

STRATEGI PENGENDALIAN BANJIR TERPADU DI SUB DAS MELAWI KALIMANTAN BARAT

S.B. Soeryamassoeka¹, Danang Gunarto², Umar³,
Fiqih Rahmanto⁴, Riyanda Nurcahyo⁵

^{1,2,3,5}Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

⁴Program Studi Teknik Sipil, Mahasiswa Program Pasca Sarjana (S2) Universitas Katolik Parahyangan

Email: *s_barlian@civil.untan.ac.id*

Masuk: **29-09-2023**, revisi: **17-10-2023**, diterima untuk diterbitkan: **31-10-2023**

ABSTRAK

Seperti di Indonesia pada umumnya, frekwensi kejadian banjir di Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Melawi yang merupakan bagian dari Wilayah Sungai (WS) Kapuas, meningkat. Banjir yang terjadi tidak hanya terjadi di daerah perkotaan saja, namun juga di daerah pedesaan yang banyak terdapat di bagian tengah dan hulu Sub DAS Melawi. Dalam rangka mengurangi dampak dari kejadian bencana banjir, maka diperlukan suatu upaya pengendalian dan pengelolaan banjir secara utuh dan terpadu. Utuh maksudnya, dengan melakukan suatu pendekatan yang melihat Sub DAS Melawi sebagai satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, meliputi bagian hulu, tengah dan hilir. Terpadu maksudnya, pengendalian dan pengelolaan banjir dilakukan dengan mempertimbangkan aspek-aspek teknik, lingkungan, sosial, ekonomi serta hukum dan kelembagaan di dalam dan sekitar Sub DAS Melawi. Maksud penelitian ini adalah untuk membuat suatu konsep yang dapat digunakan dan diterapkan dalam meminimalisir banjir di Sub DAS Melawi, dengan tujuan untuk mencegah frekwensi banjir semakin meningkat dengan membuat strategi pengendalian banjir yang terintegrasi dari berbagai sektor. Hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat untuk para pengambil kebijakan di Kalimantan Barat, khususnya Kabupaten Sintang dan Kabupaten Melawi dalam mengatasi masalah banjir di Sub DAS Melawi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder berupa data curah hujan, peta, serta informasi dari penelitian terdahulu dan data primer yakni data sampel tanah, data hasil Focus Group Discussion (FGD) dengan alat bantu perangkat lunak sistem informasi geografis dan MS Excel untuk analisis. Dari analisis spasial dapat diketahui bahwa banjir di Sub DAS Melawi sebagian besar terjadi karena adanya alih fungsi lahan untuk permukiman, perkebunan, dan juga pertambangan. Sehingga pemerintah harus melakukan pengaturan kembali pemanfaatan lahan di Sub DAS Melawi, mensosialisasikan serta memberlakukan produk hukum dengan lebih tegas, sehingga untuk di wilayah penyangga, luasan yang telah ditetapkan oleh kementerian kehutanan dan kementerian lingkungan hidup dapat tetap dipertahankan.

Kata kunci: Banjir Sintang; Sub DAS Melawi; Strategi Pengendalian Banjir Terpadu

ABSTRACT

As in Indonesia in general, the Melawi Sub-watershed, part of the Kapuas River Basin, is also experiencing an increasing frequency of flooding. Currently, flooding in the Melawi Sub-watershed occurs not only in urban areas but also in rural areas in the middle and upper reaches of the Melawi Sub-watershed. To reduce the impact of floods in the Melawi Sub-watershed, a comprehensive and integrated flood control and management effort is needed. Whole means taking an approach that sees the Melawi Sub-watershed as an inseparable unit, including the upstream, middle, and downstream parts. Integrated means that flood control and management are carried out by considering technical, environmental, social, economic, legal, and institutional aspects in and around the Melawi Sub Watershed. This research aims to create a concept that can be used and applied in minimizing flooding in the Melawi Sub Watershed to prevent the frequency of flooding in the Melawi Sub Watershed from increasing by creating an integrated flood control strategy from various sectors. The results of this study can be helpful for policymakers in West Kalimantan, especially Sintang Regency and Melawi Regency, in overcoming flood problems in the Melawi sub-watershed. This research used secondary data (rainfall data, maps, and information from previous studies) and primary data (soil sample data, Focus Group Discussion results) with geographic information system software and MS Excel for analysis. The spatial study demonstrates that land conversion for towns, plantations, and mining causes most Melawi Sub Watershed flooding. Thus, the government must re-regulate land use in the Melawi Sub-watershed and socialize and enforce legal products more strictly to maintain the buffer zone set by the Ministry of Forestry and the Ministry of Environment. Based on FGD results, the best flood control strategy for Melawi Sub Watershed is to alter spatial pattern restrictions to reduce flooding.

Keywords: Flood in Sintang; Melawi Sub Watershed; Integrated Flood Management

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi dan merusak di seluruh dunia, menyebabkan kerugian ekonomi global (Ariyani et al., 2023; Ding et al., 2022; Xie et al., 2020), termasuk di Indonesia (BNPB, 2008, 2021). Di Indonesia, termasuk Wilayah Sungai (WS) Kapuas di Kalimantan Barat, frekuensi banjir telah meningkat selama beberapa dekade terakhir (Akafi et al., 2023; Alfaro et al., 2023; Soeryamassoeka et al., 2018). Saat ini, banjir di WS Kapuas tidak hanya terjadi di wilayah perkotaan tetapi juga di wilayah perdesaan yang sebagian besar berada di bagian tengah dan hulu WS Kapuas. Artikel ini memaparkan salah satu strategi sebagai mitigasi dan upaya pengendalian banjir di Sub DAS Melawi yang merupakan bagian hulu WS Kapuas.

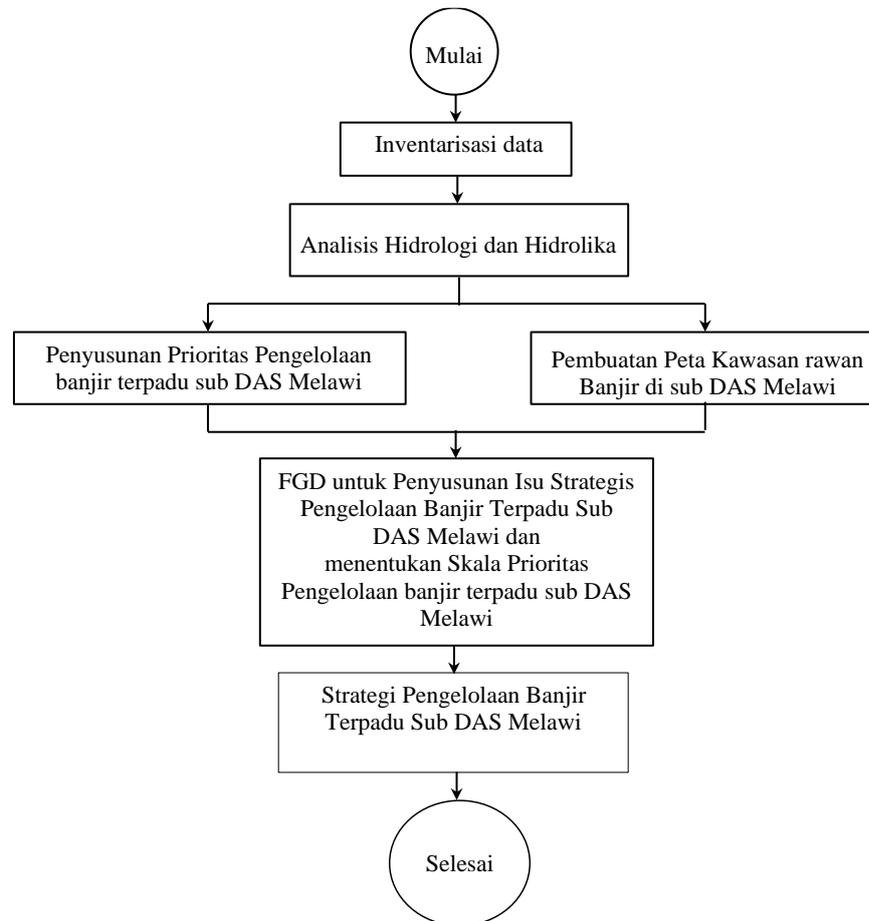
Sub DAS Melawi mencakup dua Kabupaten yang ada di Provinsi Kalimantan Barat yaitu Kabupaten Sintang dan Kabupaten Melawi. Pada Tahun 2021, dimulai dari bulan Agustus 2021, banjir yang terjadi *up and down*, dan puncaknya pada akhir Bulan November 2021, mengakibatkan wilayah di Sub DAS Melawi, termasuk Kota Sintang terendam banjir. Banjir yang terjadi di Kota Sintang Tahun 2021 merupakan banjir yang terbesar dan terlama sejak 1963 atau 58 tahun yang lalu (Cipta & Arief, 2021). Puncak banjir yang terjadi pada Bulan November 2021, dipengaruhi hujan deras yang terjadi sejak 11 November 2021 sampai 15 November 2021. Peristiwa banjir di Sub DAS Melawi setiap tahun berulang, walaupun banjir yang terjadi tidak se ekstrem banjir Tahun 2021. Tetapi permasalahan tersebut sampai saat ini belum dapat terselesaikan. Beberapa faktor yang menyebabkan banjir meningkat karena rusaknya ekosistem lingkungan dan perubahan iklim.

Perubahan iklim ditandai dengan hujan ekstrem yang terjadi dan tidak menentu pola hujan (Armal et al., 2018; Bibi & Kara, 2023; Jankovic et al., 2021). Fenomena ini diakibatkan oleh peningkatan suhu udara di sekitar dunia telah terjadi secara signifikan pada beberapa dekade terakhir (Nakamura & Shaw, 2020; Pachauri et al., 2014; Tingsanchali & Wisitsoraat, 2019), yang tercermin oleh proses siklus air yang lebih intens dan meningkatkan frekuensi dan besarnya kejadian hujan ekstrem (Chan et al., 2022; Olivera & Porto, 2022; Wobus et al., 2014). Dalam upaya antisipasi kejadian banjir yang besar dan durasinya sama seperti yang terjadi di Tahun 2021, maka perlu dilakukan penelitian mengenai strategi pengendalian banjir terpadu di Sub DAS Melawi.

Strategi dianalisis dengan menggunakan analisis SWOT, selanjutnya akan dipilih strategi yang terbaik dengan mengadopsi algoritma dari *Quantitative Strategic Planning Matrix* (QSPM) dan mengadopsi cara *Strategic Factors Analysis Summary* (SFAS) untuk menyimpulkan faktor strategis yang sesuai untuk diterapkan. Penelitian ini bertujuan untuk mencegah frekwensi banjir di Sub DAS Melawi semakin meningkat dengan membuat strategi pengendalian banjir yang terintegrasi dari berbagai sektor. Hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat untuk para pengambil kebijakan di Kalimantan Barat, khususnya Kabupaten Sintang dan Kabupaten Melawi dalam mengatasi masalah banjir di Sub DAS Melawi.

2. METODOLOGI

Secara umum, penelitian ini dilakukan berdasarkan skema diagram alir berikut;



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Data dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari;

- Data sekunder yang diperoleh dari *survey* instansional dan kepustakaan, peta, data curah hujan di sub das melawi yang dapat dijadikan referensi dalam mencapai tujuan penelitian serta peraturan dan perundang-undangan mengenai berbagai hal yang dapat digunakan untuk mengkaji strategi pengelolaan banjir sub das melawi.
- Data primer yang diperoleh dari *survey* lapangan, yakni berupa data hasil Focus Group Discussion (FGD)

2.2. Metode Analisis

Analisis dalam penelitian ini dilakukan untuk merumuskan strategi pengelolaan banjir di Sub DAS Melawi secara terpadu dengan beberapa tahapan yaitu;

- Mengidentifikasi penyebab banjir di Sub DAS Melawi.
Identifikasi penyebab banjir yang terjadi dilakukan dengan menggunakan data citra satelit dan informasi masyarakat yang terdampak banjir di Sub DAS Melawi.
- Analisis flood design Sub-DAS Melawi
Analisis dilakukan dengan menggunakan model hidrologi HSS Snyder dengan data masukkan adalah data curah hujan, peta Sub DAS Melawi.
- Memetakan lokasi rawan banjir di Sub DAS Melawi

Peta kerawanan banjir dibuat berdasarkan data dari BPBD, survey lapangan, informasi masyarakat dan analisis.

d. Merumuskan strategi pengelolaan banjir terpadu di Sub DAS Melawi.

Untuk merumuskan strategi pengelolaan banjir Sub DAS Melawi, maka dirumuskan isu strategis pengendalian banjir di Sub DAS Melawi berdasarkan *Focus Group Discussion* (FGD) yang melibatkan stakeholder yang berkompeten dalam penanggulangan banjir di Sub DAS Melawi, khususnya stakeholder dari Kabupaten Sintang dan Kabupaten Melawi, yakni dari BAPPEDA, BPBD, Bidang Sumber Daya Air Dinas PU di kedua Kabupaten. Selanjutnya dari rumusan isu strategis, dilakukan analisis SWOT dilanjutkan dengan analisis QSPM dan SFAS untuk mengetahui strategi yang paling sesuai dalam mengendalikan banjir di Sub DAS Melawi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penyebab Banjir di Sub DAS Melawi

Dari survey lapangan yang dilakukan pada 13 Juli-23 Juli 2023 dan analisis spasial dapat diidentifikasi penyebab banjir di Sub DAS Melawi adalah adanya alih fungsi lahan, hal ini terlihat dari pemetaan yang dilakukan menggunakan peta tutupan lahan Tahun 2015-2022.

Tabel 1. Kondisi Lahan di Sub DAS Melawi Tahun 2015-2018

No	Jenis Tutupan Lahan	2015	2016	2017	2018
		Luas (Ha)			
1	Bandara/Pelabuhan	10,00	10,00	10,00	10,00
2	Hutan Lahan Kering Primer	532163,99	526157,96	527610,14	527040,95
3	Hutan Lahan Kering Sekunder	635880,18	635260,95	639575,90	634441,44
4	Hutan Rawa Sekunder	5628,31	4471,96	5265,80	5191,99
5	Hutan Tanaman	25099,34	42,68	42,68	42,10
6	Lahan terbuka	53981,61	56337,92	56849,80	68681,31
7	Pemukiman	1380,12	1633,42	2313,74	2727,12
8	Perkebunan	24120,87	45958,36	46437,14	58504,40
9	Pertambangan	5485,36	7978,95	8078,95	18919,92

Tabel 1. (Lanjutan) Kondisi Lahan di Sub DAS Melawi Tahun 2015-2018

No	Jenis Tutupan Lahan	Luas (Ha)			
		2015	2016	2017	2018
10	Pertanian Lahan Kering	3239,30	2157,28	2157,28	2157,28
11	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	893606,30	901376,79	877284,69	862568,23
12	Sawah				
13	Semak Belukar	68524,12	67076,88	83281,37	68846,08
14	Semak Belukar Rawa	2014,99	2806,15	2361,80	2141,41
15	Tambak				
16	Transmigrasi	1134,52	1134,52	1134,52	1134,52
17	Perairan/Sempadan Sungai	9731,00	9596,18	9596,18	9593,26
	Jumlah	2264015,00	2264016,00	2264017,00	2264018,00

Tabel 2. Kondisi Lahan di Sub DAS Melawi Tahun 2019-2022

No	Jenis Tutupan Lahan	Luas (Ha)			
		2019	2020	2021	2022
1	Bandara/Pelabuhan	10,00	10,00	10,00	10,00
2	Hutan Lahan Kering Primer	526902,91	523228,99	504820,68	501041,74
3	Hutan Lahan Kering Sekunder	633762,98	647816,10	672789,15	674765,59
4	Hutan Rawa Sekunder	5068,33	3513,29	4160,84	4019,71
5	Hutan Tanaman	42,10	42,10	42,10	647,55
6	Lahan terbuka	69061,88	76409,11	79471,19	81614,30
7	Pemukiman	3727,78	4067,29	4310,04	4520,32
8	Perkebunan	59070,62	73352,30	81492,50	87100,02
9	Pertambangan	28250,76	33652,70	37778,40	37892,48
10	Pertanian Lahan Kering	2996,55	2051,92	2764,55	2761,22
11	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	805307,83	788680,02	760972,59	755920,66
12	Sawah	10099,34	643,20	2424,85	797,07
13	Semak Belukar	88959,95	63004,46	61783,95	61424,45
14	Semak Belukar Rawa	8013,67	1861,06	2585,30	2603,72
15	Tambak	10000,00	32942,77	35870,77	35870,77
16	Transmigrasi	1134,52	1134,52	1134,52	1134,52
17	Perairan/Sempadan Sungai	9590,78	9590,17	9588,58	9875,90
	Jumlah	2262000,00	2262000,00	2262000,00	2262000,00

Dari tabel 1 dan 2, dapat diketahui bahwa di Sub DAS Melawi dari Tahun 2015-2022 telah terjadi penyusutan luas (ha) hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan rawa sekunder, dan hutan tanaman, dan terjadi peningkatan luas (ha) permukiman, perkebunan dan pertambangan. Hal ini berdampak pada meningkatnya koefisien pengaliran

C di Sub DAS Melawi, yang dapat mengindikasikan meningkatnya debit pengaliran pada kawasan tersebut dan berkurangnya daerah resapan.

Tabel 3. Koefisien Pengaliran Sub DAS Melawi Tahun 2015-2022

Tahun	C_{DAS}
2015	0,147
2016	0,154
2017	0,168
2018	0,174
2019	0,181
2020	0,190
2021	0,206
2022	0,221

- **Besarnya erosi**

Erosi menyebabkan air yang terkandung dalam tanah mengalir ke hilir sehingga membentuk lapisan sedimen tebal yang dapat menghalangi aliran air di sungai dan aliran air, sehingga akhirnya menyebabkan banjir (Kleinhans et al., 2018). Dari analisis menggunakan metode USLE yang dikombinasikan dengan analisis spasial, dan juga hasil pemeriksaan solum tanah, dapat diketahui bahwa dengan solum tanah yang rata-rata rendah serta besarnya kehilangan tanah (besarnya tanah tererosi) di Sub DAS Melawi adalah 196,09 ton/ha/th, maka erosi di Sub DAS Melawi dapat dikategorikan dalam tingkat bahaya erosi sangat berat, dan berindikasi membentuk lapisan sedimen yang tebal di sepanjang aliran sungai-sungai di Sub DAS Melawi, sehingga terjadi pendangkalan sungai dan berubahnya kapasitas tampung sungai di Sub DAS Melawi.

- **Meningkatnya jumlah bangunan/permukiman di sempadan Sungai Sub DAS Melawi.**

Meningkatnya jumlah bangunan dan pemukiman di tepi sungai di Sub-DAS Melawi dapat menghambat aliran air dan memperburuk kondisi banjir, sehingga membahayakan masyarakat di sekitar tepian sungai. Selain itu, keberadaan bangunan dan pemukiman tersebut dapat mempengaruhi bentuk alami sungai dan merusak bagian fisik sungai.

- **Pengaruh perubahan iklim global**

Adanya variasi intensitas curah hujan akibat perubahan iklim global menjadi salah satu faktor penyebab banjir (Hassan et al., 2022). Siklus hidrologi diperkirakan akan semakin meningkat dengan adanya pemanasan global, yang kemungkinan akan meningkatkan intensitas kejadian curah hujan ekstrem dan risiko banjir. Namun, perubahan yang terjadi sering kali berbeda dengan ekspektasi teoritis tentang peningkatan kapasitas penyimpanan air di atmosfer pada kondisi yang lebih hangat, terutama ketika ketersediaan air terbatas (Tabari, 2020).

3.2. Hasil Analisis Flood Design Sub DAS Melawi

Setelah dilakukan identifikasi penyebab banjir di Sub DAS Melawi, selanjutnya dilakukan analisis hidrograf banjir SUB DAS Melawi menggunakan model HSS Snyder. Data yang digunakan selain peta Sub DAS Melawi dan nilai koefisien pengaliran, adalah data curah hujan maksimum dari beberapa stasiun yang ada di Sub DAS Melawi, yakni BMKG Susilo, BMKG Nanga Pinoh, STG-02 Sepauk, STG-08 Serawai dan STG-12 Batu Buil serta data hujan satelit

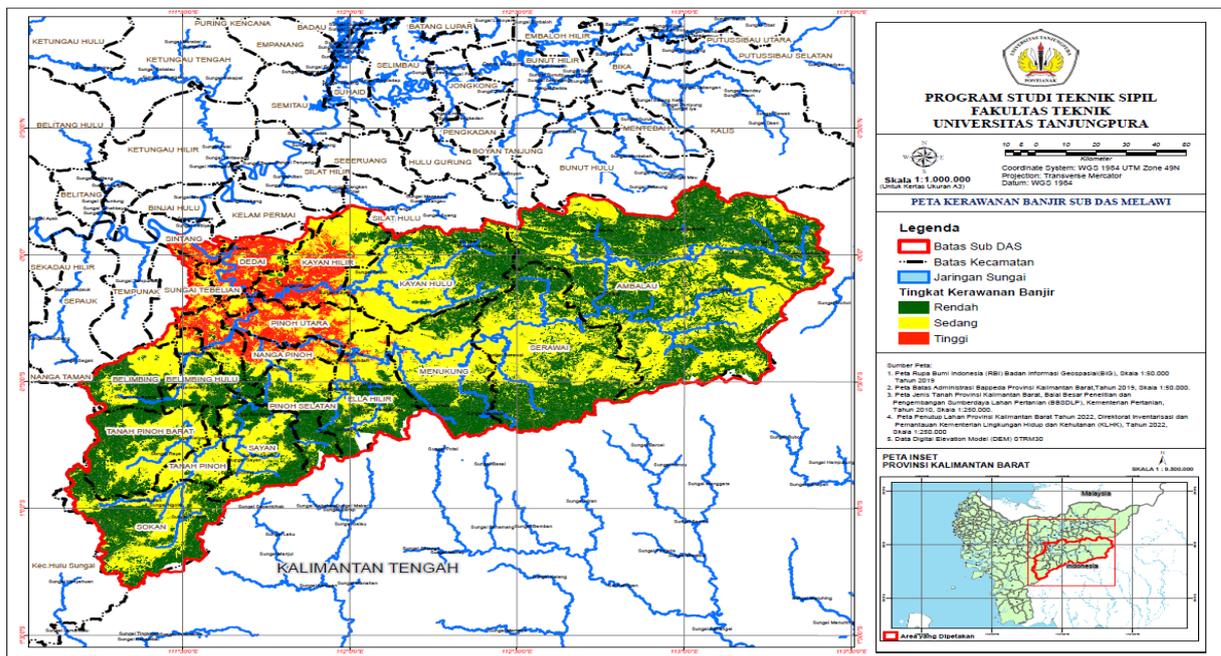
TRMM yang telah divalidasi dalam penelitian yang dilakukan oleh Gampo et al, 2023 dan Sidik et al, 2023.

Tabel 3. Hasil Analisis Flood Design Sub DAS Melawi dengan HSS Snyder

Periode Ulang (Tahun)	Debit Maksimum (m ³ /s)
2	142,29
5	170,09
10	184,65
20	196,56
50	210,13
100	219,4

3.3. Lokasi rawan banjir di Sub DAS Melawi

Dari hasil analisis spasial diperoleh lokasi rawan banjir di sub DAS Melawi adalah Kecamatan Dedai, Kayan Hilir, Sungai Tebelian, Sintang, Pinoh Utara, Nanga Pinoh merupakan lokasi yang paling rawan akan banjir (warna merah).



Gambar 2. Lokasi Rawan Banjir di Sub DAS Melawi

3.4. Strategi Peneglolaan Banjir terpadu Sub DAS Melawi

Analisis Strategi yaitu tindakan perencanaan yang cermat dalam mencapai tujuan yang diinginkan. Formulasi strategis atau yang biasanya disebut dengan perencanaan strategis merupakan proses penyusunan perencanaan jangka panjang. Dalam penelitian ini analisis strategis dilakukan untuk menyusun tindakan kegiatan yang direncanakan untuk dapat meminimalkan kejadian banjir di Sub DAS Melawi. Analisis dilakukan dengan mengadopsi cara analisis SWOT. Dalam proses formulasi strategis, dilakukan Focus Group Discussion (FGD) yang melibatkan perwakilan stakeholder yang wilayahnya masuk ke dalam Sub DAS Melawi. FGD dilakukan tanggal 25 Juli 2023 di Aula BAPPEDA Kabupaten Sintang.



Gambar 3. Focus Group Discussion Strategi Pengendalian Banjir Sub DAS Melawi

Analisis SWOT merupakan sebuah teknik perencanaan strategi maupun penyelesaian masalah yang menekankan pada pentingnya peran faktor internal maupun faktor eksternal guna menyusun strategi perencanaan ide dan penyelesaian masalah secara efektif. Dalam penelitian ini sebelum strategi untuk pengelolaan banjir terpadu ditetapkan melalui analisis SWOT, ditetapkan isu-isu strategis pengelolaan banjir di Sub DAS Melawi melalui FGD, yang hasilnya seperti yang disajikan dalam Tabel 4. 5, 6, 7, 8, 9 dan 10

Tabel 4. Rumusan isu-isu Strategis (*Strength dan Weakness*) dalam Pengendalian Banjir di Sub DAS Melawi berdasarkan hasil FGD

No	<i>Strength</i> (Kekuatan)	No	<i>Weakness</i> (Kelemahan)
1	Bagian hulu Sub DAS Melawi masih memiliki daerah resapan yang baik.	1	Kejadian banjir yang terus berulang.
2	Adanya UU terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta UU mengenai penanggulangan bencana.	2	UU terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta UU mengenai penanggulangan bencana belum dijalankan dengan optimal

Tabel 4. (Lanjutan) Rumusan isu-isu strategis (*strength dan weakness*) dalam Pengendalian Banjir di Sub DAS Melawi berdasarkan hasil FGD

No	<i>Strength</i> (Kekuatan)	No	<i>Weakness</i> (Kelemahan)
3	Adanya alokasi dana untuk pengendalian banjir di Sub DAS Melawi	3	Teknologi sistem informasi banjir (early warning system) belum ada.
4	Adanya Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD).	4	Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air (TKPSDA) Wilayah Sungai Strategis Nasional di Kalimantan Barat belum berjalan dengan optimal terkait pengelolaan bencana banjir.
5	Adanya lembaga Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air (TKPSDA) Wilayah Sungai Strategis Nasional di Kalimantan Barat	5	Kurangnya sosialisasi kearifan lokal yang biasanya dituturkan dari generasi ke generasi.
6	Adanya kearifan lokal budaya setempat mengenai bentuk rumah panggung dan hukum adat mengenai pemanfaatan lahan.	6	Koordinasi antar Instansi dalam pengelolaan banjir Sub DAS Melawi masih belum berjalan dengan optimal
7	Sudah ada koordinasi antar Instansi dalam pengelolaan banjir di bagian hulu dan tengah Sub DAS Melawi.	7	Bangunan pengendali banjir masih kurang jumlahnya.
8	Sudah ada bangunan pengendali banjir.	8	Pemanfaatan lahan tidak mengacu kepada RTRW
9	Sudah ada RTRW yang mengatur pemanfaatan lahan.	9	Lingkup kerja BPBD masih mengikuti wilayah administratif.

Tabel 5. Rumusan isu-isu Strategis (*Opportunities dan Threats*) dalam Pengendalian Banjir di Sub DAS Melawi berdasarkan hasil FGD

No	<i>Opportunities</i> (Peluang)	No	<i>Threats</i> (Ancaman)
1	Tersedianya ruang terbuka hijau.	1	Semakin banyak alih fungsi lahan menjadi.
2	Terciptanya pemanfaatan lahan yang kondusif dan berwawasan lingkungan.	2	Tingkat erosi dan muatan sedimentasi yang tinggi.
3	Terciptanya kerjasama antara wilayah administrasi.	3	Pengembangan lahan di Sub DAS Melawi banyak yang belum sesuai dengan UU terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta UU mengenai penanggulangan bencana.
4	Dengan adanya BPBD Tingkat kebencanaan dapat dikelola menjadi minimal.		

Tabel 5. (Lanjutan) Rumusan Isu-isu Strategis (*Opportunities dan Threats*) dalam Pengendalian Banjir di Sub DAS Melawi berdasarkan hasil FGD

No	<i>Opportunities</i> (Peluang)	No	<i>Threats</i> (Ancaman)
5	Dengan adanya TKPSDA Pengelolaan Sumberdaya air di Sub DAS Melawi dapat terorganisir.	4	Pengembangan wilayah sering tidak mengacu pada RTRW.
6	Masyarakat dapat memanfaatkan lahan dengan bijak.	5	Di beberapa titik Sungai Melawi masih ada PETI dan penambangan pasir yang dapat mengaibatkan pendangkalan sungai.
7	Bencana banjir dapat diantisipasi agar tidak memakan korban jiwa dan harta benda.	6	Pengelolaan Sub DAS Melawi termasuk pengelolaan banjir masih berorientasi skala wilayah administrasi belum terintegrasi.
8	Meningkatnya dukungan dari pemerintah provinsi dan pusat untuk pengelolaan banjir.	7	Banyak permukiman dibangun di sempadan sungai, dan relokasi sulit dilakukan.
9	Tingkat kerawanan banjir (Daerah rawan banjir) dapat dipetakan.	8	Jaringan Transportasi darat antar Kecamatan di Sub DAS Melawi belum optimal
		9	Perubahan anomali cuaca yang tidak dapat ditentukan.

Dari isu-isu strategis yang telah dirumuskan sebagai faktor strategi internal dan eksternal, selanjutnya hasil pendapat saat FGD disusun sebagai matriks yang hasilnya dimasukkan dalam model kuantitatif, yaitu matriks SWOT untuk merumuskan strategi pengelolaan banjir terpadu di Sub DAS Melawi.

Tabel 6. Matriks Faktor Strategi Internal Kekuatan (*Strength*)

No	<i>Strength</i> (Kekuatan)	Bobot	<i>Rating</i>	Skor Tertimbang
1	Bagian hulu Sub DAS Melawi masih memiliki daerah resapan yang baik.	0,065	2,28	0,148
2	Adanya UU terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta UU mengenai penanggulangan bencana.	0,064	2,25	0,144
3	Adanya alokasi dana untuk pengendalian banjir di Sub DAS Melawi	0,068	2,39	0,163
4	Adanya Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD).	0,068	2,39	0,163
5	Adanya lembaga Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air (TKPSDA) Wilayah Sungai Strategis Nasional di Kalimantan Barat	0,057	2,00	0,114

Tabel 6. (Lanjutan) Matriks Faktor Strategi Internal Kekuatan (*Strength*)

No	<i>Strength</i> (Kekuatan)	Bobot	<i>Rating</i>	Skor Tertimbang
6	Adanya kearifan lokal budaya setempat mengenai bentuk rumah panggung dan hukum adat mengenai pemanfaatan lahan.	0,051	1,81	0,093
7	Sudah ada koordinasi antar Instansi dalam pengelolaan banjir di bagian hulu dan tengah Sub DAS Melawi.	0,068	2,39	0,163
8	Sudah ada bangunan pengendali banjir.	0,025	0,86	0,021
9	Sudah ada RTRW yang mengatur pemanfaatan lahan.	0,019	0,67	0,013
Jumlah Kekuatan		0,48	17,03	1,02

Tabel 7. Matriks Faktor Strategi Internal Kelemahan (*Weakness*)

No	<i>Weakness</i>	Bobot	<i>Rating</i>	Skor Tertimbang
1	Kejadian banjir yang terus berulang.	0,076	2,67	0,203
2	UU terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta UU mengenai penanggulangan bencana belum dijalankan dengan optimal	0,053	1,86	0,099
3	Teknologi sistem informasi banjir (early warning system) belum ada.	0,063	2,19	0,137
4	Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air (TKPSDA) Wilayah Sungai Strategis Nasional di Kalimantan Barat belum berjalan dengan optimal terkait pengelolaan bencana banjir.	0,048	1,69	0,082
5	Kurangnya sosialisasi kearifan lokal yang biasanya dituturkan dari generasi ke generasi.	0,048	1,69	0,082
6	Koordinasi antar Instansi dalam pengelolaan banjir Sub DAS Melawi masih belum berjalan dengan optimal	0,053	1,86	0,099
7	Bangunan pengendali banjir masih kurang jumlahnya.	0,055	1,92	0,105
8	Pemanfaatan lahan tidak mengacu kepada RTRW	0,056	1,97	0,111
9	Lingkup kerja BPBD masih mengikuti wilayah administratif.	0,063	2,22	0,141
Jumlah Kelemahan		0,52	18,08	1,06

Tabel 8. Matriks Faktor Strategi Eksternal (*Opportunities*)

No	<i>Opportunities</i>	Bobot	<i>Rating</i>	Skor Tertimbang
1	Tersedianya ruang terbuka hijau.	0,06	2,19	0,13
2	Terciptanya pemanfaatan lahan yang kondusif dan berwawasan lingkungan.	0,06	2,36	0,15
3	Terciptanya kerjasama antara wilayah administrasi.	0,06	2,36	0,15
4	Dengan adanya BPBD Tingkat kebencanaan dapat dikelola menjadi minimal.	0,06	2,44	0,16
5	Dengan adanya TKPSDA Pengelolaan Sumberdaya air di Sub DAS Melawi dapat terorganisir.	0,06	2,36	0,15
6	Masyarakat dapat memanfaatkan lahan dengan bijak.	0,05	2,08	0,11
7	Bencana banjir dapat diantisipasi agar tidak memakan korban jiwa dan harta benda	0,05	1,94	0,10
8	Meningkatnya dukungan dari pemerintah provinsi dan pusat untuk pengelolaan banjir	0,06	2,28	0,14
9	Tingkat kerawanan banjir (Daerah rawan banjir) dapat dipetakan.	0,06	2,28	0,14
Jumlah Peluang		0,53	20,31	1,20

Tabel 9. Matriks Faktor Strategi Eksternal (*Threats*)

No	<i>Threats</i>	Bobot	<i>Rating</i>	Skor Tertimbang
1	Semakin banyak alih fungsi lahan menjadi.	0,06	2,19	0,13
2	Tingkat erosi dan muatan sedimentasi yang tinggi.	0,06	2,14	0,12
3	Pengembangan lahan di Sub DAS Melawi banyak yang belum sesuai dengan UU terkait perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta UU mengenai penanggulangan bencana.	0,04	1,64	0,07
4	Pengembangan wilayah sering tidak mengacu pada RTRW.	0,06	2,42	0,15
5	Di beberapa titik Sungai Melawi masih ada PETI dan penambangan pasir yang dapat mengaibatkan pendangkalan sungai.	0,04	1,61	0,07
6	Pengelolaan Sub DAS Melawi termasuk pengelolaan banjir masih berorientasi skala wilayah administrasi belum terintegrasi.	0,04	1,67	0,07

Tabel 9. (Lanjutan) Matriks Faktor Strategi Eksternal (*Threats*)

No	<i>Threats</i>	Bobot	Rating	Skor Tertimbang
7	Banyak permukiman dibangun di sempadan sungai, dan relokasi sulit dilakukan.	0,04	1,69	0,08
8	Jaringan Transportasi darat antar Kecamatan di Sub DAS Melawi belum optimal	0,06	2,25	0,13
9	Perubahan anomali cuaca yang tidak dapat ditentukan.	0,06	2,36	0,15
Jumlah Ancaman		0,47	17,97	0,96

Setelah matriks disusun, selanjutnya dilakukan analisis untuk menentukan grand strategy, yakni tahapan pencocokan (*matching stage*) pada proses formulasi strategi sehingga mampu menunjukkan posisi penguatan penerapan regulasi dalam pengelolaan banjir terpadu, apakah titik singgung IFAS dan EFAS berada pada kuadran-1, kuadran-2 kuadran-3 dan kuadran-4

Tabel 10. Hasil Perumusan IFAS dan EFAS

	Faktor <i>Internal Strength</i> (S)/ Kekuatan	Faktor <i>Internal Weakness</i> (W)/ Kelemahan
Faktor <i>Eksternal Opportunities</i> (O)/ Peluang	Strategi S+O 1,02 + 1,20 = 2,22	Strategi W+O 1,06 + 1,20 = 2,26
Faktor <i>Eksternal Threats</i> (T)/ Ancaman	Strategi S+T 1,02 + 0,96 = 1,98	Strategi W+T 1,06 + 0,96 = 2,02

$$X = 1,02 - 1,06 = -0,04$$

$$Y = 1,20 - 0,96 = 0,24$$

Sehingga jika diplotkan dalam grafik kuadran hasilnya seperti berikut;



Gambar 4. Hasil Analisis *Grand Strategy* Dalam Menyusun Strategi Pengelolaan Banjir Terpadu Sub DAS Melawi

Dari analisis yang dilakukan dapat diketahui bahwa strategi yang tepat untuk melakukan penguatan dan penerapan regulasi guna pengelolaan banjir terpadu di Sub DAS Melawi adalah strategi kesimpulan strategi W-O, yakni dengan meminimalkan masalah-masalah internal yang ada di Sub DAS Melawi sehingga dapat disusun kebijakan yang dapat menguatkan agar banjir di Sub DAS Melawi dapat diminimalkan. Dengan demikian, rumusan strategi yang dibuat seperti berikut;

Tabel 11. Rumusan Strategi Untuk Kebijakan Penguatan dan Pelaksanaan Regulasi Dalam Pengelolaan Banjir Terpadu di Sub DAS Melawi

Strategi (S)	Rumusan Strategi
1	Merancang sistem peringatan dini/ <i>early warning system</i> (EWS) banjir Sub DAS Melawi.
2	Melakukan studi kelayakan untuk tindakan detail desain bangunan pengendali banjir yang multi fungsi.
3	Melakukan tindakan konservasi pada lahan-lahan kritis di Sub DAS Melawi
4	Perlu adanya tindakan untuk mengendalikan erosi dan sedimentasi di Sungai Melawi yang diakibatkan oleh PETI, Penambangan pasir sungai ilegal dan kegiatan lain yang tidak berwawasan lingkungan.
5	Perlu dilakukan revisi terhadap regulasi pola tata ruang
6	Perlu adanya kebijakan mengenai pemanfaatan ruang yang berwawasan lingkungan.

Setelah diperoleh beberapa alternatif strategi yang dihasilkan dari analisis SWOT, maka selanjutnya adalah pemilihan strategi yang terpenting. Adapun alat analisis yang digunakan adalah algoritma QSPM, yakni tahap akhir dari analisis formulasi strategi berupa pemilihan alternatif kebijakan terbaik. Dalam penelitian ini analisis QSPM dilakukan untuk faktor utama eksternal peluang, faktor utama eksternal ancaman, faktor utama internal kekuatan dan faktor utama internal kelemahan. Analisis QSPM menguji apakah rumusan strategis (S1-S6) pada Tabel 11, sudah sesuai dengan empat faktor utama tersebut. Penilaian dilakukan responden saat FGD. Untuk faktor utama eksternal peluang, responden akan memberikan nilai (AS) yakni 1 jika dianggap peluang tidak dapat berpengaruh apa-apa terhadap strategi, 2 jika berpengaruh, dan 3 jika sangat berpengaruh. Nilai Bobot diambil dari nilai pada Tabel 8. Untuk masing-masing strategi (S1-S6) akan diperoleh nilai TAS yaitu nilai Bobot x AS. Nilai TAS ini selanjutnya dijumlahkan, dan strategi (S1-S6) yang nilai TAS tertinggi adalah strategi prioritas terpilih untuk menggunakan peluang yang ada.

Untuk faktor utama eksternal ancaman, responden akan memberikan nilai (AS) yakni 1 jika ancaman dapat diminimalkan, 2 jika ancaman tetap, dan 3 jika ancaman akan semakin meningkat. Nilai Bobot diambil dari nilai pada Tabel 9. Untuk masing-masing strategi (S1-S6) akan diperoleh nilai TAS yaitu nilai Bobot x AS. Nilai TAS ini selanjutnya dijumlahkan, dan strategi (S1-S6) yang nilai TAS nya terendah adalah strategi prioritas terpilih untuk meminimalkan ancaman yang ada. Untuk faktor utama internal kekuatan, responden akan memberikan nilai (AS) yakni 1 jika dianggap kekuatan akan tetap apabila strategi diterapkan, 2 jika kekuatan meningkat, dan 3 jika sangat meningkat Nilai Bobot diambil dari nilai pada Tabel 6. Untuk masing-masing strategi (S1-S6) akan diperoleh nilai TAS yaitu nilai Bobot x AS. Nilai TAS ini selanjutnya dijumlahkan, dan strategi (S1-S6) yang nilai TAS tertinggi adalah strategi prioritas terpilih untuk meningkatkan kekuatan yang ada.

Untuk faktor utama internal kelemahan, responden akan memberikan nilai (AS) yakni 1 jika dianggap kelemahan akan berkurang apabila strategi diterapkan, 2 jika kelemahan tetap, dan 3 jika meningkat Nilai Bobot diambil dari nilai pada Tabel 7. Untuk masing-masing strategi (S1-S6) akan diperoleh nilai TAS yaitu nilai Bobot x AS. Nilai TAS ini selanjutnya dijumlahkan, dan dari analisis QSPM, dapat diketahui bahwa untuk melakukan pengelolaan terpadu Sub DAS Melawi alternatif yang sesuai adalah strategi ke-5 (S5), yaitu dengan melakukan revisi terhadap regulasi pola tata ruang di Sub DAS Melawi. Selanjutnya strategi-strategi yang telah dirumuskan dipetakan pelaksanaannya termasuk ke dalam program kerja jangka pendek, jangka menengah atau jangka panjang. Analisis dilakukan dengan cara:

- Membuat rating terhadap nilai bobot yang diperoleh saat analisis SWOT, karena ada 6 (enam) strategi, maka nilai tertinggi untuk rating adalah 7, dan terendah adalah 2.
- Masukkan nilai rating sesuai dengan peringkatnya.
- Hitung skor. Skor = bobot x rating.
- Tentukan nilai maksimum dan minimum skor.
- Hitung *strategic factor analysis summary* (SFAS) yakni dengan mengurangi nilai maksimum ke nilai minimumnya.
- Karena program pelaksanaan strategi ada 3 (tiga) yaitu jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang, maka, untuk jangka pendek, bagi nilai SFAS dengan 3 dan kemudian tambahkan dengan nilai minimum. Untuk jangka panjang, kurangkan nilai maksimum dengan hasil bagi nilai SFAS dengan 3, untuk jangka menengah adalah nilai diantaranya.

Tentukan dari rumusan strategi yang sudah dibuat termasuk strategi jangka pendek, menengah dan panjang dari simulasi SFAS yang sudah dibuat, sehingga diperoleh hasil seperti berikut;

Tabel 12. (Lanjutan Hasil Analisis *Strategic Factor Analysis Summary* (SFAS))

No	Rumusan Strategi	Bobot	Rating	Skor	Jangka Pendek	Jangka Menengah	Jangka Panjang
1	Merancang sistem peringatan dini/early warning system (EWS) banjir Sub DAS Melawi.	0,080	2	0,16			
		0,114	4	0,46			
2	Melakukan studi kelayakan untuk tindakan detail desain bangunan pengendali banjir yang multi fungsi.	0,112	3	0,34			
3	Melakukan tindakan konservasi pada lahan-lahan kritis di Sub DAS Melawi						

4	Perlu adanya tindakan untuk mengendalikan erosi dan sedimentasi di Sungai Melawi yang diakibatkan oleh PETI, Penambangan pasir sungai ilegal dan kegiatan lain yang tidak berwawasan lingkungan.	0,112	5	0,56
5	Perlu dilakukan revisi terhadap regulasi pola tata ruang	0,112	7	0,78
6	Perlu adanya kebijakan mengenai pemanfaatan ruang yang berwawasan lingkungan.	0,102	6,00	0,61

Jumlah =	0,63	MAX =	0,78
		MIN=	0,16
		SFAS	0,62
	Jangka Pendek	s.d.	0,37
	Jangka Menengah	0,38 -	0,58
	Jangka Panjang	>	0,58

Dari hasil analisis, dapat diketahui bahwa untuk melakukan pengelolaan banjir terpadu Sub DAS Melawi, maka strategi yang perlu dilakukan dalam tiap jangka strategi adalah;

- a. Strategi jangka pendek : - Merancang sistem peringatan dini/*early warning system* (EWS) banjir Sub DAS Melawi.
- Melakukan studi kelayakan untuk tindakan detail desain bangunan pengendali banjir yang multi fungsi.
- b. Strategi jangka menengah : - Melakukan tindakan konservasi pada lahan-lahan kritis di Sub DAS Melawi.
- Perlu adanya tindakan untuk mengendalikan erosi dan sedimentasi di Sungai Melawi yang diakibatkan oleh PETI, Penambangan pasir sungai ilegal dan kegiatan lain yang tidak berwawasan lingkungan.
- c. Strategi jangka panjang : - Perlu dilakukan revisi terhadap regulasi pola tata ruang.
- Perlu adanya kebijakan mengenai pemanfaatan ruang yang berwawasan lingkungan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis curah hujan yang telah dilakukan di sub DAS Melawi, dapat diketahui bahwa besarnya curah hujan yang terjadi di wilayah Sub DAS Melawi cukup tinggi, sehingga potensi banjir di Sub DAS Melawi akibat curah hujan perlu diantisipasi. Dari hasil analisis spasial

dapat diketahui bahwa banjir di Sub DAS Melawi sebagian besar terjadi karena adanya alih fungsi lahan untuk permukiman, perkebunan, dan juga pertambangan. Sehingga pemerintah harus melakukan pengaturan kembali pemanfaatan lahan di Sub DAS Melawi, dan perlu mensosialisasikan serta memberlakukan produk hukum dengan lebih tegas, sehingga untuk di wilayah penyangga, luasan yang telah ditetapkan oleh kementerian kehutanan dan kementerian lingkungan hidup dapat tetap dipertahankan.

Berdasarkan hasil analisis skala prioritas yang bersumber pada hasil FGD, dapat diketahui bahwa untuk melakukan pengelolaan banjir terpadu di Sub DAS Melawi, perlu dilakukannya revisi terhadap regulasi pola tata ruang di Sub DAS Melawi sehingga dampak banjir dapat diminimalkan. Penelitian ini masih merupakan tahap awal, dan akan dilanjutkan dengan penelitian yang lebih detail, dengan tinjauan wilayah per desa, sehingga potensi banjir dan pengendalian untuk meminimalkannya dapat diketahui lebih rinci.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini memuat karya orisinal, hasil penelitian yang dilakukan oleh Tim Peneliti Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa artikel yang disajikan ini bebas dari plagiarisme, karena sudah diperiksa melalui aplikasi Turnitin dan Ithenticate. Jikapun ada kesamaan, hanya sebatas kesamaan istilah, referensi ataupun persamaan dan metode yang digunakan untuk analisis. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Tanjungpura yang telah memberikan kesempatan kepada penulis dan tim melakukan penelitian melalui dana DIPA yang dikelola Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura dan Universitas Kristen Indonesia yang memberikan kesempatan kepada penulis dan Tim untuk memaparkan hasil penelitian ini dalam Seminar Nasional Prodi Teknik Sipil FT UKI 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Akafi, M. M., Soeryamassoeka, S. B., Gunarto, D., Nirmala, A., & Danial, M. M. (2023). Determination Of The Priority Scale Of Flood Management In The Landak Sub-Watershed. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 211–219.
- Alfaro, A., Soeryamassoeka, S. B., Gunarto, D., Umar, & Yulianto, E. (2023). Flood Management Strategy in The Landak Sub-River Basin Using SWOT Analysis. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(1), 93–102.
- Ariyani, D., Balqis, A. K., Abdaa, D., Arini, R. N., Dewi, A. P., & KT, S. P. (2023). Flood Hazard Mapping Using QGIS Spatial Analysis in Bangko and Masjid Watershed at Riau, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 3(13), 362–371.
- Armal, S., Devineni, N., & Khanbilvardi, R. (2018). Trends in extreme rainfall frequency in the contiguous United States: Attribution to climate change and climate variability modes. *Journal of Climate*, 31(1), 369–385. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0106.1>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2008). *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 4 Tahun 2008, Tentang Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana*.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2021). *Data dan Informasi Bencana Indonesia*. <http://dibi.bnpb.go.id/>
- Bibi, T. S., & Kara, K. G. (2023). Evaluation of climate change, urbanization, and low-impact development practices on urban flooding. *Heliyon*, 1(9).

- Chan, S. W., Abid, S. K., Sulaiman, N., Nazir, U., & Azam, K. (2022). A systematic review of the flood vulnerability using geographic information system. *Heliyon*.
- Cipta, H., & Arief, T. M. V. (2021). *Banjir di Sintang Kalbar Jadi yang Terbesar dan Terlama sejak 1963*. <https://regional.kompas.com/read/2021/11/24/113424378/banjir-di-sintang-kalbar-jadi-yang-terbesar-dan-terlama-sejak-1963?page=all>
- Ding, W., Wu, J., Tang, R., Chen, X., & Xu, Y. (2022). A Review of Flood Risk in China during 1950–2019: Urbanization, Socioeconomic Impact Trends and Flood Risk Management. *Water (Switzerland)*, *14*(20). <https://doi.org/10.3390/w14203246>
- Hassan, B. T., Yassine, M., & Amin, D. (2022). Comparison of Urbanization, Climate Change, and Drainage Design Impacts on Urban Flashfloods in an Arid Region: Case Study, New Cairo, Egypt. *Water (Switzerland)*, *15*(14), 2430. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w14152430>
- Jankovic, S., Prodanovic, D., & Milijic, S. (2021). The impact of floods on agriculture: A review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124466>
- Kleinhans, M. G., de Vries, B., Braat, L., & van Oorscot, M. (2018). Living landscapes: Muddy and vegetated floodplain effects on fluvial pattern in an incised river. *Earth Surface Processes and Landforms*, *43*(14), 2948–2963. <https://doi.org/10.1002/esp.4437>
- Nakamura, S., & Shaw, R. (2020). Urban flooding and health risks in Southeast Asia: a scoping review. *International Journal of Environmental Research Dan Public Health*, *2*(28), 2031. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000571](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000571)
- Olivera, F., & Porto, R. (2022). Impacts of floods on infrastructure and public services: A review. *Journal of Infrastructure Systems*, *2*(28). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000571](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000571)
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., & Cramer, W. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Soeryamassoeka, S. B., Triweko, R. W., Yudianto, D., & Kartini. (2018). Challenges Of Integrated Water Resources Management In Kapuas River Basin. *21st IAHR-APD Congress*, 867–872.
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Tingsanchali, T., & Wisitsoraat, A. (2019). Health impact assessment of flood disaster in Thailand. *BMC Public Health*, *1*(19), 1591. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12889-019-7942-9>
- Wobus, C., Lawson, M., Jones, R., Smith, J., & Martinich, J. (2014). Estimating monetary damages from flooding in the United States under a changing climate. *Journal of Flood Risk Management*, *7*(3), 217–229. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12043>
- Xie, Y., Wang, J., & Yao, L. (2020). Economic losses caused by flood disasters in China from 2005 to 2017. *Natural Hazards*, *3*(102), 2253–2265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11069-020-04157-6>