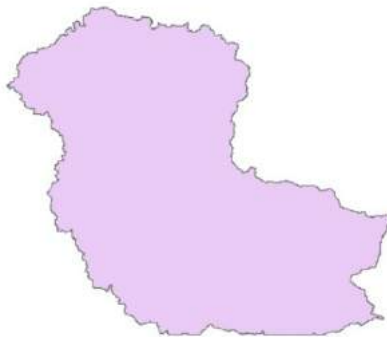


Gambar 7-11 Gambar Land Use Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.2.5 Watershed and River Shapefile

Watershed (DAS) merupakan jenis satuan unit untuk analisis hidrologi dan hidrolika pada suatu kawasan. Batas DAS/DTA untuk analisis ini digunakan sebagai batas daerah (perimeter) yang akan membatasi daerah komputasi dalam melakukan permodelan dengan menggunakan HEC-RAS. Data ini didapatkan dengan bentuk *shapefile* dan bersumber dari BPDAS. Batasan yang digunakan dalam analisis ini adalah sesuai dengan batas dari DTA Barabai.



Gambar 7-12 Watershed Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

River Shapefile adalah *shapefile* hasil digitasi dari kondisi alur sungai yang ada di dalam DTA Barabai. Alur sungai ini akan digunakan untuk menjadi *breaklines* pada HEC-RAS. *Breaklines* akan berguna untuk membuat sungai yang ada pada sub subDAS menjadi lebih detail terbaca ketika dilakukan permodelan.



Gambar 7-13 Jaringan Sungai Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.3 Persiapan Input GITBoLA

Aplikasi GITBoLA digunakan untuk melakukan pemetaan terhadap *green infrastructure / nature-based solution* yang cocok untuk diterapkan pada DTA Barabai. Aplikasi ini dipasangkan pada QGIS untuk menggunakan setiap fitur yang ada. Aplikasi ini membutuhkan beberapa data untuk melakukan analisis kesesuaian lahan teknologi hijau. Berikut merupakan kebutuhan data pada aplikasi GITBoLA:

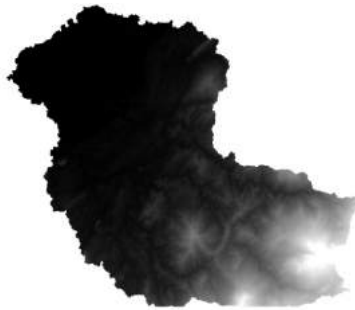
Tabel 7-4 Kebutuhan Data GITBoLA

Data	Dataset	Type	Resolution/scale
Digital elevation model	Raster data		1 meter
Groundwater depth (in feet)	Vector data	Polygon	-
Percent of impervious cover	Raster data		1 meter
Road network	Vector data	Polygon	
Land ownership	Vector data	Polygon	
Soil	Vector data	Polygon	
Stream	Vector data	Polyline	
Urban land use	Vector data	Polygon	

Seluruh jenis *file* yang digunakan dalam persiapan input GITBoLA ini harus sesuai dengan ketentuan yang ada. Batasan dari setiap jenis *file* harus sesuai dengan batasan dari DTA Barabai. Data yang diharapkan dikeluarkan oleh GITBoLA adalah 1:5000.

3.4.3.1 Digital Elevation Model

Peta *Digital Elevation Models* (DEM) menjadi data yang penting untuk menentukan lokasi penerapan teknologi hijau. Hal tersebut membuat GITBoLA memerlukan High-Resolution DEM agar dapat melakukan analisis secara tepat dan akurat. DEM juga digunakan untuk menghasilkan analisis peta kemiringan dari lokasi yang akan dipetakan. Sebagian besar *Green Infrastructure* memerlukan rekomendasi kemiringan khusus berdasarkan pedoman kriteria yang dijelaskan pada bagian sebelumnya. Peta DEM yang digunakan merupakan peta dari DEMNAS yang sudah dilakukan pengolahan lebih lanjut. Pengolahan yang dilakukan dapat menggunakan bantuan aplikasi QGIS yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.

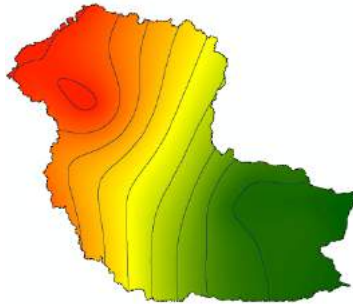


Gambar 7-14 DEM DTA Barabai
Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.3.2 Ground Water Depth

Kedalaman air tanah *unconfined* sebagai salah satu data yang dibutuhkan untuk memetakan teknologi hijau pada DTA Barabai harus dimasukkan dengan satuan *feet*. *Ground water depth* didapatkan berdasarkan data kedalaman air tanah yang

didapatkan dari pengamatan di DTA Barabai dari beberapa sumber titik yang akan diproduksi menjadi sebuah peta air tanah untuk DTA Barabai dengan menggunakan QGIS. Informasi kedalaman air tanah ini harus dimasukkan ke dalam *tools* GITBoLA dengan atribut poligon. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai

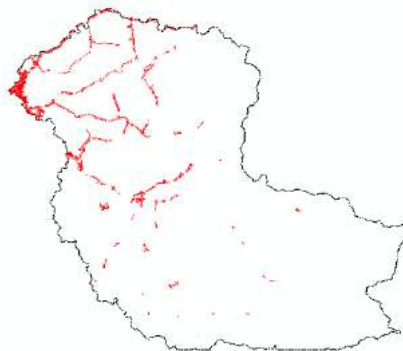


Gambar 7-15 Ground Water Depth DTA Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.3.3 Percent of Impervious Cover

Persen dari *impervious cover* adalah rasio antara luas total persen dari tutupan lahan kedap air pada DTA Barabai dan total luas DTA Barabai. Persen dari *impervious cover* dihitung untuk setiap *catchment area* dan selanjutnya harus dikonversi menjadi format data raster yang diolah menggunakan QGIS. Nilai ini didapatkan dari peta tata guna lahan/*land cover* yang sama seperti pada bagian sebelumnya. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.



Gambar 7-16 Percent of Impervious Cover DTA Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.3.4 Road Network

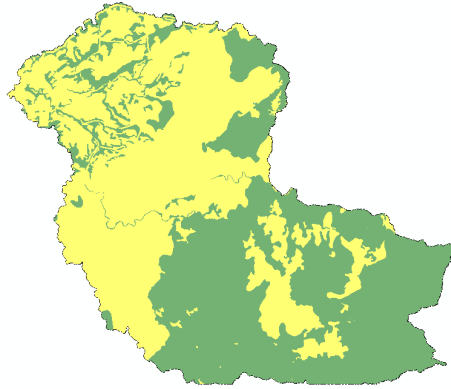
Data *road network* merupakan data berbentuk *polygon* yang sudah diproduksi dengan menggunakan QGIS yang menggambarkan bentuk dan luasan dari jaringan jalan yang berada di dalam DTA Barabai. Data *Road Network* ini akan berguna sebagai batasan dari jenis teknologi hijau yang cocok diterapkan pada jalanan. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.



Gambar 7-17 Road Network DTA Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

Data *land ownership* merupakan data berbentuk *polygon* yang akan menggambarkan status kepemilikan dari lahan yang akan dipetakan jenis teknologi hijau untuk DTA Barabai. Kepemilikan tanah ini dapat berupa milik pribadi ataupun cenar. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.

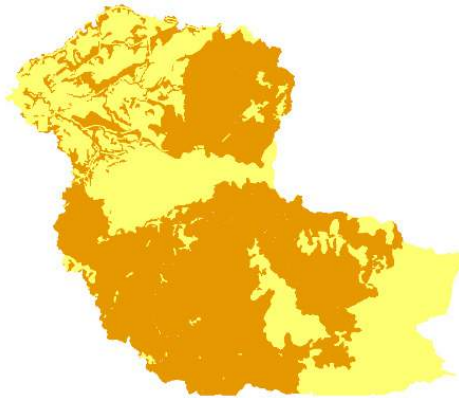


Gambar 7-18 Land Ownership DTA Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.3.6 Soil Group

Data kelompok tanah yang berada dalam DTA Barabai dibutuhkan untuk menentukan kriteria *Hydrological Soil Group* A-D. Kelompok A hingga D didasarkan pada nilai *hydraulic conductivity* yang dimiliki oleh kelompok tanah tersebut. Berdasarkan data *hydraulic conductivity* yang terdapat pada buku *Groundwater* (R. Allan Freeze, 1979). Besar file yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.

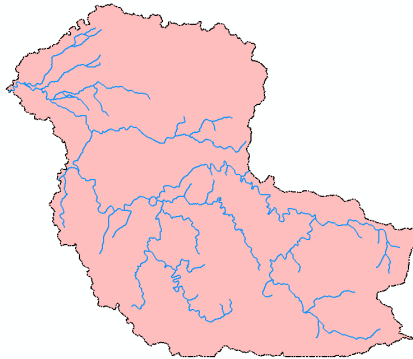


Gambar 7-19 Soil Group DTA Barabai

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.3.7 Stream

Stream merupakan data berbentuk *polyline* yang menggambarkan bentuk dan luasan dari aliran sungai yang berada dalam DTA Barabai. Data *stream* ini akan berguna sebagai batasan dari jenis teknologi hijau yang cocok diterapkan pada sempadan sungai di DTA Barabai. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.



Gambar 7-20 Stream DTA Barabai
Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

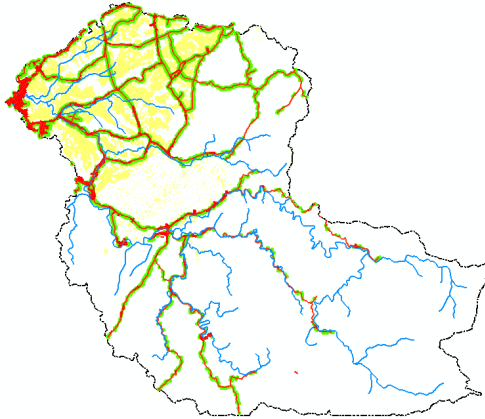
3.4.3.8 Urban Land Use

Urban Land Use terdiri dari bangunan dan jalan yang ada di dalam DTA Barabai yang dibutuhkan dengan data berbentuk *polygon* pada GITBoLA untuk digunakan sebagai bagian batasan dari jenis teknologi hujan yang dapat pasangkan pada bangunan ataupun jalan. Besar *file* yang digunakan haruslah sebesar luas dari DTA Barabai.

3.4.4 Proses Running Aplikasi Pemetaan Green Infrastructure

Pemetaan *Green Infrastructure* dengan GITBoLA dengan menggunakan aplikasi QGIS. Running yang dilakukan berdasarkan jenis *Green Infrastructure* yang akan dimodelkan dengan menggunakan GITBoLA. Untuk melakukan pemetaan ini, diperlukan untuk memasukan seluruh kebutuhan data pada DTA

Barabai lalu dilakukan *running* dan akan menghasilkan pemetaan *green infrastructure* dengan berbentuk *shapefile* sebagai berikut:



Gambar 7-21 Hasil Running GITBoLA DTA Barabai Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

3.4.5 Permodelan Genangan Banjir

3.4.5.1 Setting HEC-RAS

Saat pertama kali mengaktifkan program HEC-RAS, pada 68cena utama muncul tampilan awal dari program HEC-RAS. Pada bagian atas dari program ini terdapat menu bar yang berisi menu utama dari HEC-RAS yaitu: *File*, *Edit*, *Run*, *View*, *Option*, dan *Help*. Lalu, baris yang terletak di bawah *menu bar* adalah *toolbar* atau *button bar*. Bagian ini memiliki tujuan sebagai cara mengakses dengan cepat beberapa fitur paling sering digunakan oleh pemakai.

Menu *Options* menyediakan fasilitas untuk melakukan pengaturan beberapa parameter dalam HEC-RAS sesuai dengan kebutuhan pemakai. Pengaturan di sini dimaksudkan untuk mengubah nilai bawaan yang sudah ditetapkan oleh HEC-RAS. Pengaturan yang dilakukan antara lain *Default Project Folder*, Mengubah nilai *Default Project Parameters* berupa nilai *Contraction* dan *Expansion*, dan Mengubah *unit system* menjadi satuan internasional.

3.4.5.2 Pembuatan Model HEC-RAS

Model HEC-RAS yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan permodelan 2 dimensi. Permodelan 2 dimensi dilakukan dengan membuat *komponen 2D flow area* yang dibatasi oleh batas DTA Barabai lalu membuat 2D computational mesh dengan menggunakan RAS Mapper. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan untuk melakukan pembuatan model 2 dimensi secara umum adalah *Input Data Geometry, Input Data Land Use, dan Input Data Infiltration Layer*. Prosedur dari masing-masing hal tersebut akan dijelaskan pada bagian lampiran.

Setelah melakukan tahapan tersebut, model DTA Barabai yang digunakan sudah siap untuk digunakan simulasi. Sebelum dilakukan simulasi masih terdapat beberapa data yang perlu dimasukkan. Penentuan jenis data yang akan dimasukkan sangat bergantung dengan jenis *scenario* yang dimodelkan. Dalam penelitian ini terdapat empat jenis *scenario* yang digunakan antara lain:

- 1) Kondisi Eksisting
- 2) Kondisi dengan aplikasi Bendung Riam Kiwa dan Kolam Regulasi Barabai
- 3) Kondisi Intervensi Vegetatif
- 4) Kondisi Intervensi Vegetatif dan *Nature Based Solution* (Catatan: *Nature Based Solution* merupakan hasil dari pemetaan dengan menggunakan GITBoLA yang akan memengaruhi besaran nilai CN dan *Infiltration* yang dimasukkan pada bagian *Infiltration Layer*)

Keseluruhan model ini harus dibuat berdasarkan cakupan DTA Barabai.

3.4.5.3 Kondisi Batas Simulasi HEC-RAS

Input kondisi batas merupakan proses yang berguna untuk memasukkan kebutuhan informasi yang akan sangat berkaitan dengan *2D Flow Area* yang sudah dibentuk pada bagian sebelumnya. Data yang dibutuhkan untuk dimasukkan kedalam HEC-RAS adalah sebagai berikut:

- 1) *Precipitation Data*

Precipitation Data yang dimasukkan dalam aplikasi HEC-RAS adalah data *Gridded Precipitation* untuk hujan tanggal 11-18 Januari 2021 yang didapatkan dari Satelit TRMM untuk daerah DTA Barabai dan sudah mengalami pengolahan seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya. Selain itu, juga dimasukkan Curah Hujan Rencana pada DTA Barabai sebagai alternatif kondisi hujan lainnya berdasarkan curah hujan rencana dengan periode ulang 2 tahunan dan 5 tahunan.

2) *Boundary Condition*

Boundary Condition merupakan suatu nilai batasan yang akan menjadi acuan dalam melakukan simulasi pada HEC-RAS. Dalam melakukan analisis *unsteady flow* dapat dipilih beberapa jenis *boundary condition* antara lain *Flow Hydrograph*, *Stage Hydrograph*, *Stage and Flow Hydrograph*, *Rating Curve*, *Normal Depth*, *Lateral Inflow Hydrograph*, *Uniform Lateral Inflow Hydrograph*, *Groundwater Interflow*, *Time Series of Gate Openings*, *Elevation Controlled Gate*, *Navigation Dam*, dan *Internal Boundary Stage and/or Flow Hydrograph*. Dalam penelitian ini digunakan *Boundary Condition*, yaitu *Normal Depth* dengan kemiringan dari bagian *outlet* sungai di DTA Barabai yaitu 1×10^{-10} . *Normal Depth* sendiri merupakan metode yang membutuhkan besar kemiringan yang akan mengestimasi ketinggian muka air pada bagian hilir dari sungai yang dimodelkan.

3.4.5.4 **Cakupan Simulasi HEC-RAS**

Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, bahwa simulasi yang dapat dilakukan oleh HEC-RAS adalah simulasi *unsteady flow* dan *steady flow*. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi dengan *unsteady flow*. Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan simulasi *unsteady* ini adalah sebagai berikut:

- 1) Simulasi banjir dilakukan pada rentang waktu 11 Januari 2021 pukul 00:00 sampai 18 Januari 2021 pukul 24:00
- 2) Pada setting simulasi *unsteady* digunakan *computation time step* sebesar 5 menit

- 3) Output simulasi di rekam dan di cetak kedalam bentuk peta setiap 5 menit.

3.4.5.5 Pengolahan Output

Output dari permodelan HEC-RAS yang ada merupakan *file* berbentuk raster yang dapat diakses pada *Ras Mapper*. *File* tersebut dapat berupa raster *file* kedalam genangan dan raster *file* kecepatan aliran. *File* tersebut dapat di-*export* dari HEC-RAS dan dapat diolah lebih lanjut menggunakan aplikasi QGIS. Pengolahan lebih lanjut ini dapat diolah guna mendapatkan luasan genangan dan dapat membandingkan masing-masing luas genangan dari setiap *scenario* yang ada.

3.4.5.6 Proses Updating Data

Updating data merupakan pengecekan kembali data yang digunakan berdasarkan data yang keadaan di lapangan untuk DTA Barabai. Pengambilan data tersebut dilakukan dengan kegiatan survey hidrometri. Kegiatan survey hidrometri sungai dilakukan di sungai dalam DTA Barabai.

Pada DTA Barabai, dilakukan 3 kali pengukuran hidrometri sungai, yaitu pada bagian paling hulu, tengah, dan terhilir dari sungai yang melintasi persegi. Selain pengukuran hidrometri sungai, juga dilakukan pengukuran laju infiltrasi dilakukan sebanyak jumlah tutupan lahan yang berada pada DTA Barabai. Apabila terdapat 4 jenis tutupan lahan, pengukuran dilakukan sebanyak 4 kali. Akan tetapi, untuk meningkatkan efektivitas, pengukuran laju infiltrasi memprioritaskan tutupan lahan pemukiman dan tutupan lahan lainnya yang menjadi mayoritas pada daerah tersebut. Nilai tersebut akan dimasukkan ke dalam nilai Infiltration pada HEC-RAS.

3.5 Analisis Hasil

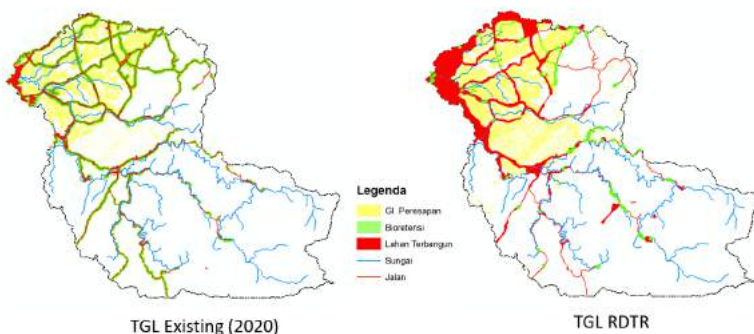
3.5.1 Pemilihan Skenario Intervensi dan Kondisi

3.5.1.1 Skenario Skala Ruang Intervensi Sipil Teknis

Salah satu skenario yang dilakukan dalam permodelan prediksi banjir di tiga DTA kasus ini adalah skenario berbasis spasial yang melibatkan intervensi sipil teknis, yaitu berupa infrastruktur yang dapat dipergunakan untuk mengurangi

puncak banjir. Skenario pertama yang dilakukan adalah pembangunan Bendung Riam Kiwa dan Kolam Regulasi Barabai. Kemudian, skenario berbasis spasial yang kedua adalah intervensi vegetatif. Dalam hal ini, intervensi yang dilakukan adalah berupa penanaman tanaman. Adapun tindakan berupa intervensi vegetatif yang dilakukan di DAS Barito Kalsel ini adalah restorasi hutan untuk memulihkan ekosistem, penambahan tanaman pohon dan penguatan infrastruktur air pada pertanian perkebunan untuk memperkuat fungsi resapan dan pengendalian air, penambahan vegetasi dan penguatan infrastruktur air pada permukiman untuk meningkatkan daya resap air, dan juga reklamasi paska tambang dan dihutankan kembali untuk mengembalikan fungsi hutan yang hilang akibat aktivitas pertambangan.

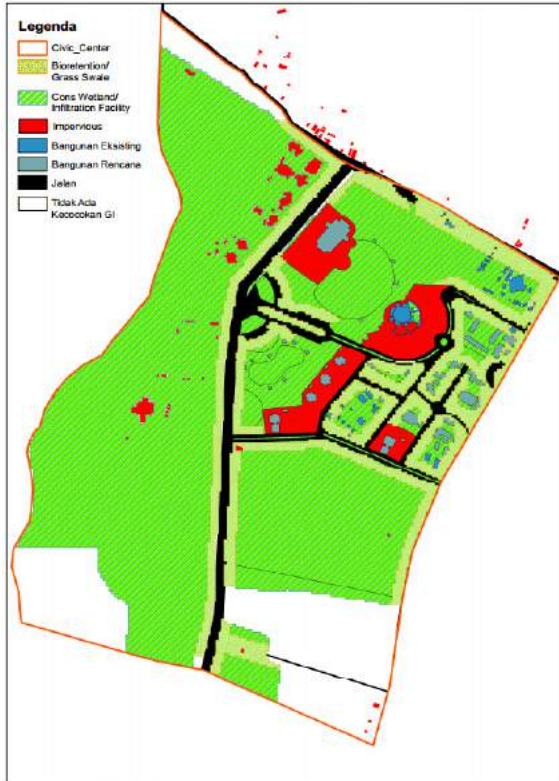
Kemudian, di skenario yang ketiga, dilakukan gabungan antara intervensi vegetatif dan solusi berbasis alam (*Nature-based Solutions*). Dalam hal ini, permodelan yang dibuat di GITBoLa merekomendasikan tiga jenis infrastruktur hijau, yaitu bioretensi, lahan basah buatan (*constructed wetland*), dan juga palung infiltrasi (*infiltration trench*). Berikut adalah hasil permodelan di DTA Barabai. Didapati beberapa rekomendasi lokasi untuk infrastruktur hijau yang menunjang infiltrasi serta bioretensi.



Gambar 7-22 Rekomendasi Lokasi untuk Infrastruktur Hijau yang menunjang Infiltrasi serta Bioretensi

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Dalam permodelan yang lebih mendetail, didapati beberapa rekomendasi lokasi untuk di daerah kawasan pusat pemerintahan. Rekomendasi infrastruktur hijau seperti fasilitas lahan basah buatan dan juga lahan bioretensi sangat direkomendasikan.



Gambar 7-23 Rekomendasi Infrastruktur Hijau seperti Fasilitas Lahan Basah Buatan dan Lahan Bioretensi

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Sedangkan, untuk kawasan *Central Business District* (CBD), infrastruktur hijau yang direkomendasikan adalah berupa lahan bioretensi, dapat juga memanfaatkan lahan basah buatan dan paling infiltrasi. Palung infiltrasi dapat memanfaatkan tepian jalan.



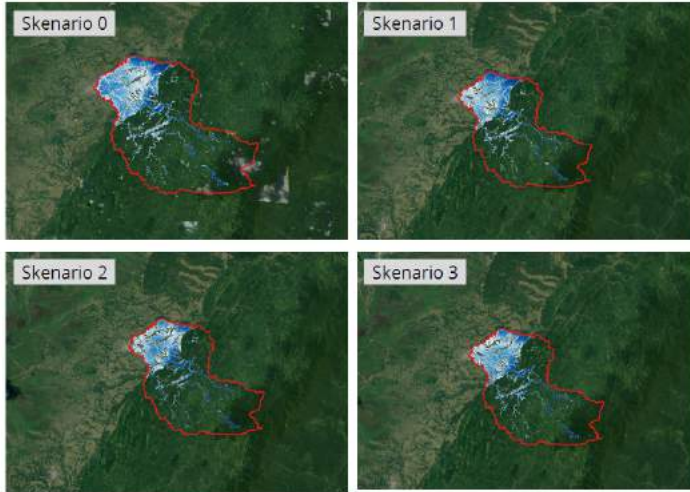
3.5.1.2 Skenario Periode Ulang Hujan

Skenario lainnya yang dimodelkan dalam studi ini adalah skenario variasi periode ulang hujan. Tujuannya adalah untuk melihat respon dari intervensi fisik yang telah dilakukan terhadap berbagai spektrum hujan. Adapun tiga skenario yang disimulasikan dalam studi ini adalah hujan 11 – 18 Januari 2021, kemudian hujan periode ulang 2 tahunan dengan probabilitas kejadian sebesar 50%, dan juga hujan periode ulang 50 tahunan, dengan probabilitas kejadian sebesar 2%.

3.5.2 Pengendalian Genangan Banjir

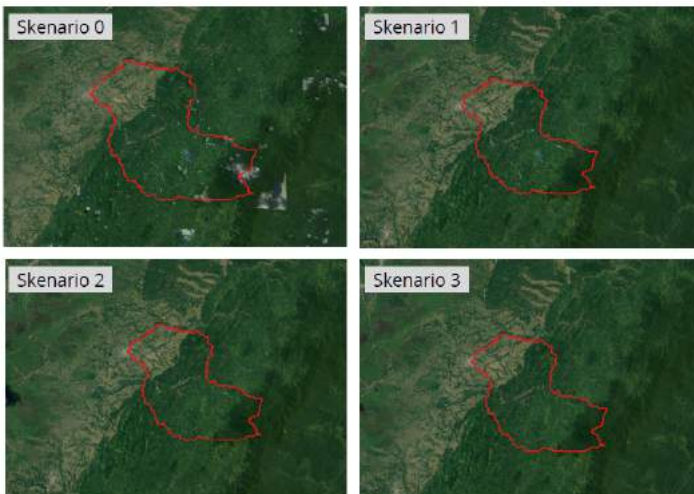
3.5.2.1 Luas Genangan Banjir

Setelah dilakukan *running* HEC-RAS untuk keseluruhan skenario yang disimulasikan, didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 7-24 Genangan di DTA Barabai untuk Skenario Hujan Ekstrim

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021



Gambar 7-25 Genangan di DTA Barabai untuk Skenario Hujan 50 Tahunan

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021



Gambar 7-26 Genangan di DTA Barabai untuk Skenario Hujan 2 Tahunan

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

Tabel 7-5 Luas Genangan Masing-Masing DTA untuk Skenario Hujan 2 Tahunan

Nama DTA	Luas Genangan (km ²)				Perbandingan Terhadap Skenario 0 (%)		
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Barabai	0.866	0.865	0.479	0.000	0%	-45%	-100%
Balangan	2.439	2.439	1.180	0.000	0%	-52%	-100%
Riom Kiwa	27.589	27.589	25.684	0.000	0%	-7%	-100%
Bati-Kurau	3.194	3.194	2.793	0.000	0%	-13%	-100%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2021

Tabel 7-6 Luas Genangan Masing-Masing DTA untuk Skenario Hujan 50 Tahunan

Nama DTA	Luas Genangan (km ²)				Perbandingan Terhadap Skenario 0 (%)		
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Barabai	1.413	1.405	0.557	0.392	-1%	-61%	-72%
Balangan	4.869	4.866	2.624	1.734	0%	-46%	-64%
Riam Kiwa	33.876	33.873	27.857	24.569	0%	-18%	-27%
Bati-Kurau	5.813	5.813	3.106	2.615	0%	-47%	-55%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2021

Tabel 7-7 Luas Genangan Masing-Masing DTA untuk Skenario Hujan Ekstrim (11 – 18 Januari 2021)

Nama DTA	Luas Genangan (km ²)				Perbandingan Terhadap Skenario 0 (%)		
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Barabai	65.024	63.039	54.968	59.965	-3%	-15%	-8%
Balangan	184.229	180.187	183.506	181.503	-2%	0%	-1%
Riam Kiwa	372.480	376.886	331.587	324.958	1%	-11%	-13%
Bati-Kurau	18.731	18.740	16.641	16.499	0%	-11%	-12%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2021

Dari hasil simulasi, didapati bahwa untuk DTA Barabai, luas genangan pada skenario hujan 2 tahunan mengalami penurunan paling besar dengan aplikasi skenario intervensi spasial ketiga, dengan penurunan genangan hingga 100%. Sedangkan, untuk skenario hujan 50 tahunan, didapati bahwa penurunan paling besar juga terjadi pada skenario spasial ketiga, dengan penurunan luas genangan 72%. Akan tetapi, dalam kasus hujan ekstrim, didapati bahwa skenario spasial kedua yang memanfaatkan intervensi vegetatif justru menghasilkan penurunan luas genangan yang paling besar, yaitu 15%.

3.5.2.2 Waktu Banjir

Selain luas genangan, aspek lainnya yang diperhatikan dalam simulasi ini adalah waktu banjir. Dalam hal ini, definisi dari waktu banjir adalah waktu yang diperlukan oleh genangan untuk mencapai debit puncak, dan kemudian turun hingga genangan menyusut. Berikut adalah tabulasi hasil perbandingan waktu banjir pada masing-masing skenario.

Tabel 7-8 Durasi banjir untuk Masing-Masing Skenario Spasial dan Kejadian Hujan

Kejadian Hujan	Waktu Banjir (hari)			
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Hujan Kala Ulang 2 tahunan (p=50%)	< 1	< 1	0	0
Hujan Kala Ulang 50 tahunan (p=2%)	1 - 2	< 1	0	0
Hujan 11 - 18 Jan 2021	1 - 2	1 - 2	1 - 2	< 1

Sumber: Hasil Analisis Data, 2021

Dari hasil simulasi, didapati hasil bahwa skenario ketiga pada hujan dengan kala ulang 2 tahunan dan 50 tahunan, waktu banjir menyusut drastis. Sedangkan, pada kasus hujan ekstrim, didapati percepatan waktu banjir dari satu hingga dua hari menjadi kurang dari sehari.

BAB - IV

Rekomendasi Daerah Tangkapan Air (DTA) Barabai

Dari profil dan analisis pemodelan banjir yang dilakukan pada DTA Barabai, maka bagian ini akan menjelaskan tentang rekomendasi yang diusulkan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan dari kejadian banjir. Kondisi profil lingkungan dan sosial ditambah dengan faktor perubahan iklim dapat mempengaruhi terjadinya kejadian banjir di kemudian hari. Maka rekomendasi yang dilakukan sebagai bagian dari meningkatkan resiliensi wilayah (DTA) adalah dengan tiga rekomendasi utama, yaitu tindakan vegetatif, tindakan sipil teknis, dan strategi implementasi kebijakan dan peraturan daerah.

4.1 Tindakan Vegetatif

Tindakan vegetatif fokus pada restorasi fungsi resapan air dan optimalisasi sumber air bagi kebutuhan hidup masyarakat di DTA Barabai. Rekomendasi ini diarahkan kepada intervensi berbasis vegetasi atau dalam hal ini adalah rehabilitasi dan konservasi DAS. Tindakan vegetatif bertujuan untuk mengembalikan fungsi pengaturan air dengan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyerap air permukaan ke dalam lapisan atas tanah (infiltrasi) serta menyerap air permukaan ke dalam lapisan paling dalam tanah (perkolasi). Adapun beberapa usaha dalam tindakan vegetatif yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

4.1.1 Restorasi hutan

Peraturan Menteri Kehutanan P.61/Menhut/II/2008 tentang Restorasi Ekosistem untuk hutan meliputi kegiatan perencanaan hutan, inventarisasi flora dan fauna, pengamanan dan perlindungan hutan. Peraturan tersebut menjadi dasar dalam rekomendasi utama yang dilakukan untuk meningkatkan resiliensi daerah tangkapan air. Kawasan hutan harus tetap dijaga agar tidak terkooptasi oleh guna lahan lain yang nantinya dapat mengganggu fungsi ekologis suatu wilayahnya khususnya di bagian hulu hingga tengah yang menjadi tangkapan air. Tujuan tindakan vegetatif melalui restorasi hutan adalah memulihkan kembali ekosistem yang menurun jasa lingkungannya, khususnya jasa lingkungan pengaturan air di DTA. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan optimalisasi fungsi resapan dan pengendalian debit banjir.

Restorasi hutan dilakukan pada lahan yang sudah mengalami penurunan jasa lingkungan, dalam artian secara kurun waktu telah mengalami perubahan penutupan lahan yang mempengaruhi jasa lingkungan pengaturan air. Maka, rekomendasi yang dilakukan adalah dengan menghutankan kembali lahan yang dahulunya adalah hutan, merehabilitasi hutan yang telah berkurang fungsinya, dan merestorasi hutan baik dalam hal biodiversitas (keragaman spesies) maupun pada daur nutrisi (*nutrient cycle*) pada ekosistem hutan. Hal tersebut dilakukan terutama pada bagian hulu hingga bagian tengah yang utamanya menjadi daerah tangkapan air. Dari hasil analisis, setidaknya terdapat 6.732,2 ha lahan di DTA Barabai yang direstorasi hutannya. Kecamatan Hantakan menjadi kecamatan terluas yang lahannya direkomendasikan direstorasi hutannya, seluas 6.252,9 ha, atau sekitar 92,88% dari luas keseluruhan di DTA Barabai. Desa-desa yang menjadi prioritas restorasi hutan di DTA Barabai adalah Desa Patikalain, Haruyan Dayak, dan Datarajab. Tabel rekomendasi tindakan vegetatif ini di DTA Barabai di tiap desanya dapat dilihat pada Tabel 4-1 berikut ini.

Tabel 6-1 Rekomendasi Restorasi Hutan di DTA Barabai

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Batang Alai Selatan	Labuhan	0,36
Batang Alai Timur	Hinas Kiri	346,98
	Tandilang	114,53
Batu Benawa	Baru	10,57
	Haliau	4,24
	Murung A.	0,49
	Pagat	2,15
Hantakan	Batu Tunggal	4,57
	Bulayak	0,3
	Datar Ajab	750,92
	Hantakan	3,44
	Haruyan Dayak	886,56
	Kindingan	3,82
	Murung B.	114,53
	Pasting	8,79
	Patikalain	4.380,24
	Tilahan	99,71

Sumber: Analisis Data, 2021

Agar tindakan vegetatif ini dapat berjalan dengan efektif sesuai dengan peran dari pemangku kepentingan, maka restorasi hutan ini melibatkan pemerintah pusat (melalui KLHK), pemerintah daerah (DLH), hingga masyarakat melalui perhutani sosial dan TORA. Maka berdasarkan data izin kawasan, sebagian besar di DTA Barabai yang berperan langsung pada tindakan restorasi hutan adalah KLHK dengan proporsi lahan hingga 94,83% dari luas keseluruhan. Tabel keterlibatan pemangku kepentingan dalam tindakan restorasi hutan dapat dilihat pada Tabel 4-2 berikut ini.

Tabel 6-2 Pemangku Kepentingan yang Terlibat pada Tindakan Restorasi Hutan di DTA Barabai

Pemangku Kepentingan	Izin Kawasan	Luas (ha)
KLHK	Hutan Lindung	647,63
	Hutan Produksi	1.462,93
	Hutan Produksi Terbatas	4.273,71
Masyarakat	Perhutanan Sosial - Hak Pengelolaan Hutan Desa	318,48
	Tanah Objek Reforma Agraria	3,66
Pemda	Areal Penggunaan Lain	25,81
Total		6.732,21

Sumber: Analisis Data, 2021

Rencana tindakan ini tentunya juga membutuhkan biaya dalam pelaksanaannya, yang merujuk dari juknis KLHK melalui Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian DAS dan Hutan Lindung Nomor P.8/PDASHL/SET/KUM.1/8/2017. Dalam konservasi tanah dan air, restorasi hutan termasuk ke dalam penanaman reboisasi prioritas 1 intensif. Provinsi Kalimantan Selatan masuk ke dalam Rayon 3 dimana harga satuan pokok untuk kegiatan ini sebesar Rp 16.707.000/ha. Maka secara keseluruhan, tindakan restorasi hutan di DTA Barabai diperkirakan membutuhkan biaya sebesar Rp 112,47 Miliar.

4.1.2 Penanaman Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air pada Lahan Pertanian dan Perkebunan

Tindakan vegetatif berikutnya adalah penanaman tanaman pohon dan penguatan infrastruktur air pada lahan pertanian dan perkebunan. Tindakan ini dimaksudkan untuk menambah daya serapan lahan dengan pohon berkanopi sekaligus sebagai penguat kestabilan tanah, terutama pada lereng yang agak curam, karena pertanian di hulu DAS Barito Kalsel banyak memanfaatkan lahan curam. Jenis pohon yang ditanam dapat

menyesuaikan dengan pohon yang memang asli daerah tersebut karena telah terbukti dapat tumbuh dengan baik pada wilayah tersebut. Penanaman pohon ini juga telah mempertimbangkan kondisi ekoregion lahan tersebut, ditentukan berdasarkan kesesuaian tanah yang ada. Selain penanaman pohon, juga dilakukan penguatan pengaturan air dengan infrastruktur air di lahan pertanian dan perkebunan seperti kolam penampung air, hingga irigasi. Penentuan area pada tindakan ini dikhususkan pada lahan pertanian dan perkebunan yang termasuk dalam lahan genangan banjir hasil pemodelan. Setidaknya terdapat 3.548,4 ha lahan di DTA Barabai yang diperlukan penanaman tanaman pohon dan penguatan infrastruktur air pada lahan pertanian dan perkebunan.

Tabel 6-3 Rekomendasi Penanaman Pohon dan Infrastruktur Air di DTA Barabai

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Barabai	Benawa Tengah	0,5
	Gambah	19,92
	Mandingin	91,5
Batang Alai Selatan	Banua Rantau	32,99
	Birayang Timur	85,53
	Cukan Lipai	207,03
	Kapar	51,65
	Kelurahan Birayang	2,48
	Kias	358,19
	Lok Basar	83,37
	Lunjuk	296,7
	Paya	271,58
	Tanah Habang	318,26
	Wawai	155,04
	Wawai Gardu	49,43
	Batu Benawa	Aluan
Aluan Besar		106,36

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
	Aluan Mati	109,87
	Aluan Sumur	126,08
	Bakti	272,96
	Haliau	4,85
	Kahakan	284,36
	Kalibaru	75,67
	Layuh	0,005
	Murung A.	11,06
	Pagat	36,33
	Paya Besar	259,62
Hantakan	Batu Tunggal	0,88
	Bulayak	1,62
	Hantakan	5,43
	Murung B.	33,95
	Pasting	0,52
	Tilahan	0,6

Sumber: Analisis Data, 2021

Dari hasil analisis, tindakan penanaman pohon dan infrastruktur air ini mayoritas berada di Kecamatan Batang Alai Selatan dan Batu Benawa yang memang wilayahnya banyak terdapat pertanian dan atau perkebunan. Salah satu bentuk penambahan tanaman pohon pada perkebunan adalah dengan menerapkan bentuk agroforestri. Selain itu, usaha penambahan tanaman pohon pada pertanian dan perkebunan (non sawit) dapat dilakukan dengan sistem tumpang sari. Sistem tumpang sari adalah pelibatan dua jenis atau lebih tanaman pada satu areal lahan tanam dalam waktu yang bersamaan atau agak bersamaan. Berdasarkan data izin kawasan, tindakan vegetatif ini lebih efektif digerakkan oleh pemangku kepentingan terkait yang dalam hal ini seluruhnya oleh Pemerintah Daerah dengan

berada pada Areal Penggunaan Lain dan total luasan mencapai 3.458,4 ha.

Rencana tindakan ini tentunya juga membutuhkan biaya dalam pelaksanaannya, yang merujuk dari juknis KLHK melalui Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian DAS dan Hutan Lindung Nomor P.8/PDASHL/SET/KUM.1/8/2017. Dalam konservasi tanah dan air, penambahan pohon dan penguatan infrastruktur air pada pertanian dan perkebunan termasuk ke dalam penanaman reboisasi prioritas 1 intensif. Provinsi Kalimantan Selatan masuk ke dalam Rayon 3 dimana harga satuan pokok untuk kegiatan ini sebesar Rp 6.432.000/ha. Maka secara keseluruhan, tindakan penanaman pohon dan penguatan infrastruktur air di DTA Barabai diperkirakan membutuhkan biaya sebesar Rp 22,82 Miliar.

4.1.3 Penambahan Vegetasi dan Penguatan Infrastruktur Air pada Permukiman

Tindakan vegetatif ketiga adalah dengan penambahan vegetatif (dapat berupa pohon) dan penguatan infrastruktur air pada permukiman. Perkembangan perkotaan di Kalimantan Selatan yang cukup pesat, memberikan dampak pada perubahan lahan yang ada bahkan hingga ke bagian hulu DAS Barito Kalsel. Sementara di perkotaan, lahan permukiman yang meluas, namun lahan hijau sebagai daerah resapan air jauh berkurang. Sehingga rekomendasi yang perlu dilakukan adalah menambahkan vegetasi hijau, baik berupa pohon berkanopi (pada permukiman dengan kemiringan agak curam) maupun tanaman hijau (tidak berkambium) lainnya. Selain itu infrastruktur air juga perlu diperkuat, untuk menampung maupun mengalirkan air. Pendekatan kota ramah air (water sensitive urbang design) perlu diterapkan pada permukiman yang memiliki risiko banjir tinggi.

Dari hasil analisis di DTA Barabai, permukiman yang perlu ditambahkan vegetasi dan diperkuat infrastruktur airnya sekitar 1.142,11 ha. Permukiman dengan luasan terbesar yang perlu dilakukan tindakan vegetatif ini berada di Kecamatan Batang Alai

Selatan dan Barabai, terutama di Desa Mandiangin, Birayang, dan Lok Basar.

Tabel 6-4 Rekomendasi Penanaman Pohon dan Infrastruktur Air di DTA Barabai

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Barabai	Banua Jingah	3,17
	Benawa Tengah	95,84
	Gambah	20,34
	Kelurahan Barabai Darat	20,76
	Kelurahan Barabai Selatan	2,48
	Kelurahan Barabai Timur	5,44
	Mandingin	221,06
Batang Alai Selatan	Banua Rantau	21,66
	Birayang Timur	12,85
	Cukan Lipai	49,49
	Kapar	38,83
	Kelurahan Birayang	86,85
	Kias	39,89
	Lok Basar	72,98
	Lunjuk	68,38
	Paya	58,99
	Tanah Habang	44,16
	Wawai	19,65
Wawai Gardu	9,68	
Batu Benawa	Aluan	23,70
	Aluan Besar	37,43
	Aluan Mati	14,61
	Aluan Sumur	15,58
	Bakti	29,11
	Baru	5,80
	Haliau	1,05

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
	Kahakan	50,69
	Kalibaru	11,76
	Layuh	0,67
	Murung A.	1,34
	Pagat	8,12
	Paya Besar	30,26
Hantakan	Batu Tunggal	5,10
	Bulayak	1,31
	Datar Ajab	2,57
	Hantakan	2,12
	Murung B.	6,26
	Pasting	0,84
	Patikalain	1,31

Sumber: Analisis Data, 2021

Dari seluruh lahan permukiman tersebut, seluruhnya berada pada Areal Penggunaan Lain, atau dengan kata lain tindakan ini lebih efektif digerakkan oleh Pemerintah Daerah setempat (DLH, DPU, dll). Berdasarkan juknis KLHK melalui Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian DAS dan Hutan Lindung Nomor P.8/PDASHL/SET/KUM.1/8/2017, dalam konservasi tanah dan air, penambahan vegetasi termasuk ke dalam penanaman reboisasi pengayaan terpilih. Provinsi Kalimantan Selatan masuk ke dalam Rayon 3 dimana harga satuan pokok untuk kegiatan ini sebesar Rp 6.432.000/ha. Maka secara keseluruhan, tindakan penanaman pohon dan penguatan infrastruktur air di DTA Barabai diperkirakan membutuhkan biaya sebesar Rp 7,34 Miliar.

4.1.4 Reklamasi Pasca Tambang dan Dihutankan Kembali

DTA Barabai mengalami cukup luas perubahan tutupan lahan menjadi pertambangan selama 20 tahun terakhir. Hal ini sedikit banyak menyebabkan terjadinya penurunan jasa lingkungan karena mengubah lahan yang memiliki kemampuan resapan air. Area paska tambang yang membentuk lubang

menganga juga pada beberapa lokasi lain di Indonesia dapat membahayakan masyarakat sekitar, karena menjadi kolam air yang cukup dalam. Kandungan kimia dari pertambangan tersebut akan mempengaruhi pada dampak air tanah dan air permukaan. Void-void tersebut dan beberapa bekas tambang lainnya direkomendasikan untuk dilakukan reklamasi dan kemudian dihutankan kembali. Tentunya hal tersebut dilakukan pada izin-izin tambang yang sudah habis masa berlakunya dan tidak diperpanjang kembali. Reklamasi dan revegetasi pasca tambang ini diharapkan dapat mengembalikan fungsi dan jasa lingkungan lahan tersebut, yang dapat meningkatkan pengaturan air juga sekaligus dapat menjadi lahan produktif baru.

Reklamasi lahan pasca tambang dapat dilakukan dengan menutup kembali lubang tambang dengan menimbun serta melapisinya dengan tanah pucuk serta diikuti dengan pengaturan drainase dan penanganan/pencegahan air asam tambang. Rekomendasi revegetasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman pionir atau *cover top*, yaitu kelompok tanaman yang pertama kali dapat tumbuh pada lahan yang ekstrem seperti penambangan. Tanaman yang sering dipilih dalam melakukan revegetasi tanah pada lahan bekas tambang biasanya dilakukan dengan menanam tanaman akasia (*Acacia mangium* dan *Acacia auriculiformis*), gamal (*Gliricidia sepium*), dan sengon (*Albizia cinensis*), namun kembali pada tiap daerah yang biasanya memiliki tanaman endemik atau yang cocok dengan tanah di area tersebut.

Setidaknya terdapat 1.930,51 ha lahan di DTA Barabai yang diperlukan reklamasi pasca tambang dan dihutankan kembali. Dari hasil analisis diperoleh lahan tambang baik yang sudah habis izin berlakunya maupun masih berlaku, diperoleh kecamatan dengan luasan terbesar untuk direkomendasikan reklamasi dan penghutanan kembali adalah Kecamatan Batu Benawa yang tersebar seperti di Desa Haliau, Tanah Habang, Kalibaru, dan lain-lain. Informasi mengenai masa berlaku izin tambang ini belum diketahui sehingga informasi lahan paska tambang (void) belum dapat dikeluarkan yang menjadi prioritas

penanganan terlebih dahulu. Rekomendasi tindakan vegetatif ini dapat dilihat pada Tabel 4-5 berikut ini.

Tabel 6-5 Rekomendasi Reklamasi Pasca Tambang dan Dihutankan Kembali di DTA Barabai

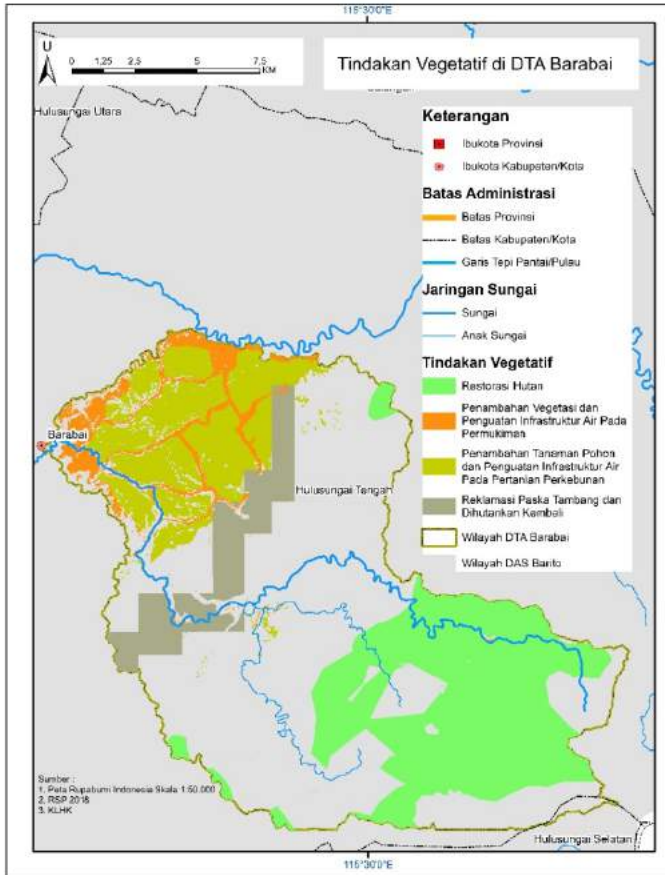
Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Batang Alai Selatan	Tanah Habang	367,07
Batu Benawa	Aluan Sumur	31,24
	Baru	218,51
	Haliau	455,97
	Kahakan	13,06
	Kalibaru	241,48
	Layuh	84,26
	Murung A.	92,26
	Hantakan	Batu Tunggal
Bulayak		34,11
Hantakan		36,91
Murung B.		1,78
Pasting		58,99
Haruyan	Hapulang	179,72

Sumber: Analisis Data, 2021

Selanjutnya adalah menentukan pemangku kepentingan yang terlibat dalam tindakan vegetatif ini berdasarkan hasil *overlay* rekomendasi tersebut dengan izin kawasan. Berdasarkan data izin kawasan, tindakan vegetatif ini lebih efektif digerakkan oleh pemangku kepentingan terkait yang dalam hal ini seluruhnya oleh Pemerintah Daerah dengan berada pada Areal Penggunaan Lain dan total luasan mencapai 1.930,51 ha.

Perkiraan biaya yang perlu dikeluarkan dalam reklamasi pasca tambang berdasarkan pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 7 Tahun 2014 dan Studi Kasus Rencana Biaya Reklamasi Pasca Tambang di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Adapun perkiraannya membutuhkan biaya sebesar Rp 129.046.214/ha. Maka secara keseluruhan, tindakan reklamasi

pasca tambang dan dihutankan kembali di DTA Barabai diperkirakan membutuhkan biaya sebesar Rp 249,12 Miliar.



Gambar 6-1 Peta Rekomendasi Tindakan Vegetatif di DTA Barabai
 Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2021

4.2 Intervensi Sipil Teknis

Selain dari pendekatan intervensi secara vegetatif, alternatif solusi yang dapat diterapkan adalah dengan cara intervensi secara sipil teknis. Rekomendasi yang diberikan memiliki dasar atas hasil permodelan banjir yang telah dilakukan

sebelumnya. Pengendalian yang diterapkan meninjau dari aspek kecepatan, luas, durasi, dan kedalaman dari genangan yang terjadi. Selain itu, rekomendasi sipil teknis yang diajukan mempertimbangkan ketersediaan lahan serta jenis tutupan lahannya.

Dalam menentukan rekomendasi, digunakan 2 jenis permodelan, yaitu melalui aplikasi HEC-RAS dan program GITBoLA. Aplikasi HEC-RAS digunakan untuk memodelkan peristiwa banjir yang terjadi pada DAS Barito Kalsel. Sementara itu, program GITBoLA menghasilkan rekomendasi tata guna lahan. Terdapat 3 kondisi bangunan air pengendali banjir yang dimodelkan pada HEC-RAS dan GITBoLA, di antaranya adalah kondisi eksisting, perencanaan, dan rekomendasi. Pada pemodelan eksisting, disimulasikan sudah ada infrastruktur air yang terbangun, yaitu Bendungan Riam Kanan. Saat kondisi perencanaan, diasumsikan bahwa rencana bangunan air yang sudah ada telah terbangun, yaitu Bendungan Riam Kiwa dan sebuah Kolam Regulasi di wilayah Barabai. Kondisi dengan rekomendasi mengikutsertakan intervensi vegetatif dalam permodelan.

4.2.1 Rekomendasi Hasil Permodelan Banjir HEC-RAS

Dalam permodelan banjir dengan HEC-RAS, dihasilkan peta genangan di wilayah yang ditinjau. Hasil genangan tersebut menunjukkan luas, kedalaman, dan durasi dari genangan. Selain itu, dihasilkan pula kecepatan aliran air berdasarkan data hujan dan peta elevasi yang digunakan. Rekomendasi yang digunakan didasari oleh penanganan luas, volume, durasi, dan kecepatan dari banjir.

4.2.1.1 Pembuatan Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan

Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan berfungsi sebagai pengendali genangan air yang terjadi akibat hujan. Saat hujan terjadi, kolam tersebut akan menampung debit hujan yang turun langsung di atas kolam serta seluruh debit limpasan hujan yang berada di sekitar area kolam.

Penampungan ini akan menunda dan mengurangi debit puncak banjir dengan membiarkan air meresap ke dalam tanah dalam beberapa waktu.



Gambar 6-2 Kolam Retensi

Sumber: *stormwater.pca.state.mn.us*, diakses pada November 2021

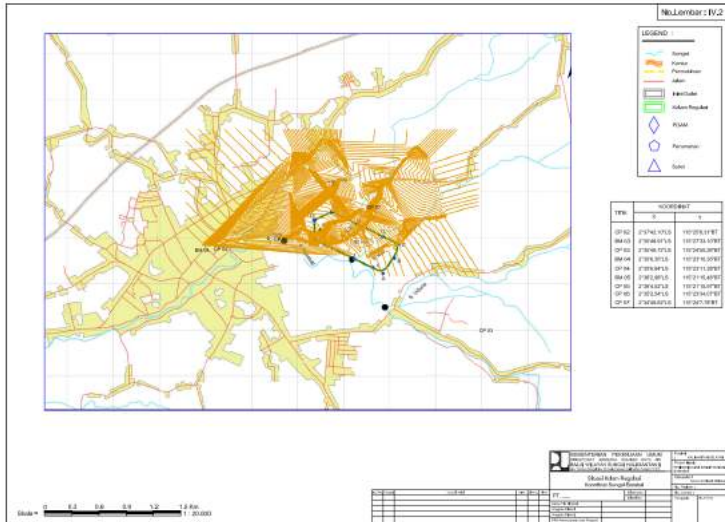
Terdapat rencana pembuatan kolam regulasi di wilayah Barabai. Kolam tersebut direncanakan di bangun di dekat pusat kota Barabai oleh Balai Wilayah Sungai Kalimantan II.

Tabel 6-6 Rekomendasi Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan di DTA Barabai

Morfologi DAS	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Rencana Sipil Teknis	Jenis Sipil Teknis	Satuan
Hulu	Hulu Sungai Tengah	Hantakan	Patikalain	Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan	<i>In-Stream</i>	35,18 ha
Tengah	Hulu Sungai Tengah	Batu Benawa	Aluan Besar	Kolam Regulasi Batu Benawa	<i>In-Stream</i>	47,00 ha

Sumber: *Analisis Data, 2021*

Rekomendasi untuk Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan berada di Hulu DAS Barito yang ada di DTA Barabai. Terdapat tiga rekomendasi di Kecamatan Hantakan untuk Desa Patikalain. Kemudian yang sudah di rencanakan, yaitu Kolam Regulasi Batu Benawa di Desa Aluan Besar Kecamatan Batu Benawa. Kolam tersebut direncanakan memiliki luas total 47 ha, dengan kapasitas tampung sekitar 3 juta m³.



Gambar 6-3 Rencana Pembuatan Kolam Retensi di Barabai

Sumber: Badan Wilayah Sungai Kalimantan II, 2021

4.2.1.2 Pembangunan Infrastruktur Penampung Volume Air

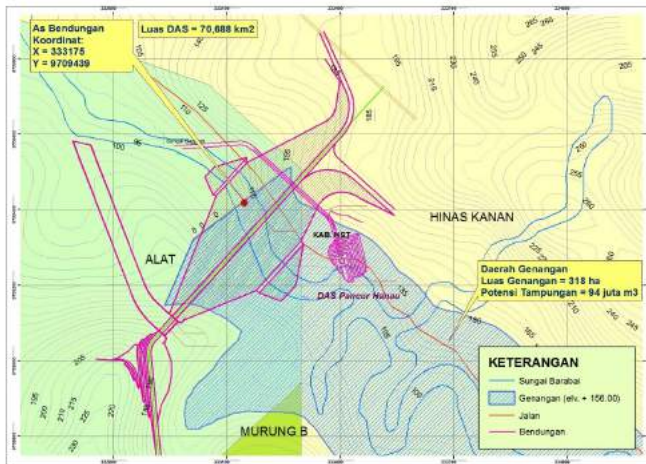
Bendungan berfungsi sebagai penampung air dalam volume yang besar. Selain itu, bendungan juga merupakan salah satu infrastruktur air yang berukuran besar sehingga dibutuhkan pula ketersediaan lahan yang luas. Apabila telah terbangun, bendungan dapat dimanfaatkan dari berbagai aspek. Air yang tertahan oleh bendungan akan membentuk waduk yang berfungsi sebagai pengendali banjir serta cadangan air. Kementerian PUPR telah merencanakan pembangunan bendungan baru. Bendungan tersebut dinamakan Bendungan Riam Kiwa yang berlokasi di Kabupaten Banjar. Volume tampungan dari bendungan ini dirancang untuk mencapai 90.51 juta m³ dengan luas genangan 654.04 hektar.



Gambar 6-4 Rencana Bendungan Riam Kiwa

Sumber: Kementerian PUPR, 2021

Selain di Kabupaten Banjar, terdapat rencana pembangunan bendungan di Kabupaten Hulu Sungai Tengah. Bendungan tersebut direncanakan dibangun di wilayah Barabai dengan nama Bendungan Pancur Hanau.

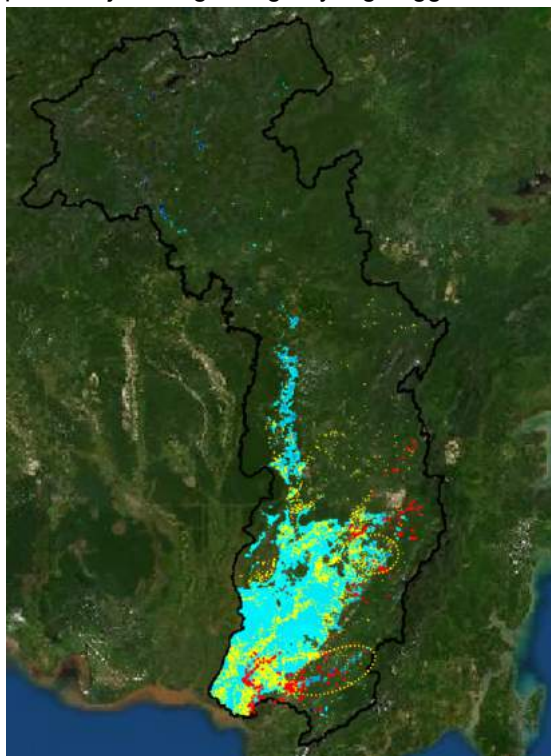


Gambar 6-5 Rencana Bendungan Pancur Hanau

Sumber: PT. Bumi Kahuripan Jaya, 2015

Lokasi dari bendungan ini berdekatan dengan Desa Hantakan. Berdasarkan perencanaan, bendungan tersebut memiliki potensi tampungan sebesar 94 juta m³ dan luas

genangan 318 ha. Dari hasil permodelan yang dilakukan, terdapat beberapa lokasi potensial dengan luas dan kedalaman genangan yang cukup besar. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil permodelan dengan kondisi ekstrem, skenario 0. Warna yang gelap menunjukkan genangan yang tinggi.



Gambar 6-6 Peta Genangan Banjir DAS Barito Kalsel
Sumber: Hasil Analisis, 2021



Gambar 6-7 Peta Genangan Banjir DTA Barabai Skenario 0

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Tabel 6-7 Hasil Simulasi Banjir Hujan 11-18 Januari 2021

DTA	Kedalaman (m)				Luas Genangan (ha)				Volume Genangan (juta m ³)			
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Barabai	5.71	4.10	2.48	3.80	6502.45	6303.91	5496.78	5996.49	371.29	258.46	136.32	227.87

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Pada skenario 1, diasumsikan bahwa pembangunan Bendungan Riam Kiwa telah selesai dan terdapat sebuah kolam regulasi di wilayah Barabai. Berdasarkan luas genangannya, penambahan kedua infrastruktur perairan tersebut memiliki pengaruh yang kecil. Hal ini menunjukkan perlunya tambahan intervensi-intervensi lain sebelum menunjukkan perubahan yang signifikan.

Hasil permodelan juga menunjukkan tingginya volume banjir yang terjadi. Solusi lain yang memungkinkan adalah pembangunan bendungan untuk menampung debit tersebut. Apabila Bendungan Pancur Hanau dibangun dan beroperasi, volume genangan di DTA Barabai dapat berkurang menjadi 164.46 m³. Jika di wilayah Barabai kembali membangun 4 kolam

regulasi tambahan dengan kapasitas yang sama, akan terjadi penurunan luas genangan sebesar 10%.

Bendungan yang dibuat memiliki fungsi tambahan selain dari pengendali banjir. Tampungan air yang terbentuk dapat dijadikan sebagai cadangan air baku bagi warga sekitar. Selain itu, bendungan yang dibangun memiliki nilai ekonomis jika dimanfaatkan sebagai sektor pariwisata dan budidaya lokal. Tambahan lain yang dapat diterapkan adalah integrasi intervensi vegetatif di sekitar area bendungan. Penanaman tanaman lokal dan berkayu mampu meningkatkan ketahanan wilayah tersebut dari bencana banjir.

4.2.1.3 Pembuatan Dinding Penahan Daya Rusak Air dan Erosi

Peristiwa banjir tidak hanya menimbulkan genangan dan merendam kawasan pemukiman, tetapi juga mampu menimbulkan daya rusak yang cukup signifikan. Banjir bandang dapat merusak bangunan-bangunan yang dilaluinya seperti rumah, jalanan, jembatan, hingga bendung. Selain itu, aliran air yang cepat dapat menyebabkan erosi yang merusak daerah bantaran sungai sehingga menimbulkan tebing-tebing curang yang tidak stabil.

Untuk melindungi daerah sungai terhadap daya rusak air yang berasal dari banjir, dapat dilakukan pembangunan tanggul atau dinding penahan di sepanjang alur sungai. Fungsi lain dari dinding ini adalah mencegah terjadi genangan air akibat luapan sungai saat terjadi hujan berintensitas tinggi. Dinding tanggul juga mampu melindungi bantaran sungai dari erosi.

Selain dari dinding, dapat juga dibuat sebuah struktur perkuatan tanah yang bernama *gully plug* di beberapa titik yang rentan terhadap erosi. *Gully plug* berfungsi untuk mencegah terbentuknya parit atau dinding curam akibat aliran air. Struktur ini tersusun atas batuan yang dipasang melintang dari arah aliran air. Pada umumnya, *gully plug* terbuat dari batu-batu alami yang disatukan membentuk bronjong.



Gambar 6-8 Gully Plug dari Bronjong

Sumber: dishutbun.jogjapro.go.id, diakses pada November 2021

Berikut rekomendasi untuk pembuatan *Gully Plug/DAM* Penahandi DTA Barabai.

Tabel 6-8 Rekomendasi *Gully Plug/DAM* Penahan di DTA Barabai

Morfologi DAS	Kabupaten	Kecamatan	Desa	Rencana Sipil Teknis	Jenis Sipil Teknis
Hulu	Hulu Sungai Tengah	Hantakan	Patikalain	<i>Gully Plug/DAM</i> Penahan	<i>Off-Stream</i>

Sumber: Analisis Data, 2021

Rekomendasi untuk *Gully Plug/DAM* Penahan berada di Hulu DAS Barito yang ada di DTA Riam Kiwa. Terdapat tiga rekomendasi di Kecamatan Hantakan untuk Desa Patikalain. Kecamatan tersebut berada di Kabupaten Hulu Sungai Tengah.

4.2.1.4 Pembuatan Bangunan Air Penahan Kecepatan dan Sedimen

Kecepatan air yang tinggi memiliki potensi rusak yang besar. Apabila tidak dikendalikan, aliran air mampu menghancurkan segala sesuatu yang dilaluinya. Aliran yang cepat juga membawa sedimen bersamanya. Bergantung pada ukurannya, sedimen yang terbawa mampu menambah daya rusak air. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan air sungai adalah kemiringan (*slope*) sungai itu sendiri. Semakin curam suatu sungai, semakin tinggi pula kecepatannya.

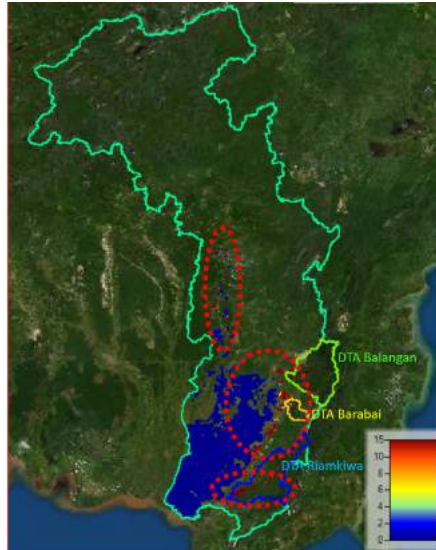
Pengendalian kecepatan aliran sungai dapat dilakukan dengan membuat *check dam* (Cek Dam). *Check Dam* berfungsi memperlambat aliran sungai dengan mengurangi kemiringannya. Kecepatan yang rendah mampu mencegah perpindahan sedimen secara berlebihan. Bangunan ini dapat dibuat secara tunggal atau berundak-undak – mengurangi kemiringan sungai asli secara bertahap.



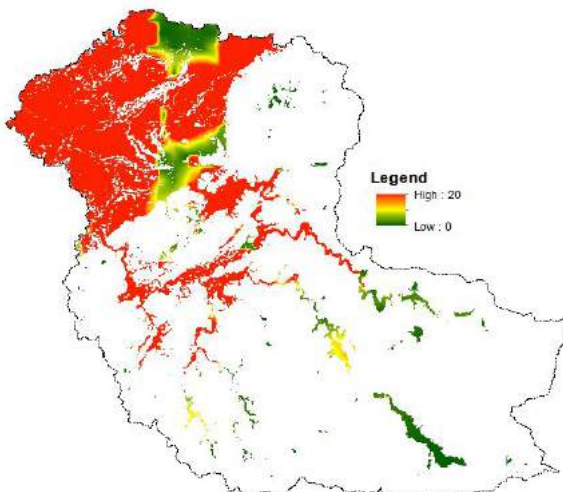
Gambar 6-9 Check Dam di Italia dibuat secara a) berundak dan b) tunggal

Sumber: Comiti, Lenzi, & Mao, 2013

Berdasarkan hasil permodelan yang telah dijalankan, terdapat beberapa lokasi yang memiliki kecepatan aliran tinggi. Apabila air mencapai kecepatan 5 m/s, air tersebut memiliki energi yang cukup untuk menggerus tepi sungai. Sementara itu, jika kecepatan air mencapai 10 m/s, daerah tersebut berpotensi terjadi banjir bandang.



Gambar 6-10 Daerah dengan Kecepatan Aliran Tinggi
 Sumber: Hasil Analisis, 2021



Gambar 6-11 Peta Kecepatan Aliran Banjir DTA Barabai Skenario 0
 Sumber: Hasil Analisis, 2021

Titik yang berwarna merah menandakan kecepatan yang tinggi untuk setiap DTA. Hasil permodelan menunjukkan kecepatan tinggi di sepanjang aliran sungai dan di area hilir DTA. Pada titik yang mengalami kecepatan aliran 5 m/s ke atas, direkomendasikan agar dibangun struktur *gully plug* dan dinding perkuatan bantaran sungai. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya erosi.

Untuk area yang mengalami kecepatan sangat tinggi, dapat dibangun *check dam* untuk meredam kecepatannya. Selain penurunan kecepatan, *check dam* juga mampu menghambat transportasi sedimen dan material lainnya sehingga mengurangi potensi kerusakan akibat material yang terbawa oleh sungai.

Perkiraan biaya yang perlu dikeluarkan dalam rencana sipil teknis berdasarkan kepada juknis KLHK melalui Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian DAS dan Hutan Lindung Nomor P.8/PDASHL/SET/KUM.1/8/2017. Dalam konservasi tanah dan air, termasuk ke pembuatan *gully plug* dan DAM Penahan. Secara keseluruhan, rencana sipil teknis di DTA Barabai diperkirakan membutuhkan biaya Rp 699.758.980.000,00. Berikut adalah perhitungan rekomendasi berdasarkan intervensi sipil teknis di DTA Barabai.

Tabel 6-9 Perhitungan dalam Pembuatan Rekomendasi Sipil Teknis di DTA Riam Kiwa

Jenis Sipil Teknis	Rencana Sipil Teknis	Satuan	Harga Satuan (Rupiah)	Biaya (Rupiah)
In-Stream	Bendungan Pancur Hanau	318 ha	2.200.000.000/ha	699.600.000.000
	Kolam Retensi/Kolam Detensi/Rawa Buatan	1 unit	42.812.000/unit	42.812.000
	Kolam Regulasi Batu Benawa	47 ha	42.812.000/unit	42.812.000
Off-Stream	<i>Gully Plug</i> /DAM Penahan	1 unit	73.356.000/unit	73.356.000
Total				699.758.980.000

Sumber: Analisis Data, 2021

4.2.2 Rekomendasi Pengendalian Banjir dengan Intervensi Sipil Teknis

Selain dari pendekatan intervensi secara vegetatif, alternatif solusi yang dapat diterapkan adalah dengan cara intervensi secara sipil teknis. Rekomendasi yang diberikan memiliki dasar atas hasil permodelan banjir yang telah dilakukan sebelumnya. Pengendalian yang diterapkan meninjau dari aspek kecepatan, luas, durasi, dan kedalaman dari genangan yang terjadi. Selain itu, rekomendasi sipil teknis yang diajukan mempertimbangkan ketersediaan lahan serta jenis tutupan lahannya.

Dalam menentukan rekomendasi, digunakan 2 jenis permodelan, yaitu melalui aplikasi HEC-RAS dan program GITBoLA. Aplikasi HEC-RAS digunakan untuk memodelkan peristiwa banjir yang terjadi pada DAS Barito Kalsel. Sementara itu, program GITBoLA menghasilkan rekomendasi tata guna lahan. Terdapat 3 kondisi bangunan air pengendali banjir yang dimodelkan pada HEC-RAS dan GITBoLA, di antaranya adalah kondisi eksisting, perencanaan, dan rekomendasi. Pada pemodelan eksisting, disimulasikan sudah ada infrastruktur air yang terbangun, yaitu Bendungan Riam Kanan. Saat kondisi perencanaan, diasumsikan bahwa rencana bangunan air yang sudah ada telah terbangun, yaitu Bendungan Riam Kiwa dan sebuah Kolam Regulasi di wilayah Barabai. Kondisi dengan rekomendasi mengikutsertakan intervensi vegetatif dalam permodelan.

4.2.3 Rekomendasi Hasil Permodelan Potensi Lokasi *Nature Based Solution* dengan GITBoLA

Permodelan dengan program GITBoLA bertujuan untuk memberikan rekomendasi perubahan tata lahan berdasarkan data elevasi, air tanah, jenis tanah, tutupan lahan, jaringan jalan, dan sungai. Secara singkat, permodelan ini menunjukkan perubahan nilai *curve number*, koefisien Manning, dan laju infiltrasi dari lahan yang dianggap kurang efisien dalam menangani limpasan air. Pendekatan yang dilakukan umumnya

berupa *nature based solution*, dimana dilakukan intervensi yang melibatkan penanaman vegetasi, rekonstruksi, dan pemanfaatan material-material alam sehingga suatu wilayah kembali kepada fungsi alaminya.

4.2.3.1 Pembuatan Sistem Bioretensi

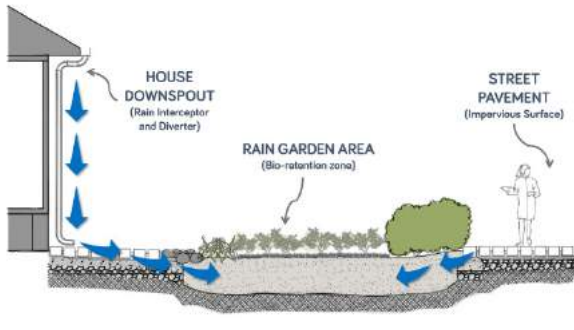
Bioretensi adalah proses penangkapan, penampungan, dan penyerapan air ke dalam tanah. Beberapa pengaplikasian dari sistem bioretensi dapat berupa *biofiltration* dan *rain garden*. Secara prinsip, keduanya memiliki cara kerja yang sama. Dalam prosesnya, sistem bioretensi dapat menurunkan debit limpasan air hujan. Air masuk ke area resapan, lalu ditampung dalam beberapa waktu untuk kemudian diserap ke dalam tanah dengan bantuan tanaman-tanaman berakar dalam. Air yang masuk dapat berasal dari limpasan air hujan di atas jalanan, atap rumah, dan batuan. Selain itu, bioretensi juga berfungsi sebagai penambah cadangan air tanah melalui air yang tertampung di dalamnya. Dari sisi estetika, bioretensi dapat didesain sehingga memiliki tampilan yang indah dan asri.



Gambar 6-12 Rain Garden
Sumber: Google Search, 2021

Bioretensi yang baik mampu menahan dan mengosongkan air dalam waktu kurang dari 24 jam. Air yang menggenang di area tampungan berkisar antara 150-300 mm. Dimensi dari bioretensi yang efektif memiliki lebar yang tidak

melebihi 3 m dan panjang 6 m. Untuk meningkatkan efektivitas pengendalian banjir, kombinasi antara struktur yang telah ada dengan rekomendasi yang diajukan perlu diterapkan. Sistem bioretensi dapat diintegrasikan dengan sistem drainase eksisting. Air yang berasal dari rumah, bangunan komunal, dan permukaan kedap air lainnya dapat dialirkan menuju sebuah *rain garden* melainkan langsung menuju saluran air.



Gambar 6-13 Implementasi Rain Garden

Sumber: memangmameng.weebly.com, diakses pada November 2021

Intervensi dengan bioretensi dapat dilakukan di kawasan pedesaan maupun perkotaan. Tepi jalan dimana air tidak meresap merupakan salah satu lokasi potensial dari sistem bioretensi. Apabila dibangun suatu kolam regulasi atau sistem bioretensi, debit puncak banjir akan menurun yang berimbas pada luas area genangan yang terjadi. Dari hasil analisis, setidaknya terdapat 170,7 ha lahan di DTA Barabai yang dapat disesuaikan untuk pembuatan sistem bioretensi. Kecamatan Batang Alai Selatan menjadi kecamatan terluas yang lahannya direkomendasikan sistem bioretensi seluas 88,70 ha atau sekitar 51,96% dari luas keseluruhan rekomendasi tersebut di DTA Barabai. Desa-desanya yang menjadi prioritas sistem bioretensi di DTA Barabai adalah Desa Tanah Habang, Desa Cukan Lipai, Desa Mandingin, Desa Lok Basar, dll. Tabel rekomendasi pembuatan sistem bioretensi di DTA Barabai di tiap desanya dapat dilihat pada Tabel 4-11 berikut ini.

Tabel 6-10 Rekomendasi Pembuatan Sistem Bioretensi di DTA Barabai

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Barabai	Banua Jingah	1,05
	Benawa Tengah	7,24
	Gambah	0,04
	Kelurahan Barabai Darat	1,96
	Kelurahan Barabai Selatan	0,12
	Kelurahan Barabai Timur	0,85
	Mandingin	10,96
Batang Alai Selatan	Banua Rantau	4,46
	Birayang Timur	3,50
	Cukan Lipai	12,17
	Kapar	0,92
	Kelurahan Birayang	2,58
	Kias	9,10
	Lok Basar	10,81
	Lunjuk	6,38
	Paya	8,28
	Tanah Habang	20,45
	Wawai	4,49
	Wawai Gardu	5,56
Batang Alai Timur	Tandilang	2,22
Batu Benawa	Aluan	1,22
	Aluan Besar	3,02
	Aluan Mati	1,10
	Aluan Sumur	3,36
	Bakti	9,57
	Baru	1,15
	Haliau	3,21
	Kahakan	5,21

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
	Kalibaru	2,64
	Layuh	2,91
	Murung A.	0,33
	Pagat	2,56
	Paya Besar	5,84
Hantakan	Alat	2,10
	Batu Tunggal	0,43
	Bulayak	3,32
	Datar Ajab	0,84
	Hantakan	1,19
	Haruyan Dayak	2,12
	Hinas Kanan	0,15
	Murung B.	1,65
	Pasting	1,27
	Patikalain	0,72
	Tilahan	1,65
Total		170,70

Sumber: Analisis Data, 2021

4.2.3.2 Pembuatan Constructed Wetlands

Wetland atau lahan basah adalah wilayah yang terdiri atas rawa atau lahan gambut yang digenangi oleh air, baik tawar atau asin yang diam atau mengalir. Dengan demikian, *constructed wetland* adalah lahan basah buatan hasil rekayasa manusia. Karakteristik dari lahan basah terdiri atas air yang selalu menggenang, jenis tanah yang berbeda dari tanah di sekitarnya, serta keberadaan tumbuh-tumbuhan yang telah beradaptasi di area yang tergenang.



Gambar 6-14 Lahan Basah Buatan

Sumber: Google Search, 2021

Pada umumnya, tujuan utama dari pembuatan lahan basah adalah untuk mengatasi *waste water* (air buangan) atau polusi air lainnya. Lahan basah memiliki fungsi filtrasi karena tanaman-tanaman yang tumbuh di sekitarnya (*macrophyte*) mampu menyaring zat-zat kimiawi tertentu sehingga meningkatkan kualitas air yang mengalir melaluinya.

Selain untuk membersihkan air, lahan basah juga dibuat untuk mengatasi air limpasan hujan dari daerah pemukiman. Polutan-polutan yang berasal dari jalanan dan pemukiman mampu ditangkap oleh vegetasi yang ada di lahan basah. Bentuknya yang berupa cekungan juga bertindak sebagai tampungan air alami – mengalihkan genangan air yang tidak diinginkan ke area tersebut.

Pada umumnya, lahan basah yang didesain memiliki kedalaman yang berkisar antara 1 – 2 m. Dari total area yang dibuat, sebanyak 50 – 80% area tersebut merupakan Zona *Macrophyte* atau zona yang ditumbuhi oleh vegetasi. Jumlah vegetasi yang ada dapat mencapai 10 tanaman per m² dan dapat bervariasi menurut kedalaman genangannya.

Dibandingkan dengan solusi penanganan air hujan lainnya, lahan basah buatan dinilai lebih ekonomis. Lahan basah buatan merupakan solusi praktis yang berketahanan serta tidak membutuhkan perawatan yang banyak. Lahan basah yang dibuat juga mampu meningkatkan keragaman hayati di lingkungannya.

Dari hasil analisis, setidaknya terdapat 6.328,21 ha lahan di DTA Barabai yang dapat disesuaikan untuk pembuatan *contracted wetlands*. Kecamatan Batu Benawa menjadi kecamatan terluas yang lahannya direkomendasikan *contracted wetlands* seluas 2.633,2 ha atau sekitar 41,81% dari luas keseluruhan rekomendasi tersebut di DTA Barabai. Desa-desa yang menjadi prioritas *contracted wetlands* di DTA Barabai adalah Desa Tanah Habang, Desa Haliau, Desa Kias, Desa Mandingin, dll. Tabel rekomendasi pembuatan *contracted wetlands* di DTA Barabai di tiap desanya dapat dilihat pada Tabel 4-12 berikut ini.

Tabel 6-11 Rekomendasi Pembuatan Contracted Wetlands di DTA Barabai

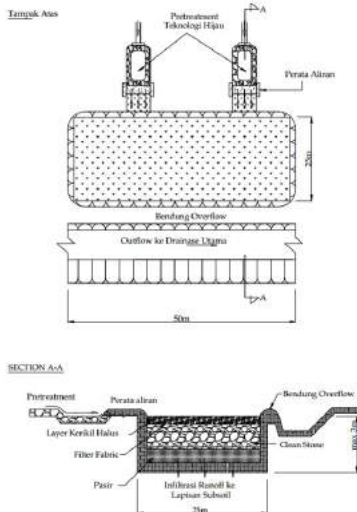
Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Barabai	Banua Jingah	5,06
	Benawa Tengah	112,76
	Gambah	88,85
	Kelurahan Barabai Darat	15,06
	Kelurahan Barabai Timur	0,37
	Mandingin	315,29
Batang Alai Selatan	Banua Rantau	56,03
	Birayang Timur	73,51
	Cukan Lipai	222,40
	Kapar	93,77
	Kelurahan Birayang	66,12
	Kias	374,19
	Labuhan	14,00
	Lok Basar	146,80
	Lunjuk	305,70
	Paya	272,29

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
	Tanah Habang	782,41
	Wawai	146,91
	Wawai Gardu	79,07
Batang Alai Timur	Tandilang	39,70
Batu Benawa	Aluan	197,86
	Aluan Besar	138,64
	Aluan Mati	158,02
	Aluan Sumur	173,33
	Bakti	280,86
	Baru	70,56
	Haliau	450,45
	Kahakan	285,77
	Kalibaru	208,70
	Layuh	204,36
	Murung A.	134,77
	Pagat	104,90
	Paya Besar	237,70
Hantakan	Alat	87,34
	Batu Tunggal	43,42
	Bulayak	39,27
	Datar Ajab	2,17
	Hantakan	85,84
	Haruyan Dayak	12,24
	Hinas Kanan	7,56
	Murung B.	73,24
	Pasting	64,34
	Patikalain	13,98
	Tilahan	11,64
Haruyan	Hapulang	31,00
Total		6.328,21

Sumber: Analisis Data, 2021

4.2.3.3 Pembuatan Infiltration Trench

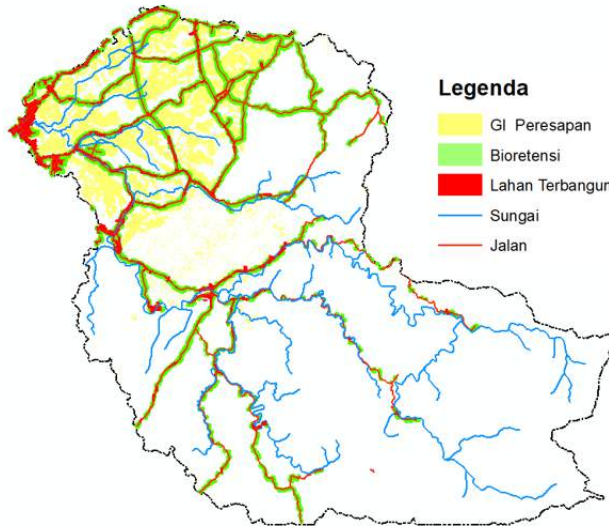
Infiltration Trench atau parit infiltrasi adalah saluran dengan permeabilitas tinggi yang menangkap air yang berasal dari area sekitarnya. Parit ini diisi oleh kerikil atau batuan kecil yang mampu menahan air sementara yang kemudian disaring dan diserap ke dalam tanah di bawahnya. *Infiltration trench* dapat mengurangi debit dan volume dari limpasan air hujan. Tidak hanya itu, *infiltration trench* dapat mengurangi polutan atau sedimen yang terbawa oleh air hujan. Bentuknya yang memanjang memiliki potensi lokasi yang strategis seperti di sisi jalanan atau pada lahan parkir.



Gambar 6-15 Detail Infiltration Trench

Sumber: Dwinanti, 2021

Sebuah *infiltration trench* yang efektif mampu memiliki nilai laju infiltrasi sebesar 13 mm/jam. Parit didesain lebih rendah dari tanah di sekitarnya serta memiliki kedalaman maksimum, tetapi harus berada 1.5 m di atas air tanah. Terdapat bangunan pelimpah kecil di salah satu sisi dari parit untuk memungkinkan *overflow*.



Gambar 6-16 Hasil GITBoLA Wilayah Barabai

Sumber: Hasil Analisis, 2021

Berdasarkan hasil program GITBoLA, terdapat beberapa rekomendasi perubahan tutupan lahan. Hal yang paling terlihat adalah penambahan luas area resapan air. Selain itu, terjadi peningkatan area bioretensi yang berada di sisi kawasan terbangun dan jalanan. Pada area peresapan, dapat dibuat lahan basah buatan karena areanya yang cukup luas. Lahan ini akan berfungsi sebagai penampung genangan apabila terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Wilayah rekomendasi bioretensi dapat diisi dengan *rain garden* atau *infiltration trench*. Kedua bangunan tersebut dibuat memanjang dan paralel terhadap jalanan yang telah ada. Dengan demikian, limpasan air yang jatuh ke atas jalan dapat mengalir menuju *rain garden* atau *infiltration trench* terdekat untuk diserap ke dalam tanah.

Dari hasil analisis, setidaknya terdapat 2.683,32 ha lahan di DTA Barabai yang dapat disesuaikan untuk pembuatan *infiltration trench*. Kecamatan Batang Alai Selatan menjadi kecamatan terluas yang lahannya direkomendasikan *infiltration*

trench seluas 1.237,0 ha atau sekitar 46,10% dari luas keseluruhan rekomendasi tersebut di DTA Barabai. Desa-desanya yang menjadi wilayah kesesuaian terbesar, yaitu di DTA Barabai adalah Desa Mandingin, Desa Kias, Desa Kahakan, Desa Lunjuk, dan lain-lain. Tabel rekomendasi pembuatan *infiltration trench* di DTA Barabai di tiap desanya dapat dilihat pada Tabel 4-13 berikut ini.

Tabel 6-12 Rekomendasi Pembuatan Infiltration Trench di DTA Barabai

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
Barabai	Banua Jingah	2,14
	Benawa Tengah	80,31
	Gambah	43,25
	Kelurahan Barabai Darat	12,93
	Kelurahan Barabai Selatan	0,13
	Kelurahan Barabai Timur	1,43
	Mandingin	196,13
Batang Alai Selatan	Banua Rantau	28,19
	Birayang Timur	25,27
	Cukan Lipai	165,86
	Kapar	52,28
	Kelurahan Birayang	39,94
	Kias	195,13
	Labuhan	1,11
	Lok Basar	104,87
	Lunjuk	175,10
	Paya	169,47
	Tanah Habang	149,27
	Wawai	117,43
	Wawai Gardu	13,04
Batang Alai Timur	Tandilang	0,91
Batu Benawa	Aluan	84,69
	Aluan Besar	87,79

Kecamatan	Desa	Luas (ha)
	Aluan Mati	80,74
	Aluan Sumur	87,63
	Bakti	172,21
	Baru	11,14
	Haliau	89,23
	Kahakan	183,12
	Kalibaru	40,71
	Layuh	24,89
	Murung A.	0,94
	Pagat	34,06
	Paya Besar	160,88
Hantakan	Alat	16,76
	Batu Tunggal	0,14
	Bulayak	0,19
	Hantakan	19,97
	Haruyan Dayak	0,13
	Hinas Kanan	1,94
	Murung B.	8,70
	Pasting	1,75
Haruyan	Tilahan	0,51
	Hapulang	1,01
Total		2.683,32

Sumber: Analisis Data, 2021

4.3 Implementasi Kebijakan dan Peraturan-Peraturan dan RPJMDes

Strategi implementasi merupakan *platform* kolaborasi yang disediakan oleh pemerintah daerah dengan pembangunan sistem informasi pengamanan lingkungan yang akan mensinergikan program-program pemerintah pusat dan daerah maupun inisiatif masyarakat atau komunitas dan dunia usaha.

4.3.1 Input Kebijakan Peraturan atau Peraturan Daerah

Kebijakan ini berbicara mengenai skenario yang terjadi setelah fenomena banjir berulang terus terjadi dan meningkat intensitasnya. Pengembangan keruangan menjadi sebuah strategi yang perlu dipertimbangkan secara menyeluruh (lintas sektor dan lintas wilayah) ketika berbicara mengenai masa depan wilayah dan kawasan dan peningkatan risiko yang akan dialami ke depannya. Kebijakan juga menyangkut peraturan teknis perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, serta pemanfaatan sumberdaya sebagai instrumen pengendali kerusakan banjir dari kerangka normatif. Oleh karenanya penguatan kebijakan peraturan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dengan upaya lainnya: sipil teknis, vegetatif, serta pemberdayaan masyarakat.

RTRW Kalimantan Selatan telah selesai direvisi sehingga yang dapat dilakukan adalah memperkuat implementasi dan mempersiapkan instrumen yang mampu membantu penegakannya. Dengan tidak adanya Kawasan Strategis Kabupaten yang memiliki kekhususan fungsi lingkungan (kerawanan banjir), maka diperlukan penanganan khusus secara keruangan pada kawasan-kawasan tersebut. Di lain hal, RTRW juga harus memperhatikan kesesuaian fungsi dan daya dukung masing-masing bentang DTA (Daerah Tangkapan Air) sesuai dengan profil kerentanan. Upaya rehabilitasi/restorasi maupun pemanfaatan terbatas akan berangkat dari identifikasi profil kerentanan tersebut. Penguatan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Kalimantan Selatan yang adaptif terhadap risiko bencana (*multi-risk*) dengan mempertimbangkan permodelan wilayah genangan banjir.

- Pola Ruang yang akan terdampak genangan banjir dalam 20 tahun mendatang yang akan berpotensi menimbulkan kerugian (*loss and damage*). Berdasarkan hasil *overlay* model wilayah banjir akan menggenangi + 89% kawasan budidaya dalam 20 tahun mendatang, artinya potensi kerugian akan sangat tinggi dikarenakan berada di kawasan budidaya.

- Struktur ruang melalui konektivitas antara ruang biru dan hijau dalam pengendalian air limpasan yang didukung dengan infrastruktur pengairan yang memadai, diantaranya dengan upaya reklamasi bekas tambang.

Re-focusing pusat-pusat kegiatan seperti wilayah metropolitan, kawasan perkotaan yang mengedepankan aspek bencana dalam pengembangan wilayah, sebab potensi kejadian bencana dalam beberapa tahun mendatang sangat tinggi.

1) Rekomendasi terhadap Revisi RTRW Kabupaten Hulu Sungai Tengah

Penguatan dan penyesuaian pola ruang RTRW Kabupaten Hulu Sungai Tengah akan sangat dinamis dikarenakan oleh kejadian banjir tahun 2021 yang cukup besar. Berdasarkan hasil analisis spasial, potensi wilayah terdampak banjir melalui permodelan banjir sesuai dengan pola ruang yang memiliki tindakan yang harus dilakukan, yaitu seluas 15.508,4 ha atau sekitar 57,21% dari luas DAS Barito Kalsel di DTA Barabai. Apabila kita kaitkan dengan rencana pola ruang RTRW Kabupaten Hulu Sungai Tengah, sebanyak 57,21% wilayah terdampak tersebut diperlukan penguatan instrumen penataan ruang berbasis risiko banjir.

Tabel 6-13 Pola Ruang Kabupaten Hulu Sungai Tengah Terhadap Tindakan Vegetatif di DTA Barabai

Kawasan	Peruntukan	Tindakan	Luas (ha)
Kawasan Budidaya	Hutan Produksi Terbatas	Restorasi Hutan	4.493,6
	Hutan Produksi Tetap	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	64,4
		Restorasi Hutan	1.426,7
	Kawasan Peruntukan Perkebunan	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	157,9
		Penambahan Vegetasi dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Permukiman	1,3
Reklamasi Paska Tambang dan Dihutankan Kembali		1.827,0	

Kawasan	Peruntukan	Tindakan	Luas (ha)
	Perlindungan Setempat	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	15,8
		Penambahan Vegetasi dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Permukiman	1,2
		Reklamasi Paska Tambang dan Dihutankan Kembali	29,3
		Restorasi Hutan	1,8
	Permukiman	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	1,3
		Penambahan Vegetasi dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Permukiman	1.135,8
		Restorasi Hutan	2,1
	Pertanian Lahan Basah	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	3.034,2
		Reklamasi Paska Tambang dan Dihutankan Kembali	66,6
	Pertanian Lahan Kering	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	314,9
Kawasan Lindung	Hutan Lindung	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	229,7
		Restorasi Hutan	2.592,1
	Sungai	Penambahan Tanaman Pohon dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Pertanian Perkebunan	24,2
		Penambahan Vegetasi dan Penguatan Infrastruktur Air Pada Permukiman	3,8
		Reklamasi Paska Tambang dan Dihutankan Kembali	7,6
		Restorasi Hutan	77,0
		Total	15.508,4

Sumber: Pengolahan Data, 2021

2) Rekomendasi terhadap Revisi RTRW Kabupaten Balangan

Penguatan dan penyesuaian pola ruang RTRW Kabupaten Balangan akan sangat dinamis dikarenakan oleh kejadian banjir tahun 2021 yang cukup besar. Berdasarkan hasil analisis spasial, potensi wilayah terdampak banjir melalui permodelan banjir sesuai dengan pola ruang yang memiliki tindakan yang harus dilakukan, yaitu seluas 0,008 ha atau sekitar 0,00003% dari luas DAS Barito Kalsel di DTA Barabai. Apabila kita kaitkan dengan rencana pola ruang RTRW Kabupaten Hulu Sungai Selatan, sebanyak 0,00003% wilayah terdampak tersebut diperlukan penguatan instrumen penataan ruang berbasis risiko banjir.

Tabel 6-14 Pola Ruang Kabupaten Balangan Terhadap Tindakan Vegetatif di DTA Barabai

Kawasan	Peruntukan	Tindakan	Luas (ha)
Kawasan Budidaya	Hutan Produksi Tetap	Restorasi Hutan	0,002
Kawasan Lindung	Hutan Lindung	Restorasi Hutan	0,006
Total			0,008

Sumber: Pengolahan Data, 2021

4.3.2 Dukungan Penguatan Kajian Lingkungan Hidup Strategis Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (KLHS RPJMD) Provinsi Kalimantan Selatan

Dalam konteks KLHS RPJMD, yang perlu dilakukan adalah melakukan pengarusutamaan isu bencana banjir dan kekhususan lansekap hulu-hilir DAS serta keunikan lingkungan hidup, ekosistem dan biodiversitas Kalimantan Selatan ke dalam *cascading program* pembangunan. Isu banjir tidak hanya menjadi isu tersendiri, melainkan adalah sebuah kesinambungan dari berbagai program pembangunan yang bersifat *transboundary*, lintas-bidang, dan jangka Panjang. KLHS RPJMD Provinsi juga harus mampu mengintegrasikan berbagai rencana pembangunan (RPJMD Kab/kota) di bawahnya agar tercapai tujuan pengurangan risiko banjir yang koheren. Penguatan KLHS RPJMD Provinsi Kalimantan Selatan yang mempertimbangkan satuan ekologis wilayah:

- 1) Penguatan Isu Strategis: terkait dengan pengendalian banjir yang sangat rendah dan masih *administrative based*, upaya *monitoring water related disaster* berkala dengan memperhatikan daya dukung dan daya tampung badan air
- 2) Alternatif Skenario: sistem informasi terpadu lintas administrasi dalam pengendalian banjir

Berikut merupakan tabel masukan terhadap KLHS RPJMD

Kalimantan Selatan:

Tabel 6-15 Masukan terhadap KLHS RPJMD Kalimantan Selatan

TPB	Isu	Rekomendasi
6.5.1.(a)	Masih rendahnya keterpaduan pengendalian banjir di Kalimantan Selatan	Membuat sistem informasi terpadu pengendalian banjir DAS Barito Kalsel, Kusan, dan Cengal menggunakan hasil kajian Pengamanan Lingkungan Hidup (<i>Environmental Safeguard</i>) Berbasis Ekoregion di Kalimantan Selatan Wilayah Prioritas: DAS Barito Kalsel, DAS Kusan, DAS Cengal
6.5.1.(b)	Belum bekerjanya sistem monitoring berkala terhadap potensi kebencanaan terkait air (<i>water related disaster</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Penguatan pengukuran dan prediksi data curah hujan pada tiap stasiun meteorologi di Kalimantan Selatan • Penambahan dan penguatan <i>Early Warning System</i> pada tiap DAS yang tinggi risiko banjirnya Wilayah Prioritas: Banjarmasin, Banjar, Kota Banjarbaru, Kotabaru
6.6.1.(b)	Belum terpeliharanya danau/waduk dan sungai di Kalimantan Selatan	<ul style="list-style-type: none"> • Pengurukan danau/waduk yang mengalami pendangkalan karena sedimentasi • Revitalisasi Sungai Martapura Wilayah Prioritas: Banjar, Banjarmasin, Banjarbaru
6.6.1.(e)	Belum optimalnya kinerja DTA di Kalimantan Selatan dalam	<ul style="list-style-type: none"> • Pemetaan DTA tiap subdas berdasarkan kondisi ekoregion • Penerapan pendekatan

TPB	Isu	Rekomendasi
	mengendalikan banjir	<i>nature based solution</i> untuk menyerapkan dan menampung air pada DTA <ul style="list-style-type: none"> • Penerapan rekayasa sipil teknis dengan pembangunan kolam retensi di Barabai dan waduk di Riam Kiwa Wilayah Prioritas: Banjar, Hulu Sungai Tengah

Sumber: KLHS RPJMD, 2021

Dalam konteks KLHS RPJMD Provinsi Kalimantan Selatan, wilayah DAS Barito Kalsel yang dimaksud juga termasuk untuk semua Sub DAS dan DTA yang terdapat di dalamnya. Salah satunya adalah DTA Barabai. Oleh karena itu, beberapa program di DTA Barabai akan dimasukkan ke dalam KLHS RPJMD Provinsi Kalimantan Selatan.

Daftar Referensi

- Comiti, F., Lenzi, M., & Mao, L. (2013). Local Scouring at Check-Dams in Mountain Rivers. *Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams*, 263-282.
- Dinas Kehutanan dan Perkebunan Pemerintahan Provinsi D.I. Yogyakarta. (2018, November 5). *Pelaksanaan Pembangunan Gully Plug sebagai Upaya Rehabilitasi Hutan dan Lahan di DIY*. Retrieved from <http://dishutbun.jogjaprov.go.id/arsip/pilihartikel/488>
- Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas. (n.d.). *Bendungan Tapin*. Retrieved from KPIP: <https://kppip.go.id/proyek-strategis-nasional/p-proyek-bendungan-dan-jaringan-irigasi/bendungan-tapin/>
- Lembaga Pendiidkan Islam Sabilal Muhtadin. (2014, September 19). *Sejarah Waduk PLTA Ir. Pangeran Muhammad Noor Riam Kanan*. Retrieved from Lembaga Pendidikan Sabilal Muhtadin: <http://sabilalmuhtadin.sch.id/news-detail.cfm?ID=452>
- Scholz, M. (2016). Wetlands for Water Pollution Control. *Elsevier*, 137-155.
- Susdrain. (n.d.). *Component: Infiltration Trench*. Retrieved from https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/infiltration/infiltration_trench.html