



KAJIAN *TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX* (TWI) UNTUK MENGETAHUI POTENSI BAHAYA BANJIR DI KOTA MANADO

Agus Santoso Budiharso^{1*}, Andre J Momongan¹

¹Universitas Prisma/ Departemen Geologi/ SIG/ Universitas Prisma, Jl. Pomorouw No. 113, Kel. Tikala Baru, Kec. Tikala, Manado, Sulawesi Utara

Corresponding author: e-mail: agus.budiharso@prisma.ac.id

ABSTRAK

Banjir di Kota Manado sejak tahun 2000 hingga tahun 2023 terus mengalami perluasan, hal ini seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan infrastruktur. Untuk mengatasi terjadinya banjir di kemudian hari maka perlu adanya penelitian dari berbagai penyebab banjir, diantaranya adalah curah hujan, faktor topografi wilayah, kondisi hidrologi/drainase kota dan sebagainya. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kajian *Topographic Wetness Index* (TWI) yang dibantu dengan teknis analisis menggunakan Sistem Informasi Geografis. Penelitian ini menghasilkan sebaran TWI, nilai TWI yang tinggi menunjukkan bahwa suatu kawasan memiliki kelembaban tanah yang tinggi dan potensi aliran air permukaan yang lebih besar apabila terjadi hujan, sehingga rentan terhadap banjir. Hasil *overlay* TWI berkategori tinggi dengan seluruh areal berdampak banjir dari tahun 2011 hingga tahun 2023 menunjukkan bahwa, dari seluruh areal berdampak banjir sekitar 64.51 % nya mempunyai nilai TWI tinggi. Begitu juga dengan *overlay* antara bangunan dengan TWI, ada 70.414 bangunan yang terletak di wilayah TWI tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil penelitian ini menunjukkan adanya keterkaitan kuat antara nilai TWI yang tinggi dengan daerah yang berpotensi mengalami banjir. Nilai TWI yang tinggi menunjukkan kelembaban tanah yang tinggi dan potensi aliran air permukaan yang lebih besar saat terjadi hujan.

Kata Kunci: Banjir Kota Manado, *Topographic Wetness Index*, Sistem Informasi Geografis

PENDAHULUAN

Banjir merupakan kejadian yang sering terjadi di Indonesia, dan faktor topografi merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kecenderungan terjadinya banjir. Manado, yang terletak di Sulawesi Utara, memang memiliki sejarah banjir yang cukup sering terjadi di kota tersebut. Beberapa faktor yang menyebabkan banjir di Manado antara lain topografi kota yang berbukit-bukit dan memiliki beberapa sungai yang melintasi Kota, intensitas hujan yang tinggi, dan kurangnya infrastruktur drainase yang memadai.

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan infrastruktur, permasalahan banjir di Manado semakin menjadi-jadi. Namun demikian, pemerintah setempat terus berusaha untuk mengatasi permasalahan ini dengan meningkatkan infrastruktur drainase dan penanganan banjir, seperti membangun tanggul sungai, memperlebar aliran sungai, dan membangun pompa air.

pembangunan drainase di kota Manado harus memperhatikan faktor topografi, termasuk sebaran *Topographic Wetness Index* (TWI) yang ada di kota tersebut. TWI merupakan indeks yang mengukur kemampuan suatu

daerah untuk menahan air, berdasarkan perbedaan elevasi dan kemiringan permukaan tanah.

Dalam konteks Manado, yang memiliki topografi yang berbukit-bukit dan memiliki sungai-sungai yang melintasi perkotaan, sebaran TWI dapat memberikan informasi penting terkait kemampuan daerah tersebut dalam menahan air dan kemungkinan terjadinya banjir. Oleh karena itu, saat merencanakan pembangunan drainase, sebaran TWI harus dipertimbangkan agar drainase yang dibangun dapat mengalirkan air dengan baik dan mencegah terjadinya banjir.

Metode *Topographic Wetness Index* (TWI) digunakan untuk menghitung tingkat kerawanan banjir pada suatu daerah, dengan memperhitungkan kondisi topografi daerah tersebut.

Metode TWI mengukur kecenderungan akumulasi air pada suatu daerah dengan mempertimbangkan topografi dari lereng atas dan lereng bawah. Perhitungan TWI didasarkan pada data *Digital Elevation Model* (DEM) atau *Digital Terrain Model* (DTM) dari suatu daerah. Nilai TWI yang semakin tinggi menunjukkan tingkat kerawanan banjir yang semakin tinggi pula.

Pada tulisan ini penulis akan menguraikan hasil penelitiannya tentang keterkaitan TWI dengan kejadian banjir yang sejak tahun 2000 hingga tahun 2023.

Banjir adalah permasalahan yang sering terjadi di Kota Manado, terutama saat musim penghujan. Kejadian banjir dari tahun ke tahun di Manado sebarannya semakin meluas dan belum dapat diatasi secara jitu.

Kemungkinan besar adalah kondisi topografi Kota Manado yang berbukit-bukit dan curam inilah yang menyebabkan air hujan mudah mengalir dan menumpuk di tempat yang rendah dan menyebabkan genangan di berbagai wilayah permukiman penduduk.

Tujuan penelitian ini antara lain :

- Melakukan pemetaan Indeks Kebasahan Topografi atau yang dikenal dengan *Topographic Wetness Index* (TWI) di Kota Manado
- Untuk menyusun strategi pengurangan potensi banjir di kota manado berdasarkan sebaran spasial indeks kebasahan topografi

METODE

Metode yang digunakan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan mengumpulkan data-data antara lain : data DEM (Digital Elevation Model) yang diunduh dari situs DEMNAS, data banjir secara beruntun (time series) yang diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan dan Penelitian Kota Manado. Peta RBI skala 1:25.000 Sumber: Badan Informasi Geospasial, Peta Dasar Skala 1:5000 Sumber Bapelitbangda Kota Manado, Citra Satelit Resolusi Tinggi dan Data Bangunan. S

Adapun peralatan yang digunakan adalah Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah: Perangkat Keras (Hardware) berupa Laptop Pentium Core i7, Printer Epson , GPS (Global Positioning System). Sedangkan Perangkat Lunak (*Software*) berupa Microsoft Word 2016, Microsoft Excel 2016 dan ArcGIS 10.8 (perangkat lunak Sistem Informasi Geografis).

Data-data yang terkumpul dianalisa dan di lakukan analisa spasial dengan sistem tumpang tindih peta dengan perangkat lunak ArcGIS. Teknik analisis dalam penelitian ini sepenuhnya menggunakan konsep *Topographic Wetness Index* (TWI), yang mana merupakan metode analisis medan yang digunakan untuk mengidentifikasi daerah dengan potensi akumulasi dan limpasan air yang tinggi. Ini dihitung berdasarkan kemiringan dan area kontribusi dari setiap titik dalam lanskap/bentanglahan. Ketika nilai TWI tinggi, ini menunjukkan bahwa medan dicirikan oleh kelerengan yang rendah dan area kontribusi lereng yang besar, yang berarti bahwa air lebih mungkin terakumulasi di area tersebut dan mengalir ke bawah. Hal ini dapat mengakibatkan peningkatan potensi limpasan, karena air mungkin tidak dapat meresap ke dalam tanah dan malah mengalir ke permukaan, berpotensi menyebabkan erosi dan masalah lainnya.

Sebaliknya, ketika nilai TWI rendah, ini menunjukkan bahwa medannya lebih curam dan memiliki area kontribusi lereng yang lebih kecil, yang berarti air cenderung tidak terakumulasi dan mengalir ke bawah, dan malah lebih mudah meresap ke dalam tanah.

Secara keseluruhan, TWI dapat menjadi alat yang berguna untuk mengidentifikasi area lanskap/bentanglahan yang rentan terhadap akumulasi air dan limpasan, yang penting untuk tujuan perencanaan dan pengelolaan, seperti dalam konteks perencanaan penggunaan lahan, pengelolaan sumber daya alam, dan pengendalian banjir.

Beberapa peneliti telah menggunakan TWI ini mendeteksi wilayah rawan banjir ini antara lain Pourali et.al (2014) mendeteksi risiko banjir untuk perencanaan penggunaan lahan di Wreck Creek Australia. Peneliti lain Nucifera dan Putro (2017) telah melakukan deteksi kerawanan banjir di Kabupaten Kebumen. Lebih lanjut Altunel (2022) juga menggunakan perhitungan TWI untuk mengetahui bahaya tersembunyi yang tersebar di Bozkurt pada Agustus 2021 yang merupakan bagian dari sub-provinsi Kastamonu, Turkey. Peneliti- peneliti tersebut telah membuktikan bahwa Toppgraphic Wetness Index (TWI) dapat menggambarkan besarnya nilai kebasahan lahan berdasarkan kondisi topografi.

Adalagi peneliti lain yang menggunakan TWI ini hingga menemukan batasan bahwa TWI yang bernilai lebih besar dari 15 menunjukkan daerah yang rawan genangan air dan nilai TWI diatas 25 adalah menunjukkan daerah yang mempunyai potensi genangan air tinggi (Riadi, et.al., 2017).

Data yang tersedia kemudian diolah dengan mengikuti tahapan sebagai berikut (Gambar 1).

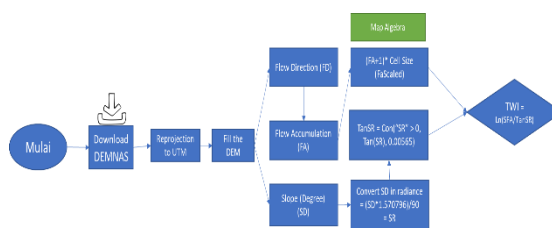


Diagram alir perhitungan Topographic Wetness Index (TWI)

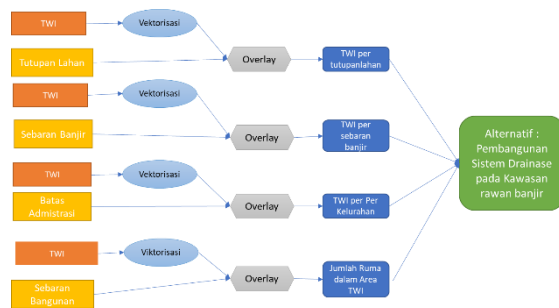
Sources : Altunel, Arif Oğuz (2022), The effect of DEM resolution on topographic wetness index calculation and visualization: An insight to the hidden danger unveiled in Bozkurt in August, 2021. International Journal of Engineering and Geosciences 8(2):155-172 dengan sedikit Modifikasi

Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan TWI

Hasil dari perhitungan TWI ini kemudian ditumpang susunkan (overlay) dengan peta batas administrasi dan juga peta tutupan lahan, sebaran kejadian banjir secara berkala dan juga peta agihan bangunan yang ada di Kota Manado, dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui sebaran TWI pada masing-masing tutupan lahan, TWI pada masing-masing Kelurahan, TWI pada terjadi banjir yang ada serta berapa jumlah rumah yang terletak pada lokasi rawan banjir.

Kelas TWI (Topographic Wetness Index) dapat ditentukan dengan metode quantile untuk membagi data menjadi tiga kelas, yaitu kelas TWI rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan distribusi nilai TWI. Metode quantile membagi data ke dalam kelompok yang setara jumlah datanya sehingga mendapatkan kelas dengan frekuensi yang serupa.

Sebagai gambaran dalam analisis spasial ini dijelaskan dalam model analisis yang dapat dilihat pada Gambar 2, sebagai berikut :



Gambar 2. Model Spasial Mencari Alternatif Pembangunan Drainase pada Kawasan Rawan Banjir

Lokasi Penelitian

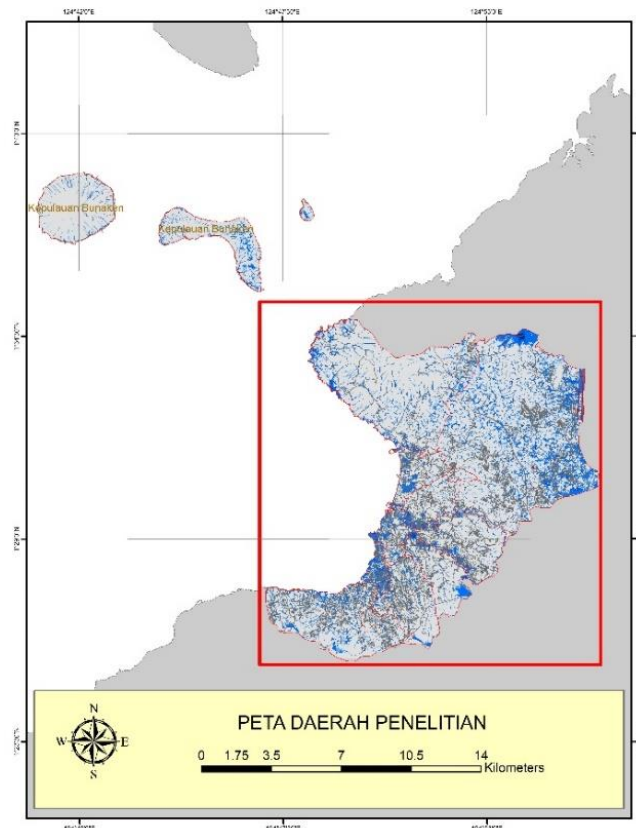
Penelitian ini berlokasi di Kota Manado. Kota Manado yang pada sejak dari awal tahun 2000 hingga kini masih sering dilanda bencana Banjir. Manado sebagai ibukota Provinsi Sulawesi Utara secara geografis terletak di 124o 40' 39" – 124o 56' 6" BT dan 1 o 25' 37" – 1 o 39' 4" LU. Untuk lebih jelasnya lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejarah Banjir Kota Manado

Banjir Kota Manado adalah bencana alam yang sering terjadi di ibu kota Provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan data yang saya temukan, berikut ini adalah beberapa kejadian banjir yang terjadi di Kota Manado sejak tahun 2000 hingga 2023:

- Pada tahun 2000, banjir bandang melanda Manado akibat hujan deras dan luapan sungai. Banjir ini menyebabkan 10 orang tewas dan ribuan rumah rusak.
- Pada tahun 2004, banjir bandang kembali menggenangi Manado setelah hujan lebat selama dua



Gambar 3. Peta Daerah Penelitian

- hari. Banjir ini menewaskan 36 orang dan merusak lebih dari 10.000 rumah.
- Pada tahun 2014, banjir bandang dan longsor menerjang Manado pada 15 Januari. Banjir ini disebabkan oleh hilangnya hutan dan daerah resapan akibat pembangunan kota yang serampangan. Banjir ini menelan 19 korban jiwa dan mengakibatkan kerugian sebesar 1,8 triliun rupiah.
- Pada tahun 2018, banjir bandang dan longsor kembali melanda Manado pada 16 Februari. Banjir ini dipicu oleh curah hujan yang tinggi dan pasang laut. Banjir ini mengakibatkan 4 orang tewas dan ribuan rumah terendam.
- Pada tahun 2023, banjir bandang dan longsor terjadi di Manado pada 27-28 Januari. Banjir ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi hingga daerah aliran sungai (DAS) Danau Tondano meluap. Banjir ini menyebabkan 5 orang meninggal dunia dan ratusan rumah rusak.

Kejadian banjir sejak tahun 2000 hingga 2023 di Kota Manado menjadikan hampir 1/3 wilayah menjadi rawan banjir karena beberapa faktor, antara lain:

- Kemungkinan besar sedang berlakunya perubahan iklim yang berakibat pada timbulnya cuaca ekstrem yang menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat.
- Penggundulan hutan dan perubahan penggunaan lahan yang mengurangi daya resap air tanah dan meningkatkan aliran permukaan di wilayah hinterland.
- Adanya pembangunan kota yang belum terpadu dan komprehensif yang mengakibatkan berkurangnya ruang terbuka hijau dan menyempitkan saluran air.

Morfologi Daerah Penelitian

Kondisi Kota Manado berdasarkan sumber Peta Geomorfologi Daerah Manado Skala 1:100.000 tahun 2007 mempunyai 10 Satuan morfologi, dengan rincian sebagai berikut :

- VD1 - Kerucut Gunungapi Tertoreh (Luas: 514.23 Ha) Kawasan ini ditandai dengan adanya kerucut gunungapi tertoreh, yang mungkin merupakan bekas aktivitas vulkanik di masa lalu. Luas lahan yang mencapai 514.23 hektar membuatnya menjadi salah satu bagian menarik dalam wilayah ini.
- VD2 - Lereng Gunungapi Tertoreh (Luas: 2197.36 Ha) Wilayah ini terdiri dari lereng gunungapi tertoreh, yang memiliki luas mencapai 2197.36 hektar. Lereng ini menawarkan pemandangan indah dan keanekaragaman flora dan fauna.
- VD6 - Bukit Sisa (Luas: 47.05 Ha) Bukit Sisa adalah kawasan dengan luas sekitar 47.05 hektar. Meskipun

tergolong kecil, kawasan ini memiliki keunikan dan peran penting dalam ekosistem lokal.

- V3 - Lereng Gunungapi (Luas: 1666.33 Ha) Lereng gunungapi ini memiliki luas lahan mencapai 1666.33 hektar. Kawasan ini mungkin memiliki karakteristik geologi dan geomorfologi yang menarik untuk dipelajari.
- V6 - Dataran Antar Gunungapi (Luas: 8130.23 Ha) Dataran antar gunungapi merupakan wilayah yang luas, mencapai 8130.23 hektar. Kawasan ini memiliki peran penting dalam penghubung ekosistem dan habitat berbagai spesies.
- F1 - Dataran Aluvium (Luas: 838.95 Ha) Kawasan dataran aluvium ini memiliki luas mencapai 838.95 hektar. Dataran ini sering menjadi lahan subur karena material aluvium yang dibawa oleh sungai.
- F2 - Dataran Banjir (Luas: 1081.17 Ha) Dataran banjir adalah wilayah seluas 1081.17 hektar yang terkena dampak banjir secara periodik ketika curah hujan tinggi atau sungai meluap.
- FM - Dataran Buatan (Luas: 72.17 Ha) Dataran buatan adalah area seluas 72.17 hektar yang mungkin dibuat oleh manusia untuk berbagai tujuan seperti pemukiman atau pertanian.
- M1 - Pasir Pantai (Luas: 144.83 Ha) Pasir pantai adalah wilayah seluas 144.83 hektar yang terletak di dekat garis pantai, yang umumnya memiliki ekosistem yang khas dan menjadi daya tarik wisata.
- M4 - Rawa Bakau Pasang Surut (Luas: 2197.57 Ha) Rawa bakau pasang surut adalah wilayah seluas 2197.57 hektar yang terpengaruh oleh pasang surut, dengan ekosistem rawa bakau yang penting untuk berbagai spesies. Secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sebaran Satuan Morfologi di Daerah Penelitian

NO.	Simbol	Morfologi	Luas (Ha)
1	VD1	Kerucut Gunungapi Tertoreh	514.23
2	VD2	Lereng Gunungapi Tertoreh	2197.36
3	VD6	Bukit Sisa	47.05
4	V3	Lereng Gunungapi	1666.33
6	V6	Dataran Antar Gunungapi	8130.23
7	F1	Dataran Aluvium	838.95
8	F2	Dataran Banjir	1081.17
9	FM	Dataran Buatan	72.17
10	M1	Pasir Pantai	144.83
11	M4	Rawa Bakau Pasang Surut	2197.57

Sumber : Peta Geomorfologi Daerah Manado Skala 1:100.000

Berdasarkan uraian data di atas, daerah yang kemungkinan sering terkena banjir adalah: Dataran Antar Gunungapi Dataran antar gunungapi memiliki luas yang cukup besar dan merupakan kawasan yang berada di antara gunung-gunung. Wilayah seperti ini biasanya memiliki tingkat aliran air yang cukup tinggi saat terjadi curah hujan tinggi atau banjir sungai dari gunung-gunung

tersebut. Hal ini membuat dataran antar gunungapi menjadi salah satu daerah yang mungkin sering terkena banjir.

Dataran Banjir Dataran banjir adalah wilayah yang secara khusus terkena dampak banjir secara periodik ketika curah hujan tinggi atau saat sungai meluap. Daerah ini cenderung lebih rentan terhadap banjir dibandingkan dengan wilayah lain karena secara alami menjadi tempat genangan air saat sungai meluap.

Rawa Bakau Pasang Surut Rawa bakau pasang surut adalah wilayah rawa yang dipengaruhi oleh pasang surut. Meskipun dataran rawa ini dapat menyerap air, namun saat terjadi curah hujan tinggi atau luapan dari laut, rawa bakau bisa menjadi kawasan yang berpotensi terkena banjir.

Dataran aluvium juga berpotensi berdampak banjir. Dataran aluvium merupakan wilayah yang terbentuk dari material sedimen aluvial yang diendapkan oleh sungai selama ribuan tahun. Material aluvial ini umumnya berupa lumpur, pasir, dan kerikil yang sangat subur dan berguna untuk pertanian. Namun, ketika terjadi curah hujan yang tinggi, dataran aluvium dapat menjadi daerah yang rentan terhadap banjir.

Beberapa faktor yang menyebabkan dataran aluvium berpotensi berdampak banjir adalah:

- Drainase yang Tidak Memadai: Dataran aluvium memiliki karakteristik tanah yang sangat subur, namun dapat memiliki sistem drainase yang tidak cukup baik. Saat terjadi hujan lebat, air tidak dapat

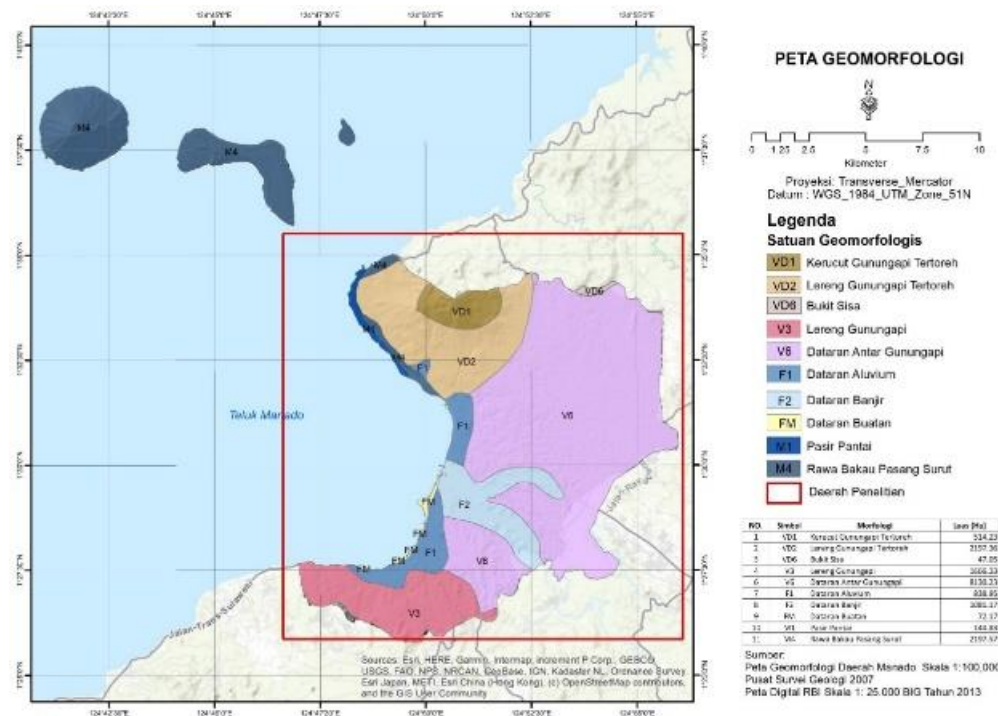
- dengan cepat diserap oleh tanah atau dialirkan melalui sistem drainase yang memadai, sehingga menyebabkan genangan air dan potensi banjir.

- Curah Hujan Tinggi: Daerah dataran aluvium cenderung memiliki curah hujan yang tinggi, terutama selama musim hujan. Jumlah air yang banyak dapat menyebabkan sungai meluap dan membanjiri dataran aluvium di sekitarnya.

- Perubahan Tata Guna Lahan: Pertumbuhan perkotaan dan perubahan tata guna lahan di dataran aluvium dapat menyebabkan hilangnya lahan yang dapat menyerap air dan mengalirkan aliran permukaan, sehingga meningkatkan risiko banjir.

- Subsiden Tanah: Beberapa wilayah dataran aluvium mengalami subsiden tanah, yaitu penurunan permukaan tanah akibat pengeksploitasian air tanah yang berlebihan. Subsiden tanah dapat menyebabkan permukaan tanah menjadi lebih rendah dari tinggi permukaan air laut, sehingga meningkatkan risiko banjir akibat air laut pasang surut.

Meskipun demikian, penting untuk diingat bahwa seluruh wilayah di atas dapat mengalami banjir tergantung pada faktor cuaca dan kondisi alamiah lainnya. Banjir dapat disebabkan oleh curah hujan yang tinggi, luapan sungai, atau kondisi topografi yang tidak memadai. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih mendalam untuk menentukan sejauh mana wilayah-wilayah tersebut menjadi titik rawan banjir di Kota



Gambar 4. Peta Geomorfologi

Manado. Upaya pencegahan banjir dan perencanaan tata ruang yang baik sangat penting untuk mengurangi dampak banjir di daerah-daerah tersebut.

Untuk lebih mengetahui sebaran morfologi secara spasial di daerah penelitian dapat dilihat pada Peta Geomorfologi (Gambar 4)

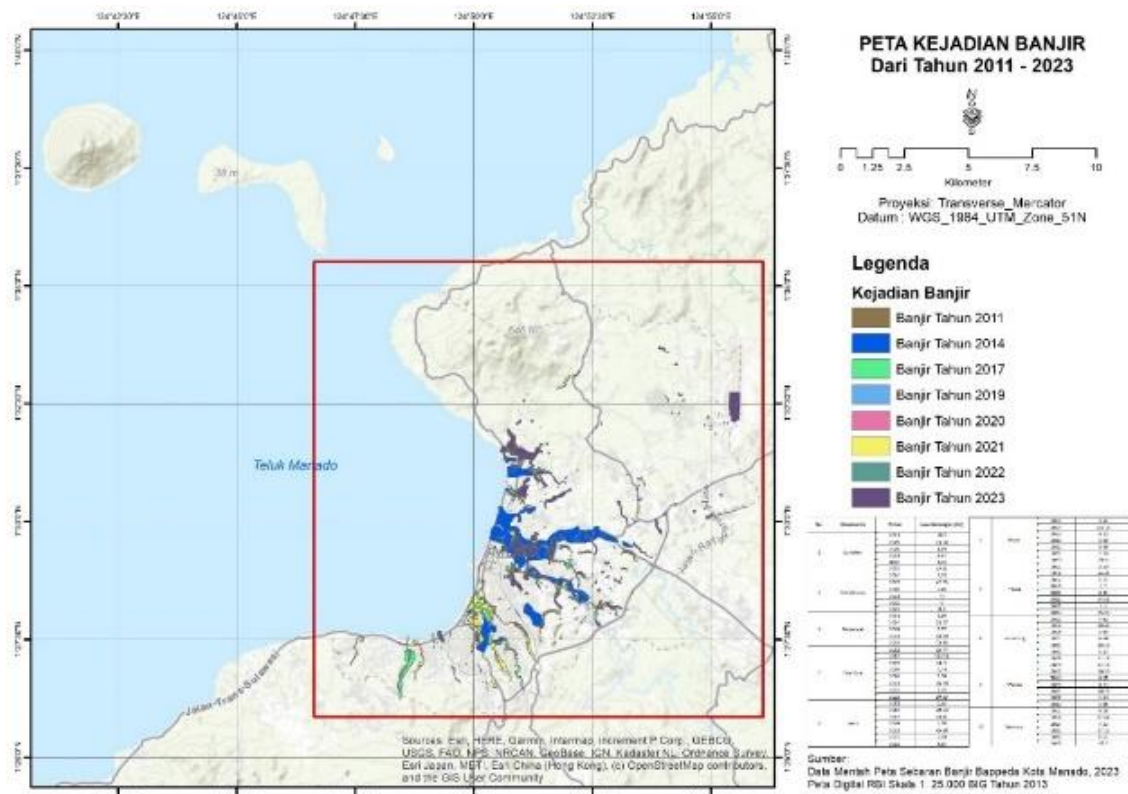
Data sekunder tersebut menunjukkan bahwa Kota Manado sudah sering mengalami bencana banjir sejak tahun 2011. Dari 11 kecamatan yang ada di Kota Manado, 10 kecamatan terdampak bencana banjir dengan luas genangan yang bervariasi. Luasan maksimum genangan yang terjadi mencapai 133.18 hektar dan terjadi di Kecamatan Paal Dua.

Data ini menegaskan bahwa banjir adalah masalah serius dan kompleks di Kota Manado, dan telah mempengaruhi sebagian besar wilayah kecamatan. Luas genangan yang signifikan seperti yang terjadi di Kecamatan Paal Dua menunjukkan tingkat risiko banjir yang tinggi di wilayah tersebut.

Tabel 2. Kejadian Banjir di Daerah Penelitian dari tahun 2011-2023

No.	Kecamatan	Tahun	Luas Genangan (Ha)	No.	Kecamatan	Tahun	Luas Genangan (Ha)
1	Bunaken	2011	10.5	6	Singkil	2011	3.47
		2019	13.18			2014	117.34
		2020	3.54			2019	0.19
		2021	8.57			2020	3.08
		2022	4.02			2021	8.89
2	Malalayang	2023	42.01	7	Tikala	2022	2.19
		2014	7.33			2023	29.45
		2017	42.23			2011	3.59
		2019	0.46			2014	44.41
		2021	44			2017	1.51
3	Mapangnet	2022	0	8	Tuminting	2019	1.7
		2023	0.4			2021	0.21
		2011	0.78			2022	34.52
		2014	25.77			2023	1.4
		2019	0.77	9	Wanea	2023	15.09
4	Paal Dua	2021	10.09			2011	4.62
		2023	73.95			2014	80.46
		2011	15.74			2019	5.96
		2014	133.18			2021	6.69
		2017	18.11			2022	19.28
5	Sario	2019	5.14	10	Wenang	2023	6.46
		2020	5.79			2023	27.79
		2021	26.79			2014	64.58
		2022	7.79			2017	36.99
		2023	39.93			2019	0.32
		2011	0.88			2020	0.14
		2014	40.53			2021	60.73
		2017	23.81			2022	1.88
		2019	1.09			2023	4.65
		2021	45.98			2011	0.28
		2022	0.74			2014	67.44
		2023	4.39			2017	7.33
						2021	17.12
						2022	1.61
						2023	19.2

Sumber : Diolah dari data digital Bappeda Kota Manado Tahun 2023



Gambar 5. Peta Kejadian Banjir di Daerah Penelitian

Sebaran secara spasial kejadian banjir dari tahun 2011 hingga tahun 2023 yang terjadi daerah penelitian, dapat dilihat pada Gambar 5.

Hasil Pemetaan TWI Kota Manado

Berdasarkan hasil perhitungan dan pemetaan TWI di daerah penelitian didapat paling rendah bernilai 2.158734083 dan tertinggi 21.09617996. Dengan rentang tersebut maka diklasifikasi menjadi 3 kelas dengan metode quantile yang menghasilkan kelas sebagai berikut:

Tabel 3. Kriteria Klasifikasi Nilai TWI

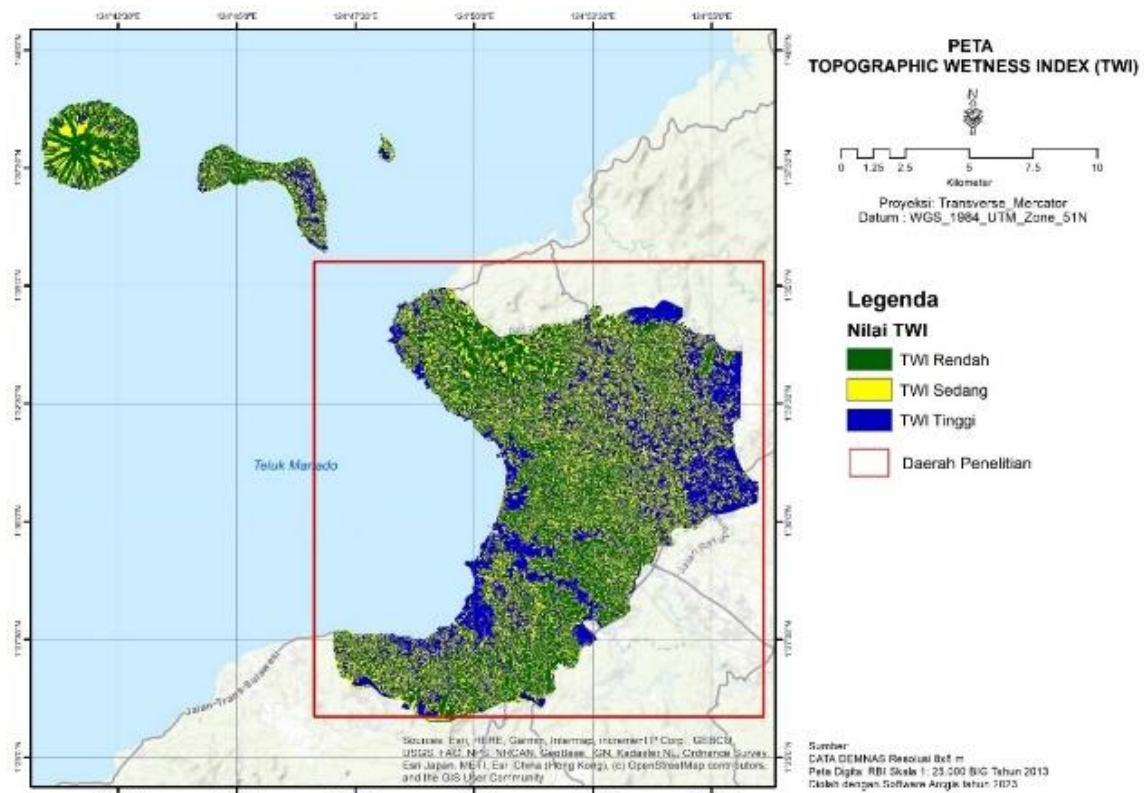
Nilai TWI	Klasifikasi
2.158734083 - 5.723429778	Rendah
5.723429779 - 7.060190664	Sedang
7.060190665 - 21.09617996	Tinggi

Sumber: Hasil Pengolahan Data DEM dengan ArcGIS, 2023

Berdasarkan kriteria tersebut menghasilkan Peta TWI yang disajikan pada Gambar 6. Dari Peta TWI ini dapat dilihat pola sebaran Nilai TWI yang tinggi yang sepertinya membentuk pola yang sangat mirip dengan ketika terjadi banjir sebagaimana telah diuraikan diatas.

Sebagaimana banyak kajian di berbagai tempat bahwa ada keterkaitan kuat antara nilai TWI yang tinggi dengan daerah yang berpotensi kena banjir tinggi. Kondisi nilai Topographic Wetness Index (TWI) yang tinggi sering dikaitkan dengan potensi banjir yang lebih besar. TWI adalah indeks yang menggambarkan kelembaban tanah berdasarkan topografi dan kemiringan lahan. Nilai TWI yang tinggi menunjukkan bahwa suatu kawasan memiliki kelembaban tanah yang tinggi dan potensi aliran air permukaan yang lebih besar apabila terjadi hujan. Beberapa alasan mengapa kondisi TWI yang tinggi sering terjadi banjir adalah:

1. Topografi: Daerah dengan nilai TWI tinggi biasanya memiliki topografi yang datar atau cekungan, yang mengakibatkan aliran air lebih lambat dan akumulasi air di permukaan tanah. Hal ini meningkatkan risiko banjir, terutama saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi.
2. Kemiringan Lahan: Kemiringan lahan yang rendah pada daerah dengan nilai TWI tinggi menyebabkan air mengalir lebih lambat dan mengurangi kapasitas



Gambar 6. Peta TWI Daerah Penelitian

infiltrasi tanah. Hal ini berarti bahwa air hujan lebih mudah tergenang dan menyebabkan banjir.

3. **Kapasitas Infiltrasi Tanah:** Tanah di daerah dengan nilai TWI tinggi cenderung memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih rendah. Ini berarti bahwa tanah tidak dapat menyerap air hujan dengan cepat, sehingga air lebih mudah menggenang dan menyebabkan banjir.
4. **Kondisi Tanah:** Tanah yang jenuh air atau memiliki kandungan air yang tinggi di daerah dengan nilai TWI tinggi juga dapat meningkatkan risiko banjir. Tanah yang jenuh air tidak dapat menyerap air hujan lebih lanjut, sehingga air akan mengalir di permukaan dan berpotensi menimbulkan banjir.
5. **Penggunaan Lahan:** Penggunaan lahan yang tidak sesuai di daerah dengan nilai TWI tinggi, seperti pembangunan permukiman, industri, atau pertanian intensif, dapat memperburuk risiko banjir. Pembangunan yang tidak mempertimbangkan karakteristik topografi dan hidrologi daerah tersebut dapat mengurangi kapasitas infiltrasi tanah dan meningkatkan aliran air permukaan.

Selanjutnya untuk keperluan analisis, karena hanya daerah yang mempunyai nilai TWI berkategori tinggi yang kemungkinan besar akan berdampak banjir maka dalam uraian di bawah ini akan jelaskan sebaran TWI berkategori tinggi per kecamatan, kemudian Sebaran Nilai TWI tinggi pada seluruh wilayah yang pernah berdampak banjir tahun 2011 – tahun 2023, Sebaran TWI tinggi pada masing-masing tutupan lahan, dan terakhir sebaran TWI tinggi pada peta bangunan.

Sebaran Nilai TWI Tinggi

Apabila peta TWI ditumpangsusunkan dengan peta Administrasi Kecamatan di daerah penelitian maka, wilayah luas wilayah kecamatan yang mempunyai TWI tinggi adalah sebagai berikut (lihat Tabel)

Tabel 4. Luas TWI Perkecamatan

No.	Kecamatan	Luas Ha
1	Bunaken	828.97
2	Malalayang	613.56
3	Mapanget	2415.63
4	Paal Dua	266.43
5	Sario	170.57
6	Singkil	138.63
7	Tikala	206.83
8	Tuminting	187.07
9	Wanea	252.2
10	Wenang	190.42
	Grand Total	5270.31

Sumber: Analisis overlay antara Peta TWI dan Peta Administrasi Kecamatan

Berdasarkan hasil analisis tumpang tindih yang hasilnya pada Tabel 4, wilayah Kecamatan Mapanget yang secara geomorfologis merupakan dataran antar gunung api memiliki Topographic Wetness Index (TWI) yang tinggi dengan luas yang paling besar. Hal ini menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kecenderungan tinggi untuk menjadi basah berdasarkan topografi dan kondisi kedalaman air tanah.

Dataran antar gunung api biasanya memiliki lereng yang rendah dan datar sehingga air cenderung mengalir perlahan atau tertahan di daerah tersebut. Ketika perencanaan drainase tidak dikelola dengan baik, maka ada potensi terjadinya genangan air. Genangan air bisa terjadi ketika sistem drainase tidak mampu menampung atau mengalirkan air hujan yang cukup banyak dalam waktu singkat.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan potensi genangan di wilayah kecamatan Mapanget antara lain:

1. **Curah Hujan Tinggi:** Wilayah dataran antar gunung api seringkali memiliki curah hujan yang tinggi, terutama selama musim hujan. Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan air menggenangi daerah datar dan rendah seperti wilayah Mapanget.
2. **Sistem Drainase Tidak Memadai:** Ketika sistem drainase tidak dirancang dengan baik atau tidak memadai, air hujan tidak dapat dialirkan dengan lancar dari permukaan tanah. Hal ini dapat menyebabkan genangan air yang berpotensi menyebabkan banjir kecil atau genangan di sekitar permukiman.
3. **Perubahan Tata Guna Lahan:** Perubahan tata guna lahan di wilayah Mapanget, seperti urbanisasi dan pembangunan infrastruktur, dapat mengubah aliran air alami dan mengurangi lahan resapan air. Akibatnya, air hujan tidak dapat diserap dengan baik oleh tanah dan cenderung menggenangi daerah datar.
4. **Ketidakteraturan Drainase:** Jika sistem drainase tidak dibangun dengan teratur dan terarah, maka air akan mudah tergenang di beberapa titik tertentu dan menyebabkan genangan.

Namun Kecamatan Paal Dua, Tikala, Sario dan Kecamatan Bunaken walau luasan wilayah yang TWInya tinggi tidak seluas kecamatan Mapanget, namun sebagian besar terletak pada dataran aluvium dan dataran banjir, wilayah kecamatan ini sering terjadi banjir yang cukup parah.

Dataran aluvium dan dataran banjir adalah jenis wilayah yang cenderung memiliki kesuburan tinggi dan ditandai dengan endapan tanah yang lebih subur karena adanya deposit sedimen dari sungai-sungai yang mengalir di wilayah tersebut. Namun, wilayah-wilayah ini juga memiliki karakteristik yang menyebabkan potensi banjir menjadi lebih tinggi, terutama ketika terjadi intensitas hujan yang tinggi.

Beberapa faktor yang menyebabkan wilayah-wilayah ini sering terkena banjir yang cukup parah adalah sebagai berikut:

1. Ketinggian Lokasi: Dataran aluvium dan dataran banjir cenderung berada pada ketinggian yang lebih rendah daripada wilayah sekitarnya. Ketinggian yang rendah membuat wilayah-wilayah ini menjadi tempat aliran air dari wilayah sekitarnya, sehingga lebih mudah tergenang saat hujan lebat.
2. Drainase Tidak Efektif: Meskipun wilayah tersebut memiliki endapan sedimen yang subur, kemampuan drainase alami seringkali tidak cukup baik. Tanah yang subur dan sering kali padat menyebabkan air sulit meresap dan mengalir, sehingga menyebabkan genangan air atau banjir.
3. Perubahan Tata Guna Lahan: Perubahan tata guna lahan di wilayah tersebut, seperti pembangunan permukiman atau infrastruktur, dapat mengurangi luas lahan resapan air dan merubah pola aliran air alami, yang menyebabkan air hujan tidak dapat diserap dengan baik oleh tanah.
4. Curah Hujan Tinggi: Wilayah dengan dataran aluvium dan dataran banjir seringkali memiliki curah hujan yang tinggi, terutama selama musim hujan. Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan air hujan tidak dapat ditampung dan mengalir dengan baik, sehingga menyebabkan banjir.

Hasil Tumpang tindih antara peta TWI Tinggi dengan Peta Kejadian Banjir

Hasil tumpang tindih antara peta TWI (Topographic Wetness Index) tinggi dengan peta kejadian banjir dapat memberikan informasi yang berguna untuk mengidentifikasi daerah rawan banjir. TWI adalah indeks topografi yang menggambarkan kelembaban tanah berdasarkan perbedaan elevasi dan kemiringan permukaan. Daerah dengan TWI tinggi cenderung memiliki potensi tinggi untuk memiliki air berlebih dan menjadi rawan banjir.

Jika tumpang tindih antara peta TWI tinggi dengan peta kejadian banjir menghasilkan banyak kesesuaian, maka daerah-daerah tersebut mungkin menunjukkan hubungan antara tingkat kelembaban tanah yang tinggi dengan tingkat kejadian banjir yang lebih sering atau lebih ekstrem. Berikut adalah beberapa kemungkinan penjelasan mengapa ini bisa terjadi:

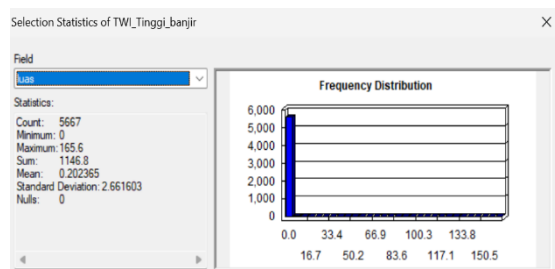
1. Tanah jenuh: Daerah dengan TWI tinggi menandakan kelembaban tanah yang lebih tinggi, yang bisa menyebabkan tanah menjadi jenuh dengan air. Ketika hujan lebat terjadi, kemungkinan besar air tidak dapat diserap oleh tanah karena tingkat kelembaban yang sudah tinggi, sehingga meningkatkan risiko banjir.
2. Drainase yang buruk: TWI tinggi dapat menunjukkan daerah dengan kontur yang lebih

datar atau dengan kemiringan rendah. Dalam kondisi ini, air hujan sulit untuk mengalir keluar dari daerah tersebut karena drainase yang buruk, sehingga meningkatkan risiko banjir.

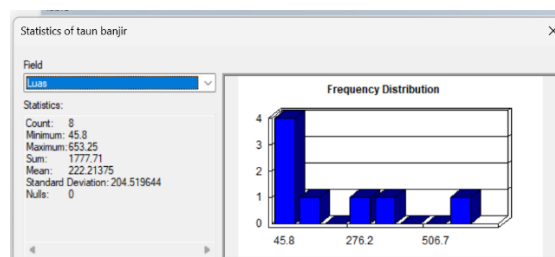
3. Hidrologi permukaan: TWI tinggi juga dapat mencerminkan kondisi hidrologi permukaan yang lebih kompleks, seperti aliran permukaan yang lebih besar atau sumber air tanah yang melimpah. Kondisi ini dapat berkontribusi pada tingkat banjir yang lebih tinggi.

Namun, penting untuk dicatat bahwa hubungan antara TWI tinggi dengan kejadian banjir tidak selalu mutlak, dan faktor lain seperti curah hujan ekstrem, penggunaan lahan, sistem drainase manusia, dan infrastruktur dapat juga mempengaruhi risiko banjir di suatu daerah. Oleh karena itu, analisis yang lebih komprehensif dan data tambahan perlu dipertimbangkan untuk mengkonfirmasi hubungan antara TWI tinggi dan daerah rawan banjir.

Setelah dilakukan overlay antara TWI Klasifikasi tinggi dengan seluruh areal yang berdampak banjir dari tahun 2011 hingga tahun 2023 ini, maka didapat luasan adalah sebesar 1146.8 Ha dari seluruh luasan TWI tinggi yang ada yaitu 1777.71 Ha. Dengan demikian maka daerah yang pernah terdampak banjir dari tahun 2011 hingga tahun 2023 tersebut sekitar 64.51 % adalah mempunyai TWI yang berkategori tinggi.



Gambar 7a. Luas TWI tinggi yang berdampak Banjir (1146,8 Ha)



Gambar 7b. Luas seluruh area yang mempunyai TWI tinggi (1777,71 Ha)

Sebaran TWI tinggi pada masing-masing Tutupan Lahan

Berdasarkan peta digital berformat shp daerah penelitian didapat bawah total luas tutupan lahan di

wilayah tersebut adalah sekitar 14361.92371 hektar (Tabel 5). Luas tutupan lahan terbesar adalah hutan mangrove dengan luas 130.64 hektar, diikuti oleh jalur hijau/median jalan dengan luas 4.36 hektar dan kebun campuran dengan luas mencapai 8496.80 hektar. Sementara itu, luas tutupan lahan yang terkecil adalah saran ibadah dan sosial budaya dengan masing-masing hanya 0.07 hektar dan 0.85 hektar.

Tabel 5. Tutupan lahan di Daerah Penelitian

No.	Tutupan Lahan	Luas (ha)
1	Area Parkir dan Lapangan	27.29
2	Bandara	105.04
3	Bank	3.67
4	Fasilitas Olahraga	2.68
5	Gudang	18.42
6	Hotel	21.54
7	Hutan Mangrove	130.64
8	Industri dan Pergudangan	81.30
9	Jalan	541.52
10	Jalur Hijau/Median Jalan	4.36
11	Kebun Campuran	8496.80
12	Mall	24.17
13	Pasar	10.08
14	Pemukaman Pahlawan	3.86
15	Pemukaman Umum	39.68
16	Perkantoran	89.58
17	Permukiman	2996.74
18	Pertokoan	109.27
19	Perumahan Teratur	694.70
20	Peternakan	1.94
21	Puskesmas	1.07
22	Rumah Sakit	23.30
23	Saran Ibadah	0.07
24	Sarana Hiburan	1.96
25	Sarana Ibadah	65.00
26	Sarana Pendidikan	127.05
27	Sarana Pendidikan	0.18
28	Sosial Budaya	0.85
29	SPBU	1.79
30	Sungai	79.65
31	Taman	4.39
32	Tanah Kosong	607.47
33	Terminal	2.48
34	TPA	4.13
35	Tubuh Air Buatan	39.25
Total		14361.9237

Sumber: hasil pengolahan Peta Tutupan Lahan Skala 1:5000

Selain itu, beberapa tutupan lahan penting lainnya adalah jalan dengan luas 541.52 hektar, permukiman dengan luas 2996.74 hektar, dan perumahan teratur dengan luas 694.70 hektar. Wilayah ini juga memiliki luas lahan yang cukup besar untuk kegiatan industri dan pergudangan (81.30 hektar), bandara (105.04 hektar), serta sarana pendidikan (127.05 hektar) yang berperan dalam mendukung kegiatan masyarakat.

Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa wilayah tersebut memiliki beragam tutupan lahan yang mencakup berbagai keperluan dan aktivitas masyarakat, mulai dari area parkir dan lapangan, fasilitas olahraga, hingga tempat pemakaman pahlawan dan umum. Kehadiran sarana ibadah juga cukup signifikan dengan total luas mencapai 65.00 hektar, menandakan adanya perhatian terhadap aspek keagamaan di wilayah tersebut.

Perlu dicatat bahwa data ini hanya mencakup luas tutupan lahan dan tidak memberikan informasi detail mengenai aspek lain seperti kepadatan populasi, tingkat penggunaan lahan, atau kondisi ekologis wilayah tersebut.

Apabila luasan tersebut ditumpangtindihkan dengan peta TWI yang berklasifikasi nilai tinggi akan didapatkan hasil sebagaimana dalam Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6, dapat dijelaskan bahwa data awal mencatat total luas tutupan lahan sebesar 14361.92 hektar, sedangkan data baru, yaitu daerah dengan nilai TWI tinggi memiliki total luas tutupan lahan sebesar 5178.57 hektar. Perbedaan total luas tutupan lahan antara kedua data ini mencapai 9183.35 hektar, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam luas tutupan lahan di wilayah tersebut. Dengan demikian sekitar 36 % wilayah yang ada tutupan lahan ini mempunyai TWI berkategori tinggi, yang kalau didasarkan pada analog bahwa dengan TWI tinggi ini kemungkinan terjadi banjir adalah besar, dan ini di wilayah penelitian nampak nyata.

Tabel 6. Tumpang Tindih Antara TWI Tinggi dengan Tutupan Lahan

NO	Tutupan Lahan dengan Kelas TWI Tinggi	Luas (Ha)
1	Area Parkir dan Lapangan	20.84
2	Bandara	83.44
3	Bank	2.44
4	Fasilitas Olahraga	1.17
5	Gudang	6.88
6	Hotel	10.71
7	Hutan Mangrove	83.09
8	Industri dan Pergudangan	33.11
9	Jalan	257.92
10	Jalur Hijau/Median Jalan	2.69
11	Kebun Campuran	2,619.82
12	Mall	17.96
13	Pasar	7.47
14	Pemukaman Pahlawan	3.56
15	Pemukaman Umum	11.02
16	Perkantoran	46.00
17	Permukiman	1,180.40
18	Pertokoan	71.15
19	Perumahan Teratur	287.74
20	Peternakan	0.59
21	Puskesmas	0.64
22	Rumah Sakit	11.74
23	Sarana Hiburan	0.96
24	Sarana Ibadah	29.89
25	Sarana Pendidikan	57.81
26	Sarana Pendidikan	0.14
27	Sosial Budaya	0.57
28	SPBU	0.82
29	Sungai	50.43
30	Taman	2.86
31	Tanah Kosong	245.17
32	Terminal	1.41
33	TPA	0.99
34	Tubuh Air Buatan	27.16
Grand Total		5178.57

Sumber: Hasil Intersksi antara TWI dan Tutupan lahan

Sebaran TWI Tinggi Pada Peta Bangunan

Dengan melakukan overlay antara Peta Bangunan, dan Peta TWI klasifikasi nilai tinggi, kemudian dilakukan

proses seleksi (select by location) sebagaimana proses yang disajikan pada Gambar 8.

Hasil analisisnya adalah :

- Total bangunan yang ada: 116.641 bangunan
- Bangunan yang terletak di wilayah TWI tinggi: 70.414 bangunan

Sehingga, persentase bangunan yang berada di wilayah dengan TWI tinggi dapat dihitung sebagai berikut: $\text{Persentase} = (\text{Jumlah bangunan di wilayah TWI tinggi} / \text{Total bangunan}) \times 100\%$ $\text{Persentase} = (70.414 / 116.641) \times 100\% \approx 60.37\%$

Artinya, sekitar 60.37% dari total 116.641 bangunan yang ada terletak di wilayah dengan TWI tinggi. Wilayah dengan TWI tinggi ini terdistribusi di 10 kecamatan di Kota Manado, kecuali Kecamatan Kepulauan Bunaken.

Penemuan ini memiliki implikasi penting dalam perencanaan tata ruang dan manajemen risiko bencana di Kota Manado. Bangunan-bangunan yang terletak di wilayah dengan TWI tinggi cenderung lebih rentan terhadap risiko banjir atau masalah drainase saat curah hujan tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan langkah-langkah untuk memitigasi risiko dan memastikan bahwa pembangunan bangunan di wilayah ini memperhatikan aspek keberlanjutan dan adaptasi terhadap perubahan lingkungan.

Namun, penting untuk dicatat bahwa analisis ini didasarkan pada data yang disajikan dalam konteks

overlay dan seleksi wilayah tertentu. Analisis lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih lengkap dan komprehensif mengenai risiko bencana dan tata ruang di wilayah tersebut. Selain itu, konsultasi dengan pihak berwenang dan ahli dalam bidang lingkungan serta tata ruang sangat penting untuk mengambil tindakan yang tepat dalam mengatasi masalah ini.

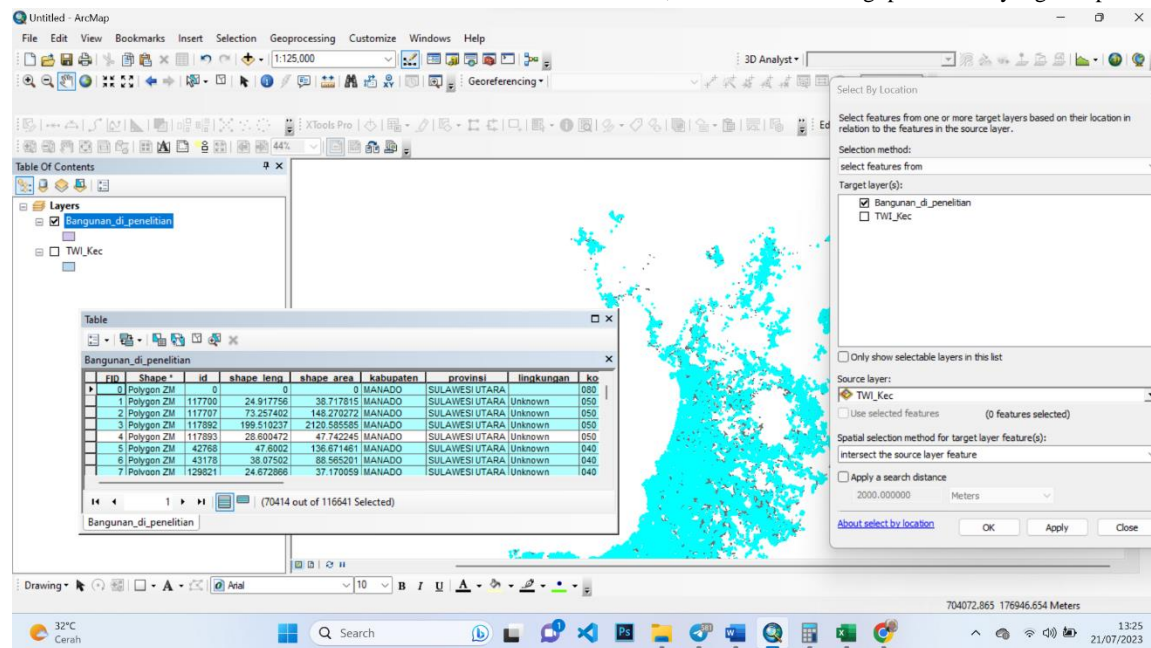
KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan berdasarkan hasil analisis adalah sebagai berikut :

Hasil kajian ini menunjukkan daerah penelitian terutama di Kecamatan Mapanget, yang merupakan dataran antar gunungapi, memiliki Topographic Wetness Index (TWI) yang tinggi dan luasannya paling besar. Ini menunjukkan bahwa daerah ini memiliki kecenderungan tinggi untuk menjadi basah berdasarkan topografi dan kedalaman air tanah. Kemungkinan genangan air dapat terjadi di wilayah ini karena lereng yang rendah dan datar. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan potensi genangan di wilayah Kecamatan Mapanget meliputi curah hujan tinggi, sistem drainase yang tidak memadai, perubahan tata guna lahan, dan ketidakteraturan drainase.

Hasil tumpang tindih antara peta TWI tinggi dengan peta kejadian banjir dapat membantu mengidentifikasi daerah rawan banjir. Daerah dengan TWI tinggi cenderung memiliki potensi tinggi untuk mengalami banjir karena tanah yang jenuh dengan air, drainase yang buruk, dan kondisi hidrologi permukaan yang kompleks.



Gambar 8. Analisis overlay dan seleksi antara Peta Bangunan dan Peta TWI berklasifikasi Tinggi

Sekitar 64.51% daerah yang pernah terdampak banjir dari tahun 2011 hingga tahun 2023 memiliki TWI tinggi, menunjukkan adanya hubungan antara tingkat kelembaban tanah yang tinggi dengan tingkat kejadian banjir yang lebih sering atau lebih ekstrem.

Wilayah penelitian memiliki beragam tutupan lahan yang mencakup berbagai keperluan dan aktivitas masyarakat, termasuk hutan mangrove, jalur hijau/median jalan, kebun campuran, dan berbagai fasilitas publik lainnya. Sekitar 36% wilayah penelitian memiliki TWI berkategori tinggi, yang menandakan kemungkinan terjadi banjir yang tinggi di daerah tersebut.

Melalui analisis overlay antara Peta Bangunan dan Peta TWI dengan klasifikasi nilai tinggi, ditemukan bahwa sekitar 60.37% dari total 116.641 bangunan di Kota Manado berada di wilayah dengan TWI tinggi. Hal ini memiliki implikasi penting dalam perencanaan tata ruang dan manajemen risiko bencana di Kota Manado. Bangunan yang berada di wilayah dengan TWI tinggi cenderung lebih rentan terhadap risiko banjir atau masalah drainase saat terjadi curah hujan tinggi.

Secara keseluruhan bahwa disimpulkan bahwa wilayah dengan dataran antar gunungapi seperti Kecamatan Mapanget dan dataran aluvium serta dataran banjir di wilayah Kecamatan Paal Dua, Tikala, Sario, dan Kecamatan Bunaken memiliki risiko tinggi untuk mengalami banjir. Perencanaan tata ruang dan pengelolaan drainase yang baik perlu dilakukan untuk mengurangi dampak banjir di wilayah-wilayah tersebut.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil penelitian ini menunjukkan adanya keterkaitan kuat antara nilai TWI yang tinggi dengan daerah yang berpotensi mengalami banjir. Nilai TWI yang tinggi menunjukkan kelembaban tanah yang tinggi dan potensi aliran air permukaan yang lebih besar saat terjadi hujan. Beberapa faktor yang menyebabkan kondisi TWI yang tinggi sering berhubungan dengan banjir, antara lain adalah topografi datar atau cekung, kemiringan lahan rendah, kapasitas infiltrasi tanah yang rendah, kondisi tanah yang jenuh air, dan penggunaan lahan yang tidak sesuai.

Saran

Perlunya analisis lebih lanjut untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang risiko bencana dan perencanaan tata ruang di wilayah tersebut.

Untuk selanjutnya diperlukan adanya konsultasi dengan otoritas dan para ahli di bidang lingkungan dan perencanaan tata ruang untuk mengambil tindakan yang tepat dalam mengatasi masalah ini. Oleh karena itu, dapat disarankan bahwa penelitian masa depan dapat melibatkan melakukan analisis yang lebih rinci dan konsultasi dengan pemangku kepentingan terkait untuk mengembangkan strategi efektif dalam mengelola risiko banjir di Kota Manado.

DAFTAR PUSTAKA

- Ballerine, Clayton., 2017. Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support. Illinois Water Supply Prairie Research Institute.
- Kim, S., & Sharma, A., 2019. The role of floodplain topography in deriving basin discharge using passive microwave remote sensing. *Water Resources Research*, 55. <https://doi.org/10.1029/2018WR023627>
- Pourali, et.al., 2014. Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. Springer Science+Business Media Dordrecht 2014
- Prawiradisastra, F., Zahro, Q dan Naryanto, H. S., 2018, Kajian Bahaya Bencana Banjir Dengan Metode Topographic Wetness Index di Kabupaten Serang. *Jurnal Alami* (e-ISSN: 2548-8635), Vol. 2, No. 1, Tahun 2018
- Riadi, B., et.al., 2017 Identification and delineation of areas flood hazard using high accuracy of DEM data. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 149 (2018)