

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana merupakan suatu peristiwa atau serangkaian peristiwa yang mengancam serta mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat sehingga dapat menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, serta dampak psikologis (Sulistya, 2022). Berdasarkan Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, bencana diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu bencana alam, bencana nonalam, dan bencana sosial. Bencana alam merupakan bencana yang disebabkan oleh proses atau fenomena alam seperti gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, dan tanah longsor. Sementara itu, bencana nonalam disebabkan oleh peristiwa nonalam seperti kegagalan teknologi, kegagalan modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit, sedangkan bencana sosial disebabkan oleh aktivitas manusia seperti konflik sosial antarkelompok maupun aksi teror.

Salah satu jenis bencana alam yang paling sering terjadi adalah bencana hidrometeorologi. Bencana hidrometeorologi merupakan bencana yang dipengaruhi oleh faktor-faktor cuaca dan iklim, seperti curah hujan, suhu udara, kelembaban, dan kecepatan angin (Saragih et al., 2021). Intensitas dan frekuensi kejadian bencana hidrometeorologi juga dipengaruhi oleh kondisi fisik wilayah, seperti topografi dataran rendah, perubahan penggunaan lahan, serta kurang optimalnya sistem drainase (Luliana, 2025). Jenis bencana yang termasuk dalam kategori hidrometeorologi antara lain banjir, tanah longsor, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, cuaca ekstrem, serta gelombang pasang dan abrasi.

Di Indonesia, bencana hidrometeorologi menjadi jenis bencana yang paling dominan dibandingkan dengan bencana lainnya, seperti bencana geologi yang meliputi gempa bumi, tsunami, dan erupsi gunung api. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa selama periode 2016-2025 telah terjadi sebanyak 40.235 kejadian bencana di Indonesia. Dari jumlah tersebut, sebanyak 39.611 kejadian termasuk dalam kategori bencana hidrometeorologi (BNPB, 2026). Data tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar bencana yang terjadi di Indonesia dalam satu dekade terakhir didominasi oleh bencana yang berkaitan dengan kondisi cuaca dan iklim.

Berdasarkan data tersebut, banjir menjadi jenis bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia. Selama periode 2016-2025 tercatat sebanyak 13.007

kejadian banjir, diikuti oleh kejadian cuaca ekstrem sebanyak 11.349 kejadian dan tanah longsor sebanyak 7.425 kejadian. Kejadian banjir tersebut terjadi secara berulang setiap tahun dengan jumlah yang berfluktuasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa banjir merupakan salah satu permasalahan kebencanaan yang paling dominan dan memerlukan perhatian dalam upaya mitigasi dan pengelolaannya.

Banjir merupakan peristiwa ketika debit air sungai meningkat hingga melampaui kapasitas tampungnya, sehingga air meluap dan menggenangi wilayah dataran di sekitarnya (Fitriansyah et al., 2024). Banjir juga dapat diartikan sebagai aliran air di permukaan yang memiliki debit jauh lebih besar dibandingkan kondisi normal sehingga kapasitas saluran drainase tidak mampu menampungnya dan pada akhirnya menimbulkan kerugian bagi manusia (Indradewa dalam Gaharu et al., 2025). Kejadian banjir dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berasal dari kondisi alam maupun aktivitas manusia. Faktor alam seperti curah hujan tinggi, kondisi topografi dataran rendah, serta keberadaan sungai yang melintasi suatu wilayah dapat meningkatkan potensi terjadinya banjir. Di sisi lain, aktivitas manusia seperti perubahan penggunaan lahan, meningkatnya kawasan terbangun, serta sistem drainase yang kurang optimal juga dapat memperbesar risiko terjadinya banjir (Arvi et al., 2025). Banjir yang terjadi kemudian dapat menimbulkan kerusakan infrastruktur, kerugian harta benda, serta gangguan terhadap aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat (Safitri et al., 2025).

Salah satu wilayah yang memiliki permasalahan banjir adalah Kota Tegal yang terletak di Provinsi Jawa Tengah. Kota Tegal berbatasan dengan Kabupaten Brebes di sebelah barat, Kabupaten Tegal di sebelah selatan dan timur, serta Laut Jawa di sebelah utara. Letak geografis tersebut menjadikan Kota Tegal sebagai wilayah perkotaan di kawasan pantai utara Pulau Jawa dengan karakteristik wilayah pesisir. Secara geografis, Kota Tegal memiliki luas wilayah sekitar 3.924,16 hektar atau sekitar 0,12 persen dari total luas wilayah Provinsi Jawa Tengah. Secara administratif, wilayah Kota Tegal terbagi menjadi empat kecamatan yang terdiri atas 27 kelurahan. Sebagian besar wilayah Kota Tegal merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata sekitar ± 3 meter di atas permukaan laut. Kondisi topografi yang relatif datar dengan kemiringan lahan yang rendah menyebabkan aliran air di wilayah ini cenderung berjalan lambat (Soebyakto, 2024). Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi genangan ketika terjadi curah hujan dengan intensitas tinggi.

Kejadian banjir di Kota Tegal dalam beberapa tahun terakhir masih terjadi secara berulang dan menimbulkan dampak bagi masyarakat. Berdasarkan data BPBD Kota Tegal, selama periode 2017-2025 tercatat 17 kejadian banjir yang tersebar di berbagai wilayah. Adapun rincian jumlah kejadian dan dampak banjir di Kota Tegal selama periode 2017-2025 disajikan pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1 Jumlah Kejadian dan Dampak Banjir di Kota Tegal Tahun 2017-2025

No.	Tahun	Jumlah Kejadian	Kelurahan Terdampak	KK Terdampak	Lamanya (Hari/Kejadian)	Kerugian (Rupiah)
1	2017	1	Krandon, Kaligangsa	954	3	286.200.000
2	2018	1	Kaligangsa, Krandon, Sumurpanggang, Kalinyamat Kulon, Pesurungan Kidul, Mintaragen, Kraton	3.522	9	3.486.780.000
3	2019	0	-	0	0	0
4	2020	0	-	0	0	0
5	2021	1	Krandon, Cabawan, Kaligangsa	4.789	4	2.298.720.000
6	2022	1	Randugunting	450	1	54.000.000
7	2023	2	Sumurpanggang, Kalinyamat Kulon, Margadana, Krandon, Kaligangsa, Pesurungan Kidul	6.623	3-5	3.832.600.000
8	2024	1	Kraton, Tegalsari, Pekauman, Kemandungan, Panggung, Slerok, Kejambon, Mintaragen	5.925	2	0
9	2025	10	Margadana, Cabawan, Kalinyamat Kulon, Pesurungan Lor, Sumurpanggang, Krandon, Kaligangsa, Tunon, Kraton, Tegal Sari, Pesurungan Kidul,	7.064	1-3	2.427.120.000

No.	Tahun	Jumlah Kejadian	Kelurahan Terdampak	KK Terdampak	Lamanya (Hari/Kejadian)	Kerugian (Rupiah)
			Pekauman, Mintaragen, Panggung			

Sumber: BPBD Kota Tegal, 2025

Berdasarkan tabel tersebut, BPBD Kota Tegal mencatat bahwa kejadian banjir di Kota Tegal terjadi pada tujuh dari sembilan tahun pengamatan, yaitu 2017, 2018, 2021, 2022, 2023, 2024, dan 2025. Selama periode tersebut terdapat 17 kejadian banjir yang berdampak terhadap 29.327 KK, dengan total kerugian mencapai Rp12.385.420.000. Jumlah kejadian tertinggi tercatat pada tahun 2025, yaitu sebanyak 10 kejadian dengan 7.064 KK terdampak, sedangkan jumlah KK terdampak terbesar terjadi pada tahun 2021 sebanyak 4.789 KK. Kerugian terbesar tercatat pada tahun 2018 sebesar Rp3.486.780.000, sedangkan beberapa wilayah seperti Kelurahan Krandon, Kaligangsa, Sumurpanggang, dan Kalinyamat Kulon tercatat mengalami banjir pada beberapa tahun selama periode pengamatan. Data tersebut menunjukkan bahwa banjir masih menjadi permasalahan yang berulang di Kota Tegal dengan jumlah kejadian dan dampak yang berbeda setiap tahunnya.

Berdasarkan data rinci kejadian bencana BPBD Kota Tegal, beberapa kejadian banjir dipicu oleh curah hujan dan luapan sungai. Salah satu kejadian tercatat pada tanggal 3 Januari 2023 ketika Kelurahan Sumurpanggang dan Kelurahan Kalinyamat Kulon mengalami genangan akibat luapan Sungai Kemiri yang dipicu oleh hujan dengan intensitas sedang dan limpahan air kiriman dari wilayah Kabupaten Tegal. Kejadian tersebut menyebabkan genangan pada sejumlah ruas jalan dan kawasan permukiman sehingga mengganggu aktivitas masyarakat. Kondisi banjir yang terjadi di Kelurahan Kalinyamat Kulon dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut.



Sumber: Irwanto, 2025

Gambar 1.1 Kondisi Banjir Akibat Luapan Sungai Kemiri

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa kondisi genangan di Kelurahan Kalinyamat Kulon telah mengganggu mobilitas masyarakatnya. Selain kejadian yang berkaitan dengan Sungai Kemiri, Soebyakto (2024) juga menyebutkan bahwa banjir pada tanggal 6 Januari 2023 di Kelurahan Kaligangsa, Krandon, dan Sumurpanggang dipengaruhi oleh meluapnya Sungai Gangsa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kejadian banjir di Kota Tegal berkaitan dengan kondisi sungai yang melintasi wilayah kota serta kemampuan sistem pengaliran dalam menampung limpasan.

Selain banjir yang berkaitan dengan limpasan permukaan dan luapan sungai, Kota Tegal juga menghadapi ancaman banjir rob akibat pasang air laut, terutama di wilayah pesisir. Banjir rob memiliki mekanisme yang berbeda dengan banjir akibat limpasan permukaan dan luapan sungai. Penelitian ini difokuskan pada banjir yang berasal dari limpasan permukaan serta kemampuan sistem pengaliran dalam mengalirkan debit. Pengaruh pasang air laut dan banjir rob tidak dianalisis secara kuantitatif dalam penelitian ini, tetapi dapat menjadi pertimbangan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

Permasalahan banjir di Kota Tegal tidak hanya berkaitan dengan kondisi curah hujan, topografi, dan sungai, tetapi juga dengan perubahan penggunaan lahan. Perkembangan kawasan perkotaan mendorong perubahan penggunaan lahan untuk memenuhi kebutuhan permukiman, perdagangan dan jasa, industri, fasilitas umum, serta kegiatan perkotaan lainnya. Perubahan lahan terbuka seperti sawah dan perkebunan menjadi kawasan terbangun dapat mengurangi kemampuan lahan dalam meresapkan air dan meningkatkan limpasan permukaan (Sari et al., 2020). Peningkatan limpasan tersebut menambah debit yang harus dialirkan oleh sistem drainase. Apabila debit yang terbentuk melebihi kapasitas pengaliran, air dapat meluap dan meningkatkan potensi terjadinya genangan (Kurniawan et al., 2023).

Perubahan penggunaan lahan tersebut perlu diperhatikan dalam perkembangan Kota Tegal karena pemanfaatan ruang terus berubah mengikuti kebutuhan kegiatan perkotaan. Perubahan dari lahan nonterbangun menjadi kawasan terbangun dapat meningkatkan koefisien limpasan karena permukaan kedap air memiliki kemampuan infiltrasi yang lebih rendah dibandingkan lahan vegetasi atau lahan terbuka (Sari et al., 2020). Perubahan karakteristik permukaan tersebut selanjutnya dapat meningkatkan debit limpasan yang harus dialirkan oleh sistem drainase (Subhy et al., 2026).

Perkembangan pemanfaatan ruang di Kota Tegal diarahkan melalui Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Tegal Tahun 2011-2031. Berdasarkan Undang-Undang (UU)

Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, tata ruang merupakan wujud dari struktur ruang dan pola ruang yang disusun untuk mengatur peruntukan serta pemanfaatan ruang dalam suatu wilayah. Pemerintah Kota Tegal menetapkan tujuan penataan ruang untuk mewujudkan Kota Tegal sebagai Kota Bahari yang didukung kegiatan perdagangan, jasa, dan industri yang aman, nyaman, produktif, dan berkelanjutan. Dalam mengarahkan pemanfaatan ruang, rencana tata ruang juga perlu mempertimbangkan kondisi fisik wilayah dan tingkat kerawanan bencana (Kultsum, 2023).

RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031 mengatur pemanfaatan ruang melalui rencana struktur ruang dan rencana pola ruang sebagai pedoman pengembangan wilayah kota. Rencana struktur ruang mengatur sistem pusat pelayanan dan jaringan prasarana wilayah, sedangkan rencana pola ruang mengatur pembagian ruang berdasarkan fungsi kawasan yang direncanakan. Arahana pola ruang mencakup berbagai fungsi ruang untuk mendukung kegiatan perkotaan sekaligus menjaga fungsi lingkungan. Selama periode berlakunya RTRW, penggunaan lahan aktual dapat mengalami perubahan mengikuti perkembangan wilayah sehingga kondisi eksisting dapat berbeda dengan arahan pola ruang yang ditetapkan (Nathanael & Taryana, 2025).

Perubahan penggunaan lahan selama periode berlakunya RTRW perlu diperhatikan karena perubahan tersebut dapat mengubah karakteristik permukaan wilayah. Kondisi penggunaan lahan eksisting dapat digunakan untuk menggambarkan perkembangan pemanfaatan ruang setelah RTRW Tahun 2011-2031 diberlakukan. Sementara itu, rencana pola ruang digunakan untuk menggambarkan kondisi peruntukan ruang yang diarahkan dalam RTRW. Perbandingan kedua kondisi tersebut dapat menunjukkan perubahan penggunaan lahan sekaligus perubahan karakteristik permukaan yang berpengaruh terhadap limpasan permukaan. Perubahan limpasan tersebut kemudian perlu dilihat bersama dengan kemampuan sistem drainase serta kondisi bahaya dan risiko banjir untuk mengetahui implikasi rencana pola ruang terhadap kondisi banjir di Kota Tegal.

Beberapa penelitian telah mengkaji kondisi pemanfaatan ruang pada wilayah yang memiliki bahaya banjir. Haris et al. (2022) menunjukkan bahwa sebagian kawasan budidaya dalam rencana pola ruang Kabupaten Kuningan berada pada wilayah dengan tingkat bahaya banjir sedang hingga tinggi. Penelitian Fitriansyah et al. (2024) menunjukkan bahwa perkembangan permukiman pada area rawan banjir di Kota Pangkalpinang perlu mendapat perhatian dalam evaluasi pemanfaatan ruang. Sementara itu, Suvana et al. (2025)

menunjukkan adanya pemanfaatan ruang yang tidak sesuai dengan kondisi bahaya banjir pada beberapa wilayah. Temuan tersebut menunjukkan bahwa arahan dan perkembangan pemanfaatan ruang perlu dilihat bersama dengan kondisi bahaya banjir.

Perubahan penggunaan lahan dari nonterbangun menjadi terbangun dapat meningkatkan koefisien limpasan dan debit limpasan permukaan (H. Pratiwi & YUSDIANA, 2022). Peningkatan debit tersebut dapat menambah beban pada sistem drainase, terutama pada jaringan yang memiliki kapasitas pengaliran terbatas (Muhammad & Nugroho, 2024), dan selanjutnya dapat memengaruhi kondisi bahaya dan risiko banjir. Perbandingan antara kondisi penggunaan lahan eksisting dan kondisi berdasarkan rencana pola ruang diperlukan untuk melihat perubahan tersebut secara spasial dan kuantitatif. Namun, kajian yang secara khusus menganalisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal masih terbatas. Oleh karena itu, perbandingan antara penggunaan lahan eksisting dan rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031 dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai implikasinya terhadap kondisi bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal.

1.2 Rumusan Masalah

Banjir masih menjadi salah satu permasalahan yang terjadi di Kota Tegal. Selama periode 2017-2025 tercatat 17 kejadian banjir dengan 29.327 KK terdampak. Pada tahun 2025, tercatat 10 kejadian banjir, yang merupakan jumlah kejadian tertinggi dalam periode tersebut. Banjir di Kota Tegal dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti curah hujan yang tinggi, perubahan penggunaan lahan, dan luapan sungai. Sementara itu, penataan ruang Kota Tegal diarahkan untuk mewujudkan Kota Tegal sebagai Kota Bahari yang didukung oleh kegiatan perdagangan, jasa, dan industri yang aman, nyaman, produktif, dan berkelanjutan. Untuk mendukung perkembangan kegiatan tersebut, RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031 mengatur pemanfaatan ruang, salah satunya melalui rencana pola ruang, termasuk pengalokasian ruang untuk kawasan terbangun. Bertambahnya kawasan terbangun dapat mengurangi kemampuan lahan dalam meresapkan air sehingga meningkatkan limpasan air hujan. Kondisi tersebut dapat menambah beban sistem drainase dan berpotensi meningkatkan bahaya dan risiko banjir. Di sisi lain, penelitian yang secara khusus mengkaji implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal masih terbatas. Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Seberapa besar implikasi rencana pola ruang Kota Tegal terhadap kondisi bahaya dan risiko banjir?

1.3 Tujuan dan Sasaran

1.3.1 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisis pengaruh rencana pola ruang dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Tegal Tahun 2011-2031 terhadap kondisi bahaya dan risiko banjir.

1.3.2 Sasaran

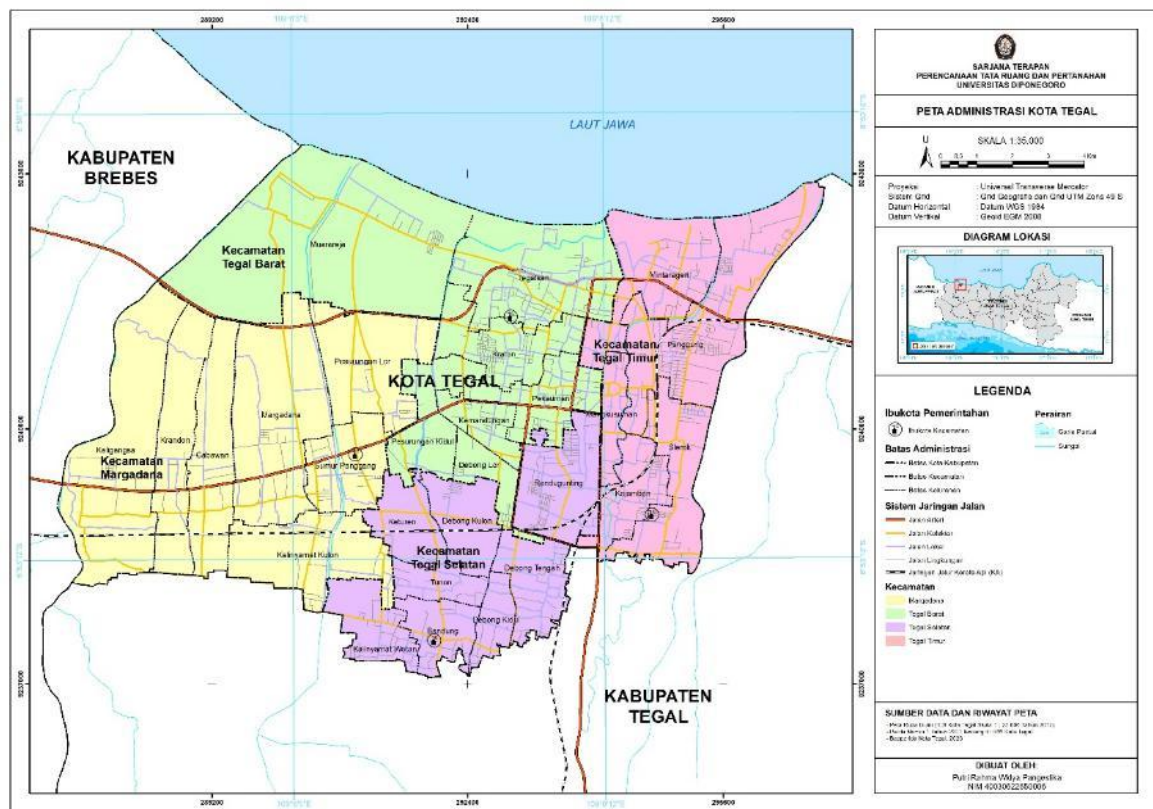
Adapun sasaran yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi penggunaan lahan kondisi eksisting dan rencana pola ruang Kota Tegal;
- 2) Menganalisis besaran debit limpasan permukaan;
- 3) Menganalisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer;
- 4) Menganalisis tingkat bahaya banjir;
- 5) Menganalisis tingkat risiko banjir; dan
- 6) Menganalisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir.

1.4 Ruang Lingkup

1.4.1 Ruang Lingkup Wilayah

Kota Tegal merupakan salah satu kota di Provinsi Jawa Tengah yang terletak di pesisir utara Pulau Jawa, dengan posisi geografis pada 109°04'28"-109°09'41" Bujur Timur dan 6°50'21"-6°54'00" Lintang Selatan. Secara administratif, Kota Tegal berbatasan dengan Kabupaten Brebes di sebelah barat, Kabupaten Tegal di sebelah timur dan selatan, serta Laut Jawa di sebelah utara. Wilayah administratif Kota Tegal digunakan sebagai batas wilayah penelitian karena objek yang dievaluasi dalam penelitian ini adalah rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Dengan demikian, analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir difokuskan pada wilayah yang berada di dalam batas administrasi Kota Tegal. Adapun batas wilayah penelitian disajikan pada Gambar 1.2 berikut.

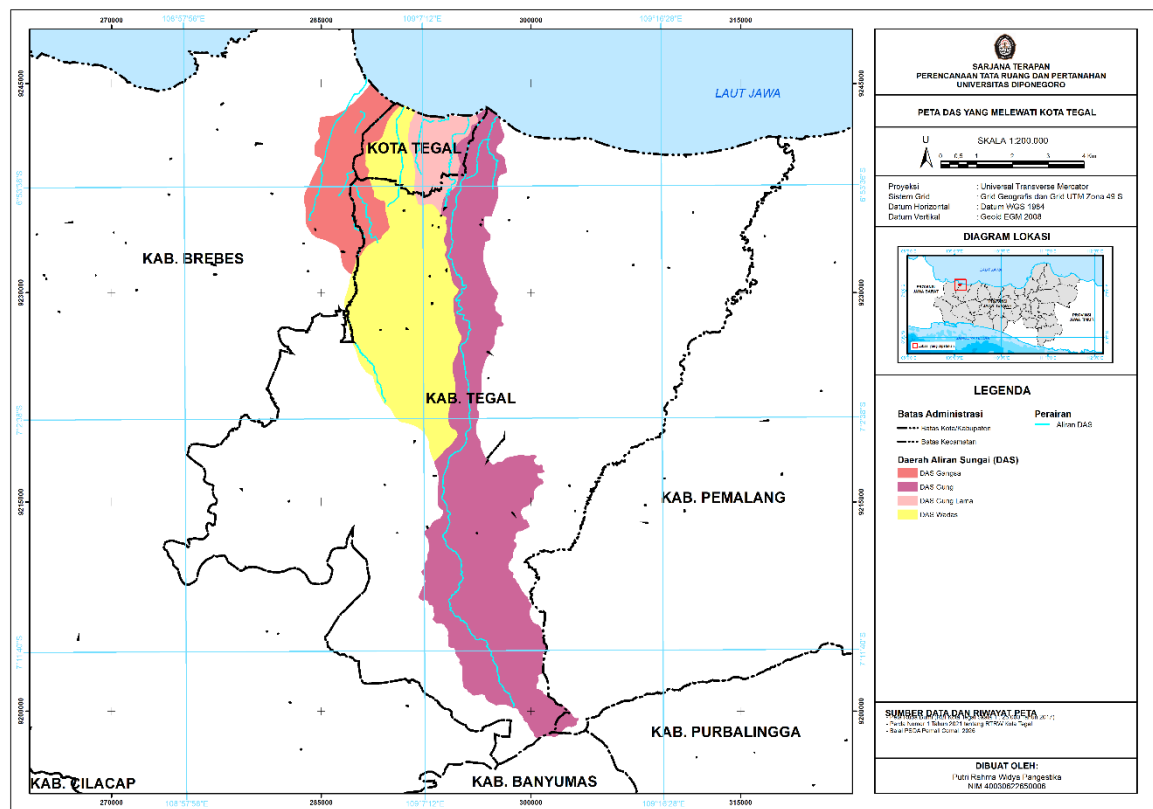


Sumber: Bapperida Kota Tegal, 2026

Gambar 1.2 Peta Administrasi Kota Tegal

Berdasarkan gambar di atas, Kota Tegal memiliki luas wilayah sekitar 3.924,16 hektar yang terbagi menjadi empat kecamatan, yaitu Kecamatan Tegal Barat, Tegal Timur, Tegal Selatan, dan Margadana, serta terdiri atas 27 kelurahan. Meskipun batas penelitian menggunakan wilayah administratif Kota Tegal, kondisi hidrologis wilayah tidak terlepas dari sistem DAS yang melintasi dan memengaruhi Kota Tegal.

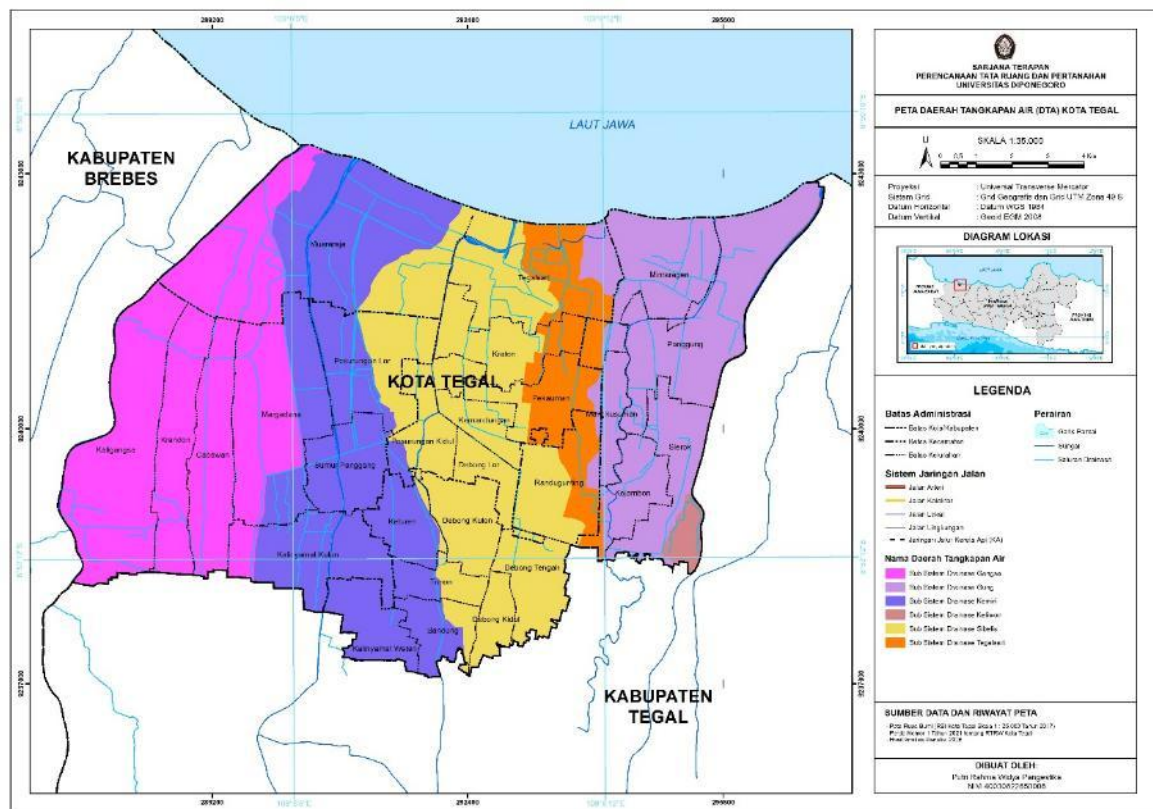
Secara hidrologis, Kota Tegal merupakan bagian dari beberapa sistem DAS yang wilayahnya melampaui batas administratif kota. Berdasarkan data Balai PSDA Pemali Comal, terdapat empat DAS yang berkaitan dengan wilayah Kota Tegal, yaitu DAS Gangsa, DAS Wadas, DAS Gung Lama, dan DAS Gung. Keberadaan DAS tersebut menunjukkan bahwa sistem pengaliran di Kota Tegal tidak hanya dipengaruhi oleh limpasan yang terbentuk di dalam wilayah administratif kota, tetapi juga oleh aliran dari wilayah hulu di luar Kota Tegal. Oleh karena itu, pendekatan DAS digunakan dalam analisis hidrologi untuk mempertimbangkan kontribusi aliran dari wilayah hulu terhadap sistem pengaliran di Kota Tegal. Adapun DAS yang memengaruhi Kota Tegal disajikan pada Gambar 1.3 berikut.



Sumber: Balai PSDA Pemali Comal, 2026

Gambar 1.3 Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) yang Memengaruhi Kota Tegal

Berdasarkan gambar di atas, empat DAS tersebut digunakan dalam analisis hidrologi untuk mempertimbangkan keterkaitan aliran dari wilayah hulu dengan debit sungai yang melintasi Kota Tegal. DAS digunakan sebagai pendekatan hidrologis untuk memperhitungkan keterkaitan aliran dari wilayah hulu, sedangkan batas spasial analisis bahaya dan risiko tetap mengikuti wilayah administrasi Kota Tegal. Dalam wilayah Kota Tegal, sistem pengaliran selanjutnya terbagi menjadi enam sub-sistem drainase, yaitu Sub-Sistem Gangsa, Kemiri, Sibelis, Tegalsari, Gung, dan Ketiwon. Keenam sub-sistem tersebut digunakan sebagai unit analisis dalam perhitungan debit limpasan serta evaluasi kapasitas dan kinerja drainase primer. Masing-masing sub-sistem memiliki wilayah pelayanan dan jaringan pengaliran utama berupa sungai atau saluran drainase yang mengalirkan debit menuju bagian hilir. Adapun pembagian sub-sistem drainase Kota Tegal disajikan pada Gambar 1.4 berikut.



Sumber: Bapperida Kota Tegal, 2026

Gambar 1.4 Peta Sub-Sistem Drainase Kota Tegal

Berdasarkan gambar di atas, pembagian sub-sistem drainase digunakan untuk merepresentasikan keterkaitan antara wilayah tangkapan dan jaringan pengaliran di Kota Tegal. Debit yang diterima masing-masing sub-sistem diperoleh dengan mempertimbangkan limpasan yang terbentuk di wilayah Kota Tegal serta aliran yang berasal dari wilayah hulu yang berkaitan dengan sistem DAS. Debit tersebut selanjutnya dibandingkan dengan kapasitas drainase primer untuk menentukan kinerja sistem drainase pada masing-masing sub-sistem. Hasil analisis kinerja drainase selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dalam analisis bahaya banjir.

1.4.2 Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi dalam penelitian ini mencakup kajian mengenai implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal. Pembahasan dilakukan melalui beberapa tahapan analisis yang saling berkaitan. Adapun ruang lingkup materi dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Identifikasi penggunaan lahan kondisi eksisting tahun 2025 dan rencana pola ruang Kota Tegal, yang digunakan untuk mengetahui kondisi pemanfaatan ruang aktual

serta arahan penggunaan lahan berdasarkan rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031.

- 2) Analisis debit limpasan, yaitu perhitungan debit limpasan permukaan (Q_r) pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang untuk mengetahui perubahan debit akibat perbedaan penggunaan lahan pada kedua kondisi.
- 3) Analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer, yaitu perhitungan kapasitas drainase primer (Q_s) serta evaluasi kemampuan sistem drainase dalam mengalirkan debit yang diterima pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.
- 4) Analisis bahaya banjir, yaitu analisis tingkat bahaya berdasarkan parameter kemiringan lereng, topografi, curah hujan, penggunaan lahan, kinerja drainase, dan jenis tanah, sehingga menghasilkan tingkat bahaya banjir pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.
- 5) Analisis risiko banjir, yaitu analisis yang dilakukan dengan mengintegrasikan tingkat bahaya banjir, kerentanan banjir yang mencakup aspek fisik, sosial, dan ekonomi, serta kapasitas dalam menghadapi banjir, sehingga menghasilkan tingkat risiko banjir pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.
- 6) Analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir, yaitu analisis yang dilakukan melalui perbandingan antara kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang untuk mengidentifikasi perubahan bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal.

1.5 Tahapan/Proses

Tahapan pelaksanaan penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan seluruh proses penelitian berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Penelitian ini terdiri atas tiga tahap utama, yaitu Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data, Tahap Pengolahan dan Analisis, serta Tahap Akhir. Adapun rincian tahapan pelaksanaan penelitian diuraikan sebagai berikut.

1) Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data

Tahap persiapan dan pengumpulan data merupakan tahap awal penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan data serta mengumpulkan seluruh data yang diperlukan dalam proses analisis. Pada tahap ini juga dilakukan penentuan jenis data, bentuk data, sumber data, serta pengecekan kelengkapan dan kesesuaian data agar dapat digunakan

pada tahapan analisis selanjutnya. Data yang digunakan dalam penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer diperoleh melalui survei lapangan pada lokasi penelitian dan digunakan terutama untuk mendukung Sasaran 3, yaitu analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer. Data yang dikumpulkan berupa karakteristik fisik sungai atau saluran drainase primer, meliputi lebar saluran, kedalaman atau tinggi penampang, serta kondisi fisik saluran pada lokasi pengamatan. Data tersebut diperlukan untuk menentukan luas penampang basah dan kapasitas pengaliran saluran sebagai dasar penilaian kemampuan sistem drainase dalam menerima debit yang masuk (Suripin, 2004). Kondisi fisik saluran juga digunakan sebagai informasi pendukung dalam memahami karakteristik sistem drainase primer pada masing-masing sub-sistem drainase.

b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari instansi terkait dan sumber data lainnya sesuai dengan kebutuhan masing-masing sasaran penelitian. Data penggunaan lahan dan rencana pola ruang digunakan pada Sasaran 1 dan Sasaran 2, sedangkan data curah hujan, daerah tangkapan, DAS, sub-sistem drainase, dan debit hulu digunakan dalam analisis debit limpasan serta kinerja drainase pada Sasaran 2 dan Sasaran 3. Data DEM, jenis tanah, penggunaan lahan, jarak sungai, curah hujan, dan kinerja drainase digunakan dalam analisis bahaya pada Sasaran 4, sedangkan data sosial, ekonomi, fisik, dan kapasitas wilayah digunakan dalam analisis risiko pada Sasaran 5. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan pada Sasaran 6 untuk menilai implikasi rencana pola ruang terhadap perubahan bahaya dan risiko banjir.

2) Tahap Pengolahan dan Analisis

Tahap pengolahan dan analisis dilakukan terhadap data yang telah diperoleh sesuai dengan kebutuhan penelitian. Tahap ini meliputi identifikasi penggunaan lahan, analisis debit limpasan, analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer, analisis bahaya banjir, analisis risiko banjir, serta analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir. Hasil dari setiap analisis selanjutnya digunakan untuk membandingkan kondisi eksisting tahun 2025 dengan kondisi rencana pola ruang Kota Tegal.

3) Tahap Akhir

Tahap akhir merupakan tahap penyusunan hasil penelitian berdasarkan seluruh analisis yang telah dilakukan. Pada tahap ini dilakukan interpretasi hasil analisis untuk menjawab tujuan penelitian, penyusunan kesimpulan, serta perumusan rekomendasi berdasarkan hasil penelitian. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk peta, tabel, dan uraian yang menggambarkan kondisi serta perubahan bahaya dan risiko banjir antara kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang Kota Tegal.

1.6 Metode dan Hasil Akhir

1.6.1 Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis deskriptif dan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengolah dan membandingkan nilai pada setiap tahapan analisis, sedangkan analisis deskriptif digunakan untuk menguraikan dan menginterpretasikan hasil yang diperoleh. Analisis spasial berbasis SIG digunakan dalam pengolahan, integrasi, dan penyajian data spasial. Teknik analisis yang digunakan meliputi analisis penggunaan lahan, analisis hidrologi dan hidrolika, analisis multikriteria, analisis risiko bencana, serta analisis komparatif antara kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Hasil dari keseluruhan analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal. Adapun pembahasan metode penelitian meliputi kebutuhan data, instrumen pengumpulan data, teknik analisis, dan hasil akhir penelitian.

1.6.2 Kebutuhan Data

Kebutuhan data dalam penelitian ini disesuaikan dengan tujuan penelitian, yaitu menganalisis implikasi rencana pola ruang Kota Tegal terhadap bahaya dan risiko banjir. Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui survei lapangan, instansi terkait, serta sumber data lainnya. Adapun kebutuhan data dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2 Kebutuhan Data

No.	Sasaran Penelitian	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Tahun	Sumber Data
1	Sasaran 1	Citra Google Earth Historical Imagery	Sekunder	Raster	2011 & 2025	Google Earth
2	Sasaran 1, 2, 4, dan 6	Penggunaan Lahan	Sekunder	Shapefile	2013 & 2024	DPUPR

No.	Sasaran Penelitian	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Tahun	Sumber Data
3	Sasaran 1, 2, 4, dan 6	Rencana Pola Ruang Kota Tegal	Sekunder	Shapefile	2026	Bapperida
4	Sasaran 2 dan 3	Panjang Sungai	Sekunder	Numerik	2026	Balai PSDA Pemali Comal
5	Sasaran 2 dan 4	DEM Nasional (DEMNAS)	Sekunder	Raster	2026	RBI
6	Sasaran 2 dan 4	Curah Hujan Harian Maksimum	Sekunder	Numerik	2006-2025	CHIRPS
7	Sasaran 2, 3, dan 4	Daerah Aliran Sungai (DAS)	Sekunder	Shapefile	2026	Balai PSDA Pemali Comal
8	Sasaran 2, 3, dan 4	Sub-Sistem Drainase	Sekunder	Shapefile	2026	DPUPR
9	Sasaran 3	Lebar Sungai	Primer	Numerik	2026	Observasi
10		Kedalaman Sungai	Primer	Numerik	2026	Observasi
11		Kondisi Fisik Sungai	Primer	Deskriptif	2026	Observasi
12		Debit Normal Sungai (Gangsa, Kemiri, Gung Lama, dan Gung)	Sekunder	Numerik	2025	Balai PSDA Pemali Comal
13	Sasaran 4	Jaringan Sungai	Sekunder	Shapefile	2026	DPUPR
14		Jenis Tanah	Sekunder	Shapefile	2026	DPUPR
15	Sasaran 5	Jumlah Penduduk Menurut Kelompok Usia	Sekunder	Numerik	2020-2025	Disdukcapil
16		Jumlah Penduduk Disabilitas	Sekunder	Numerik	2025	Disdukcapil
17		Jumlah Penduduk Menurut Tingkat Pendidikan Tertinggi yang Ditamatkan	Sekunder	Numerik	2025	Disdukcapil
18		Jumlah Penduduk dalam Kategori Miskin	Sekunder	Numerik	2025	Bapperida
19		Jumlah Penduduk Menurut Mata Pencarian	Sekunder	Numerik	2025	Disdukcapil
20		Kepadatan Bangunan	Sekunder	Shapefile	2026	OSM
21		Persebaran Rumah Sakit	Sekunder	Shapefile	2026	Geotagging
22		Persebaran Puskesmas	Sekunder	Shapefile	2026	Geotagging
23		Persebaran Sekolah	Sekunder	Shapefile	2026	Geotagging

No.	Sasaran Penelitian	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Tahun	Sumber Data
24		Persebaran Kantor Pemerintahan	Sekunder	Shapefile	2026	Geotagging
25		Indeks Ketahanan Daerah (IKD)	Sekunder	Numerik	2025	BPBD
26		Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM)	Sekunder	Numerik	2025	BPBD

Sumber: Penulis, 2026

Berdasarkan tabel di atas, data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder yang disesuaikan dengan kebutuhan pada setiap sasaran penelitian. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan berupa pengukuran lebar dan kedalaman serta pengamatan kondisi fisik sungai atau saluran. Data tersebut digunakan untuk mendukung analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari instansi terkait dan sumber data lainnya dalam bentuk data numerik, shapefile, dan raster yang digunakan pada berbagai tahapan analisis.

Data penggunaan lahan dan Citra Google Earth Historical Imagery digunakan untuk mengidentifikasi dan menyusun kondisi penggunaan lahan pada tahun analisis, sedangkan data rencana pola ruang digunakan untuk menggambarkan kondisi pemanfaatan ruang berdasarkan arahan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Tegal Tahun 2011-2031. Data penggunaan lahan dan rencana pola ruang selanjutnya digunakan dalam penentuan koefisien limpasan sebagai salah satu input perhitungan debit limpasan permukaan. Data Daerah Aliran Sungai (DAS) digunakan untuk menggambarkan karakteristik wilayah hidrologis yang memengaruhi Kota Tegal, sedangkan data sub-sistem drainase digunakan sebagai unit analisis dalam perhitungan debit limpasan dan evaluasi kinerja sistem drainase primer. Data curah hujan harian maksimum, panjang sungai, DEMNAS, debit normal sungai, serta data fisik sungai atau saluran digunakan untuk mendukung analisis hidrologi dan hidraulika pada sistem drainase primer.

Analisis bahaya banjir menggunakan sejumlah parameter yang diperoleh dari data penggunaan lahan, DEMNAS, curah hujan, jenis tanah, jaringan sungai, dan hasil analisis kinerja sistem drainase. DEMNAS digunakan untuk memperoleh informasi elevasi dan kemiringan lereng, sedangkan jaringan sungai digunakan untuk menghasilkan parameter jarak terhadap sungai. Data penggunaan lahan, curah hujan, jenis tanah, elevasi, kemiringan lereng, jarak terhadap sungai, serta kinerja sistem drainase selanjutnya diolah dan

dikombinasikan dalam analisis multikriteria untuk menghasilkan tingkat bahaya banjir pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.

Analisis risiko banjir menggunakan hasil analisis bahaya yang dikombinasikan dengan kerentanan dan kapasitas. Data jumlah penduduk menurut kelompok usia, penduduk disabilitas, tingkat pendidikan, penduduk miskin, mata pencaharian, kepadatan bangunan, serta persebaran rumah sakit, puskesmas, sekolah, dan kantor pemerintahan digunakan untuk menyusun indeks kerentanan. Sementara itu, Indeks Ketahanan Daerah (IKD) dan Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM) digunakan untuk menyusun indeks kapasitas. Hasil analisis bahaya, kerentanan, dan kapasitas kemudian digunakan untuk menghasilkan tingkat risiko banjir pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang. Perbandingan kedua kondisi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menganalisis implikasi rencana pola ruang Kota Tegal terhadap perubahan bahaya dan risiko banjir.

1.6.3 Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa teknik yang disesuaikan dengan jenis dan sumber data yang dibutuhkan. Teknik pengumpulan data meliputi telaah dokumen dan kajian literatur, observasi lapangan, serta validasi lapangan (*ground check*). Masing-masing teknik digunakan untuk memperoleh dan memastikan kesesuaian data yang diperlukan dalam mendukung proses analisis penelitian.

a. Telaah Dokumen dan Kajian Literatur

Telaah dokumen dilakukan untuk memperoleh data sekunder dari instansi terkait dan sumber data lainnya sesuai dengan kebutuhan penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi data penggunaan lahan, rencana pola ruang, DAS, sub-sistem drainase, DEMNAS, jaringan sungai, curah hujan, jenis tanah, karakteristik dan debit sungai, data kependudukan dan sosial ekonomi, data bangunan dan fasilitas, serta data kapasitas daerah dan masyarakat. Kajian literatur dilakukan melalui penelaahan buku, peraturan perundang-undangan, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan lahan, hidrologi, sistem drainase, bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko banjir. Literatur tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan konsep, parameter, klasifikasi, pembobotan, serta metode analisis yang digunakan dalam penelitian.

b. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer mengenai karakteristik fisik sungai atau saluran drainase pada lokasi pengamatan. Kegiatan observasi meliputi

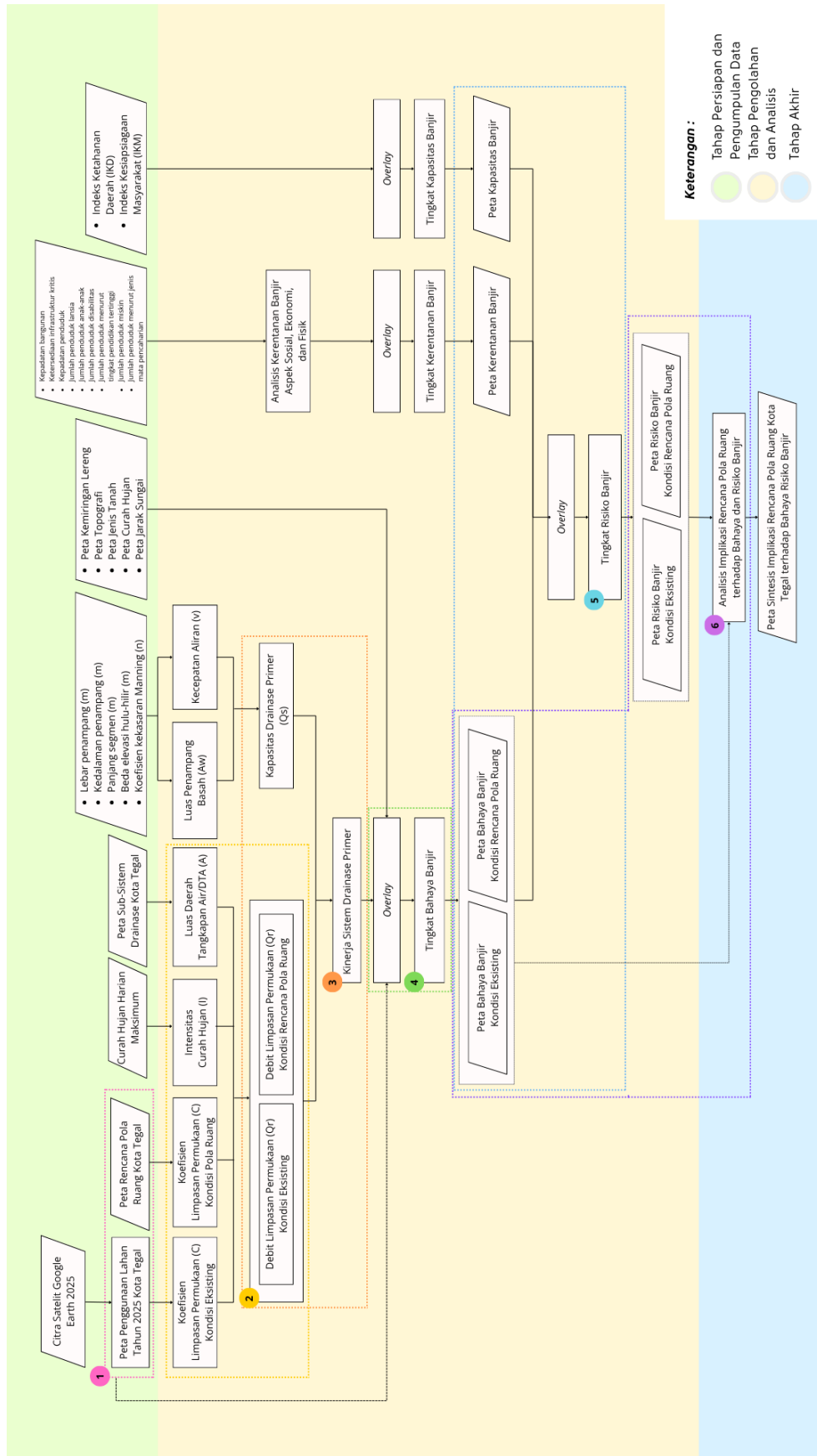
pengukuran lebar dan kedalaman penampang serta pengamatan kondisi fisik sungai atau saluran. Hasil pengukuran dan pengamatan dicatat menggunakan formulir survei lapangan dan didokumentasikan sebagai data pendukung dalam analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer.

c. Validasi Lapangan (*Ground Check*)

Validasi lapangan (*ground check*) dilakukan untuk memeriksa kesesuaian hasil interpretasi penggunaan lahan tahun 2025 dengan kondisi aktual di lapangan. Penentuan titik validasi dilakukan menggunakan teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan keterwakilan kelas penggunaan lahan dan lokasi yang memerlukan verifikasi. Pada setiap titik dilakukan pengamatan jenis penggunaan lahan, pencatatan lokasi, dan dokumentasi kondisi lapangan. Hasil validasi digunakan untuk memastikan kesesuaian data penggunaan lahan tahun 2025 yang digunakan dalam analisis.

1.6.4 Teknik Analisis

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini disusun secara sistematis sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu menganalisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal. Tahapan analisis dilakukan secara berurutan, dimulai dari analisis perubahan penggunaan lahan, analisis debit limpasan permukaan, analisis kapasitas dan kinerja layanan sistem drainase primer, analisis bahaya banjir, analisis kerentanan banjir, analisis kapasitas banjir, analisis risiko banjir, hingga analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir. Setiap tahapan menghasilkan keluaran yang menjadi dasar atau masukan bagi tahapan analisis berikutnya sehingga membentuk rangkaian analisis yang saling berkaitan. Adapun alur teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.5 berikut.



Gambar 1.5 Diagram Teknik Analisis

Sumber: Penulis, 2026

Berdasarkan diagram teknik analisis di atas, penelitian diawali dengan identifikasi penggunaan lahan kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang Kota Tegal. Kedua kondisi penggunaan lahan tersebut digunakan untuk menentukan koefisien limpasan yang selanjutnya bersama dengan intensitas curah hujan dan luas daerah tangkapan digunakan dalam perhitungan debit limpasan permukaan pada masing-masing sub-sistem drainase. Pada tahap berikutnya dilakukan perhitungan kapasitas drainase primer berdasarkan karakteristik penampang dan aliran, kemudian kapasitas tersebut dibandingkan dengan debit yang diterima untuk menentukan kinerja sistem drainase primer pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.

Analisis bahaya banjir dilakukan dengan mengintegrasikan parameter kemiringan lereng, topografi, curah hujan, penggunaan lahan, jarak sungai, kinerja sistem drainase primer, dan jenis tanah untuk memperoleh tingkat bahaya banjir pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang. Selanjutnya, analisis kerentanan banjir dilakukan berdasarkan aspek sosial, ekonomi, dan fisik, sedangkan analisis kapasitas menggunakan Indeks Ketahanan Daerah (IKD) dan Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM). Hasil analisis bahaya, kerentanan, dan kapasitas kemudian diintegrasikan untuk memperoleh tingkat risiko banjir pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.

Tahap akhir dilakukan dengan membandingkan dan melakukan *overlay* antara peta bahaya banjir kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang, serta peta risiko banjir pada kedua kondisi tersebut. Hasil perbandingan digunakan untuk mengidentifikasi perubahan kelas yang dikelompokkan menjadi kategori menurun, tetap, dan meningkat. Hasil implikasi bahaya dan risiko selanjutnya disintesiskan dengan rencana pola ruang untuk menghasilkan Peta Sintesis Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Bahaya dan Risiko Banjir sebagai luaran akhir penelitian. Adapun masing-masing teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1.6.4.1 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

Analisis perubahan penggunaan lahan dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan pemanfaatan ruang di Kota Tegal selama periode 2011-2025. Analisis menggunakan data penggunaan lahan dari DPUPR Kota Tegal sebagai data dasar yang selanjutnya disesuaikan dengan kondisi pada masing-masing tahun analisis melalui interpretasi citra *Google Earth Historical Imagery*. Penyusunan penggunaan lahan tahun 2011 dilakukan dengan menggunakan data penggunaan lahan tahun 2013 sebagai data dasar yang kemudian

disesuaikan dengan citra historis tahun 2011. Sementara itu, penggunaan lahan tahun 2025 disusun berdasarkan data penggunaan lahan tahun 2024 yang disesuaikan dengan citra tahun 2025. Penyesuaian dilakukan melalui interpretasi visual dan penyuntingan pada lokasi yang menunjukkan perbedaan antara data dasar dengan kenampakan pada citra, sehingga diperoleh peta penggunaan lahan yang merepresentasikan kondisi tahun 2011 dan tahun 2025.

Hasil interpretasi penggunaan lahan tahun 2025 selanjutnya dilakukan uji validasi melalui kegiatan *ground check* untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil interpretasi dengan kondisi aktual di lapangan. Penentuan jumlah sampel validasi penggunaan lahan dilakukan menggunakan rumus Cochran berdasarkan Fitzpatrick-Lins (1981) dalam McCoy (2005) sebagai berikut:

$$N = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2}$$

Keterangan:

N = jumlah sampel

Z = nilai standar normal pada tingkat kepercayaan 95%

p = tingkat akurasi yang diharapkan

q = 1 - p

E = tingkat kesalahan yang diizinkan

Dalam penelitian ini digunakan nilai Z sebesar 1,96 pada tingkat kepercayaan 95%, tingkat akurasi yang diharapkan sebesar 85% atau 0,85, nilai q sebesar 0,15, serta tingkat kesalahan yang diizinkan sebesar 7% atau 0,07. Berdasarkan parameter tersebut, jumlah sampel dihitung sebagai berikut:

$$N = \frac{(1,96)^2(0,85)(0,15)}{0,07^2}$$

$$N = 99,96 \approx 100 \text{ titik}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, jumlah sampel yang digunakan untuk validasi penggunaan lahan tahun 2025 sebanyak 100 titik. Setelah jumlah sampel total diperoleh, sampel didistribusikan pada masing-masing kelas penggunaan lahan menggunakan metode *proportional random sampling*. Metode tersebut digunakan agar jumlah sampel pada setiap kelas penggunaan lahan ditentukan secara proporsional berdasarkan luas masing-masing kelas terhadap luas total wilayah penelitian. Distribusi

jumlah sampel pada setiap kelas penggunaan lahan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n_i = \frac{A_i}{A_{total}} \times N$$

Keterangan:

n_i = jumlah sampel pada kelas penggunaan lahan ke-i

A_i = luas kelas penggunaan lahan ke-i (ha)

A_{total} = luas total wilayah penelitian (ha)

N = jumlah sampel keseluruhan

Titik sampel pada masing-masing kelas penggunaan lahan selanjutnya digunakan sebagai lokasi *ground check*. Pada setiap titik dilakukan pemeriksaan jenis penggunaan lahan aktual di lapangan dan dokumentasi kondisi eksisting. Hasil *ground check* kemudian dibandingkan dengan hasil interpretasi penggunaan lahan tahun 2025 dan disusun dalam bentuk *confusion matrix*. *Confusion matrix* digunakan untuk menilai kesesuaian antara hasil interpretasi dengan kondisi referensi di lapangan serta menjadi dasar dalam perhitungan tingkat akurasi penggunaan lahan dan koefisien Kappa.

Tingkat akurasi penggunaan lahan dihitung menggunakan *Overall Accuracy*, yaitu perbandingan antara jumlah sampel yang terklasifikasi dengan benar dan jumlah keseluruhan sampel validasi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$OA = \frac{\sum X_{ii}}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

OA = *Overall Accuracy* (%)

$\sum X_{ii}$ = jumlah sampel pada diagonal utama *confusion matrix*

N = jumlah seluruh sampel validasi

Selain *Overall Accuracy*, koefisien Kappa digunakan untuk mengetahui tingkat kesepakatan antara hasil interpretasi penggunaan lahan dan data referensi lapangan. Nilai Kappa yang semakin mendekati 1 menunjukkan tingkat kesesuaian yang semakin tinggi. Peta penggunaan lahan umumnya dinilai memiliki tingkat akurasi yang memadai apabila mencapai sekitar 85%.

Setelah data penggunaan lahan tahun 2011 dan tahun 2025 diperoleh, analisis perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan membandingkan kedua kondisi tersebut melalui proses *overlay*. Hasil *overlay* digunakan untuk mengidentifikasi perubahan jenis

penggunaan lahan serta perubahan luas masing-masing kelas selama periode 2011-2025. Besarnya perubahan luas dihitung berdasarkan selisih luas penggunaan lahan tahun 2025 terhadap luas penggunaan lahan tahun 2011 dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta L = L_{2025} - L_{2011}$$

Keterangan:

ΔL = perubahan luas penggunaan lahan (ha)

L_{2025} = luas penggunaan lahan tahun 2025 (ha)

L_{2011} = luas penggunaan lahan tahun 2011 (ha)

Hasil analisis perubahan penggunaan lahan digunakan untuk menggambarkan dinamika pemanfaatan ruang Kota Tegal selama periode 2011-2025 serta sebagai informasi pendukung dalam menjelaskan perubahan karakteristik permukaan lahan yang berkaitan dengan limpasan permukaan.

Selain analisis perubahan penggunaan lahan, dilakukan analisis kesesuaian penggunaan lahan tahun 2025 terhadap rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Analisis dilakukan melalui proses *overlay* antara penggunaan lahan tahun 2025 dan rencana pola ruang untuk mengidentifikasi hubungan antara kondisi pemanfaatan ruang aktual dengan arahan peruntukan ruang. Klasifikasi tingkat kesesuaian mengacu pada Wulandari et al. (2024), yang membedakan hasil analisis menjadi tiga kategori, yaitu sesuai, belum sesuai, dan tidak sesuai. Kategori sesuai menunjukkan penggunaan lahan yang telah sesuai dengan fungsi ruang yang direncanakan, kategori belum sesuai menunjukkan penggunaan lahan yang masih dapat disesuaikan dengan arahan pola ruang berdasarkan ketentuan yang berlaku, sedangkan kategori tidak sesuai menunjukkan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi ruang yang diarahkan dalam rencana pola ruang. Penentuan kategori pada setiap kombinasi penggunaan lahan dan rencana pola ruang dilakukan melalui matriks kesesuaian yang disusun dengan mempertimbangkan fungsi dan karakteristik masing-masing penggunaan lahan serta arahan peruntukan ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Hasil analisis kemudian dihitung berdasarkan luas dan persentase masing-masing kategori untuk menggambarkan tingkat kesesuaian pemanfaatan ruang di Kota Tegal.

1.6.4.2 Analisis Debit Limpasan Permukaan

Analisis debit limpasan permukaan dilakukan untuk mengetahui besarnya aliran permukaan yang terbentuk pada masing-masing sub-sistem drainase di Kota Tegal.

Perhitungan dilakukan pada tiga kondisi, yaitu penggunaan lahan tahun 2011, kondisi eksisting tahun 2025, dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional dengan mempertimbangkan koefisien limpasan komposit (C), intensitas hujan (I), dan luas daerah tangkapan air (A). Sub-sistem drainase digunakan sebagai unit analisis karena masing-masing sub-sistem merepresentasikan wilayah pelayanan pengaliran yang memiliki karakteristik penggunaan lahan dan daerah tangkapan yang berbeda. Adapun persamaan Metode Rasional yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q_r = 0,00278 \times C \times I \times A$$

Keterangan :

Q_r = debit limpasan (m³/detik)

C = koefisien limpasan

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah tangkapan air (ha)

Hasil perhitungan debit limpasan pada ketiga kondisi digunakan untuk mengetahui perkembangan besarnya limpasan dari kondisi awal tahun 2011 hingga kondisi eksisting tahun 2025 serta perubahan debit limpasan apabila penggunaan lahan mengikuti rencana pola ruang. Adapun komponen yang digunakan dalam perhitungan debit limpasan dijelaskan sebagai berikut.

a. Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan digunakan untuk menggambarkan proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan. Nilai koefisien limpasan berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan bahwa sebagian besar air hujan dapat meresap ke dalam tanah, sedangkan nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa sebagian besar air hujan menjadi limpasan permukaan. Besarnya nilai koefisien limpasan dipengaruhi oleh karakteristik permukaan lahan. Permukaan yang bersifat kedap air, seperti kawasan terbangun dan perkerasan, cenderung memiliki nilai koefisien limpasan yang lebih tinggi karena kemampuan infiltrasi yang lebih rendah. Sebaliknya, lahan bervegetasi dan permukaan yang lebih permeabel cenderung memiliki nilai koefisien limpasan yang lebih rendah (Suripin, 2004).

Nilai koefisien limpasan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan karakteristik penggunaan lahan pada tiga kondisi, yaitu penggunaan lahan tahun 2011, penggunaan lahan

eksisting tahun 2025, dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Nilai koefisien limpasan masing-masing jenis penggunaan lahan ditentukan dengan mengacu pada klasifikasi koefisien limpasan McGuen (1989) dalam Suripin (2004), kemudian disesuaikan dengan karakteristik kelas penggunaan lahan yang digunakan dalam penelitian. Perbandingan nilai koefisien limpasan pada ketiga kondisi tersebut digunakan untuk menunjukkan perubahan karakteristik permukaan lahan yang dapat memengaruhi besarnya limpasan permukaan.

Setiap sub-sistem drainase memiliki lebih dari satu jenis penggunaan lahan dengan proporsi luas yang berbeda. Oleh karena itu, nilai koefisien limpasan yang digunakan dalam perhitungan debit limpasan merupakan koefisien limpasan komposit, yaitu nilai koefisien tunggal yang mewakili kondisi penggunaan lahan pada keseluruhan daerah tangkapan air dalam masing-masing sub-sistem drainase. Koefisien limpasan komposit dihitung menggunakan rata-rata tertimbang berdasarkan luas masing-masing kelas penggunaan lahan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_{total}}$$

Keterangan:

C = koefisien limpasan wilayah

C₁, C₂, ..., C_n = koefisien limpasan tiap jenis penggunaan lahan

A₁, A₂, ..., A_n = luas tiap jenis penggunaan lahan (ha)

Perhitungan dilakukan dengan mengalikan nilai koefisien limpasan masing-masing kelas penggunaan lahan dengan luasnya, kemudian menjumlahkan seluruh hasil perkalian dan membaginya dengan luas total daerah tangkapan air. Perhitungan koefisien limpasan komposit dilakukan secara terpisah pada setiap sub-sistem drainase untuk kondisi tahun 2011, kondisi eksisting tahun 2025, dan kondisi rencana pola ruang. Nilai koefisien limpasan komposit yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai salah satu komponen dalam perhitungan debit limpasan permukaan menggunakan Metode Rasional. Adapun nilai koefisien limpasan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.3 berikut.

Tabel 1.3 Koefisien Limpasan (C)

No	Deskripsi Lahan / Karakter Permukaan	Koefisien C
1.	Bisnis	
	– perkotaan	0,70-0,95
	– pinggiran	0,50-0,70

No	Deskripsi Lahan / Karakter Permukaan	Koefisien C
2.	Perumahan	
	– rumah tunggal	0,30-0,50
	– multiunit terpisah, terpisah	0,40-0,60
	– multiunit, tergabung	0,60-0,75
	– perkampungan	0,25-0,40
	– apartemen	0,50-0,70
3	Industri	
	– ringan	0,50-0,80
	– berat	0,60-0,90
4	Perkerasan	
	– aspal dan beton	0,70-0,95
	– batu bata, paving	0,50-0,70
5	Atap	0,75-0,95
6	Halaman, tanah berpasir	
	– datar 2%	0,05-0,10
	– rata-rata 2-7%	0,10-0,15
	– curam 7%	0,15-0,20
7	Halaman tanah berat	
	– datar 2%	0,13-0,17
	– rata-rata 2-7%	0,18-0,22
	– curam 7%	0,25-0,35
8	Halaman kereta api	0,10-0,35
9	Taman tempat bermain	0,20-0,35
10	Taman, pekuburan	0,10-0,25
11	Hutan	
	– datar, 0-5%	0,10-0,40
	– bergelombang, 5-10%	0,25-0,50
	– berbukit 10-30%	0,30-0,60

Sumber: McGuen (1989) dalam Suripin (2004)

b. Analisis Curah Hujan dan Intensitas Hujan

Analisis curah hujan dilakukan untuk memperoleh nilai intensitas hujan yang digunakan dalam perhitungan debit limpasan permukaan. Data yang digunakan berupa curah hujan harian maksimum dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) selama periode 2006-2025. Data tersebut digunakan untuk menyusun deret curah hujan maksimum tahunan yang selanjutnya dianalisis secara statistik dan frekuensi untuk memperoleh curah hujan rencana pada periode ulang tertentu. Curah hujan rencana kemudian dikonversi menjadi intensitas hujan dengan mempertimbangkan waktu konsentrasi pada masing-masing sub-sistem drainase. Tahapan analisis curah hujan dan

intensitas hujan dalam penelitian ini meliputi identifikasi curah hujan maksimum tahunan, analisis parameter statistik, pemilihan distribusi probabilitas, perhitungan curah hujan rencana, perhitungan waktu konsentrasi, dan perhitungan intensitas hujan.

1) Identifikasi Curah Hujan Maksimum Tahunan

Tahap awal dilakukan dengan menentukan nilai curah hujan harian maksimum pada setiap tahun selama periode 2006-2025. Data curah hujan CHIRPS diekstraksi berdasarkan wilayah penelitian untuk memperoleh data curah hujan yang merepresentasikan kondisi Kota Tegal. Nilai curah hujan harian tertinggi pada setiap tahun kemudian disusun menjadi deret curah hujan maksimum tahunan selama 20 tahun. Deret data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis statistik dan analisis frekuensi untuk memperoleh curah hujan rencana.

2) Analisis Parameter Statistik

Analisis parameter statistik dilakukan untuk mengetahui karakteristik distribusi data curah hujan maksimum tahunan. Parameter statistik yang digunakan meliputi rata-rata, standar deviasi, koefisien variasi, koefisien *skewness*, dan koefisien kurtosis. Nilai rata-rata digunakan untuk menunjukkan nilai tengah data curah hujan, standar deviasi dan koefisien variasi digunakan untuk menggambarkan tingkat penyebaran data, sedangkan koefisien *skewness* dan kurtosis digunakan untuk mengetahui bentuk distribusi data. Parameter statistik tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan jenis distribusi probabilitas yang sesuai untuk analisis curah hujan rencana. Adapun rumus parameter statistik tersebut diuraikan dalam Tabel 1.4 berikut.

Tabel 1.4 Parameter Statistik

Parameter	Rumus
Rata-rata ($\bar{X}$)	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$
Standar Deviasi (S)	$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$
Koefisien Variasi (CV)	$CV = \frac{S}{\bar{X}}$
Koefisien Skewness (C_s)	$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$

Parameter	Rumus
Koefisien Kurtosis (C_k)	$C_k = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4}$

Sumber: Singh, 1992

3) Analisis Distribusi Probabilitas

Analisis distribusi probabilitas dilakukan untuk menentukan distribusi yang sesuai dengan karakteristik data curah hujan maksimum tahunan. Distribusi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Distribusi Normal, Log Normal, dan Log-Pearson Tipe III. Pemilihan distribusi dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik statistik data, khususnya nilai koefisien variasi, koefisien skewness, dan koefisien kurtosis. Distribusi yang memenuhi karakteristik data selanjutnya digunakan untuk menghitung curah hujan rencana pada periode ulang yang digunakan dalam penelitian. Adapun distribusi yang digunakan dalam analisis curah hujan ini meliputi Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, dan Distribusi Log-Pearson III yang dijelaskan sebagai berikut.

a) Distribusi Normal

Distribusi Normal adalah salah satu distribusi probabilitas yang paling sederhana dan banyak digunakan dalam analisis hidrologi, termasuk untuk curah hujan tahunan. Distribusi ini bersifat simetris dengan puncak di sekitar rata-rata ($\bar{X}$), dan memiliki sebaran berbentuk lonceng (*bell-shaped curve*). Distribusi Normal cocok digunakan apabila data curah hujan cenderung simetris atau memiliki *skewness* (kemencengan) mendekati nol.

Menurut Suripin (2004), fungsi distribusi normal untuk menentukan nilai curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T S$$

Keterangan :

X_T = curah hujan rencana untuk periode ulang T (mm)

$\bar{X}$ = rata-rata curah hujan maksimum tahunan (mm)

S = standar deviasi curah hujan maksimum tahunan (mm)

K_T = faktor distribusi (*frequency factor*) untuk periode ulang T, yang ditentukan berdasarkan distribusi normal standar

Nilai faktor distribusi K_T umumnya telah tersedia dalam bentuk tabel untuk mempermudah perhitungan. Tabel tersebut dikenal sebagai tabel variabel reduksi *Gauss* dan secara luas digunakan sebagai acuan dalam menentukan curah hujan rencana sesuai periode

ulang yang diinginkan. Dengan adanya tabel ini, perhitungan K_T dapat dilakukan dengan lebih efisien tanpa perlu menghitungnya secara manual. Adapun nilai variabel reduksi *Gauss* disajikan dalam Tabel 1.5 berikut.

Tabel 1.5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang T (tahun)	Peluang (P)	K_T
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,01	0,99	-2,33
4	1,05	0,95	-1,64
5	1,11	0,90	-1,28
6	1,25	0,80	-0,84
7	1,33	0,75	-0,67
8	1,43	0,70	-0,52
9	1,67	0,60	-0,25
10	2,00	0,50	0,00
11	2,50	0,40	0,25
12	3,33	0,30	0,52
13	4,00	0,25	0,67
14	5,00	0,20	0,84
15	10	0,10	1,28
16	20	0,05	1,64
17	50	0,02	2,05
18	100	0,01	2,33
19	200	0,005	2,58
20	500	0,002	2,88
21	1000	0,001	3,09

Sumber: Bonnier, 1980

b) Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan distribusi probabilitas yang umum digunakan untuk menganalisis data curah hujan yang memiliki kemencengan positif (*skewness* > 0), sehingga data tidak simetris. Distribusi ini didasarkan pada prinsip bahwa logaritma dari nilai curah hujan mengikuti Distribusi Normal.

Menurut Suripin (2004), curah hujan rencana untuk periode ulang tertentu (Y_T) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \text{ dengan } Y = \ln(X)$$

Keterangan :

Y_T = curah hujan rencana untuk periode ulang T (mm)

$Y = \ln(X)$ = nilai logaritma natural dari curah hujan maksimum tahunan

$\bar{Y}$ = rata-rata logaritma curah hujan maksimum tahunan (mm)

S = standar deviasi curah hujan maksimum tahunan (mm)

K_T = faktor distribusi (*frequency factor*) untuk periode ulang T, yang ditentukan berdasarkan distribusi normal standar

Faktor distribusi K_T untuk distribusi Log Normal sama seperti distribusi Normal, karena perhitungan dilakukan pada skala logaritma. Nilai K_T biasanya diperoleh dari tabel variabel reduksi Gauss yang telah disediakan untuk berbagai periode ulang.

c) Distribusi Log-Pearson Tipe III

Distribusi Log-Pearson Tipe III merupakan salah satu distribusi yang paling banyak digunakan dalam analisis hidrologi untuk curah hujan tahunan atau debit banjir, terutama di Amerika Serikat dan juga banyak diterapkan di Indonesia. Distribusi ini cocok untuk data yang memiliki kemencengan positif (*skewness* > 0) dan mampu menggambarkan curah hujan ekstrem dengan lebih akurat dibanding distribusi Normal maupun Log Normal. Terdapat tiga parameter penting distribusi yaitu rata-rata ($\bar{X}$), simpangan baku (S), dan koefisien *skewness* (C_s). Apabila koefisien *skewness* $C_s = 0$, distribusi Log-Pearson III kembali menjadi distribusi Log Normal, sehingga Log-Pearson III dapat dianggap generalisasi dari Log Normal.

Langkah - Langkah yang dilakukan untuk menggunakan distribusi Log-Pearson III adalah sebagai berikut.

- Data curah hujan maksimum tahunan diubah ke bentuk logaritma natural:

$$Y = \log X$$

dimana X adalah nilai curah hujan tahunan (mm) dan Y adalah data dalam skala logaritma.

- Hitung Rata-rata Logaritma ($\bar{Y}$)

$$\log \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i$$

dimana n = jumlah tahun pengamatan, dan Y_i = logaritma dari curah hujan maksimum tahunan ke- i .

- Hitung Standar Deviasi Logaritma (S)

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1} \right]^{0,5}$$

- Hitung Koefisien *Skewness* (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

- Hitung Logaritma Curah Hujan Rencana ($\log X_T$)

$$\log X_T = \log \bar{X} + K \cdot S$$

dimana K merupakan variabel standar untuk X , yang besarnya bergantung pada koefisien *skewness* (C_s) dari data. Adapun nilai K untuk berbagai nilai koefisien *skewness* dan periode ulang, yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan curah hujan rencana disajikan dalam Tabel 1.6 berikut:

Tabel 1.6 Nilai K pada distribusi Log-Pearson III

Interval Kejadian, Tahun (Periode Ulang)								
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
Koef. C_s	Persentase Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	-0,096	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,831	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,328	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318

Interval Kejadian, Tahun (Periode Ulang)								
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
Koef. Cs	Persentase Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
-1.6	-2,388	-0,075	0,254	0.817	0.994	1.116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0.945	1.035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0.905
-2,4	-3.800	-0.537	0,351	0.725	0.795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3.009	-0.490	0.168	0.696	0,747	0,764	0,708	0.769
-2.8	-3.973	-0.469	0,384	0,666	0,702	0,712	0.714	0.714
-3.0	-7.051	-0,420	0.396	0.636	0,660	0.666	0.666	0.667

Sumber: Suripin, 2004

- Hitung hujan atau banjir periode ulang T dengan menghitung $\log X_T$.

Identifikasi distribusi probabilitas dilakukan dengan melihat kesesuaian karakteristik data curah hujan maksimum tahunan terhadap beberapa distribusi probabilitas. Kesesuaian tersebut ditinjau berdasarkan nilai koefisien variasi (Cv), koefisien skewness (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck) serta karakteristik teoritis masing-masing distribusi. Distribusi dengan karakteristik yang paling sesuai dengan data dipilih untuk analisis curah hujan rencana.

4) Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana merupakan besarnya curah hujan yang diperkirakan terjadi pada periode ulang tertentu berdasarkan distribusi probabilitas yang sesuai dengan karakteristik data curah hujan maksimum tahunan. Dalam penelitian ini digunakan periode ulang 10 tahun sebagai dasar dalam penentuan curah hujan rencana yang selanjutnya digunakan untuk menghitung intensitas hujan dan debit limpasan permukaan. Pemilihan periode ulang 10 tahun mengacu pada Saragi et al. (2023), yang menggunakan curah hujan rencana periode ulang 10 tahun dalam perhitungan debit banjir rencana dengan Metode Rasional untuk mengevaluasi kemampuan saluran drainase dalam mengalirkan debit yang diterima. Nilai curah hujan rencana periode ulang 10 tahun yang diperoleh dari distribusi probabilitas terpilih selanjutnya digunakan sebagai curah hujan rencana 24 jam (R_{24}) dalam perhitungan intensitas hujan.

5) Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (t_c) merupakan waktu yang dibutuhkan aliran dari titik terjauh pada daerah tangkapan air hingga mencapai titik yang ditinjau atau outlet. Dalam penelitian

ini, waktu konsentrasi dihitung pada masing-masing sub-sistem drainase karena setiap sub-sistem memiliki panjang lintasan aliran dan kemiringan rata-rata yang berbeda. Perhitungan waktu konsentrasi menggunakan persamaan Kirpich mengacu pada Nurhadi et al. (2023), dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385}$$

Keterangan :

Tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang lintasan aliran dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau (km)

S = kemiringan rata-rata daerah tangkapan aliran (m/m)

Nilai kemiringan rata-rata diperoleh dari perbandingan antara beda topografi bagian hulu dan hilir dengan panjang lintasan aliran pada masing-masing sub-sistem drainase. Nilai waktu konsentrasi yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai durasi hujan dalam perhitungan intensitas hujan menggunakan Persamaan Mononobe. Perbedaan panjang lintasan dan kemiringan pada setiap sub-sistem menyebabkan nilai waktu konsentrasi yang berbeda, sehingga intensitas hujan yang digunakan dalam perhitungan debit limpasan juga dapat berbeda antar-sub-sistem.

6) Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan besarnya curah hujan yang terjadi dalam satuan waktu tertentu dan digunakan sebagai salah satu parameter dalam perhitungan debit limpasan permukaan. Dalam penelitian ini, intensitas hujan dihitung menggunakan Persamaan Mononobe karena data hujan dengan durasi pendek tidak tersedia (D. W. Pratiwi & Satria Negara, 2023). Persamaan Mononobe digunakan untuk mengonversi curah hujan rencana 24 jam menjadi intensitas hujan berdasarkan durasi hujan yang disesuaikan dengan waktu konsentrasi masing-masing sub-sistem drainase. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Keterangan :

I = intensitas hujan (mm/jam)

R24 = curah hujan rencana selama 24 jam (mm)

tc = durasi hujan (jam)

Nilai waktu konsentrasi yang telah diperoleh pada masing-masing sub-sistem drainase digunakan sebagai durasi hujan dalam perhitungan intensitas. Dengan demikian, perbedaan karakteristik panjang lintasan aliran dan kemiringan pada setiap sub-sistem menyebabkan nilai waktu konsentrasi yang berbeda dan dapat menghasilkan intensitas hujan yang berbeda pula. Nilai intensitas hujan yang diperoleh selanjutnya digunakan bersama dengan koefisien limpasan dan luas daerah tangkapan air dalam perhitungan debit limpasan permukaan menggunakan Metode Rasional.

Nilai koefisien limpasan komposit, intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan air yang telah diperoleh selanjutnya digunakan dalam perhitungan debit limpasan permukaan menggunakan Metode Rasional pada masing-masing sub-sistem drainase. Perhitungan dilakukan untuk kondisi penggunaan lahan tahun 2011, kondisi eksisting tahun 2025, dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Pada ketiga kondisi tersebut, luas daerah tangkapan air dan intensitas hujan digunakan secara konsisten, sedangkan nilai koefisien limpasan disesuaikan dengan karakteristik penggunaan lahan pada masing-masing kondisi.

1.6.4.3 Analisis Kapasitas dan Kinerja Sistem Drainase Primer

Analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer dilakukan untuk mengetahui kemampuan sungai atau saluran utama pada masing-masing sub-sistem drainase dalam mengalirkan debit yang diterima. Analisis dilakukan melalui dua tahapan, yaitu perhitungan kapasitas drainase primer dan evaluasi kinerja sistem drainase primer. Kapasitas drainase dihitung berdasarkan karakteristik geometrik penampang, kemiringan saluran, dan koefisien kekasaran aliran, sedangkan kinerja drainase ditentukan melalui perbandingan antara kapasitas pengaliran dengan debit yang diterima pada kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang. Hasil analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi sub-sistem drainase yang masih mampu maupun yang tidak mampu mengalirkan debit, serta menjadi salah satu masukan dalam analisis bahaya banjir.

a) Analisis Kapasitas Drainase Primer

Analisis kapasitas drainase primer dilakukan untuk mengetahui kemampuan maksimum sungai atau saluran utama pada masing-masing sub-sistem drainase dalam mengalirkan debit. Perhitungan kapasitas dilakukan berdasarkan karakteristik geometrik penampang, kemiringan saluran, dan koefisien kekasaran Manning dengan menggunakan pendekatan Persamaan Manning (Winardo & Indrastuti, 2023). Data yang digunakan

meliputi lebar dan kedalaman penampang untuk menentukan luas penampang basah dan keliling basah, panjang segmen serta beda topografi hulu-hilir untuk menentukan kemiringan saluran, serta koefisien kekasaran Manning yang disesuaikan dengan karakteristik fisik sungai atau saluran pada lokasi pengamatan. Adapun kapasitas drainase primer diperoleh berdasarkan hubungan antara luas penampang basah dan kecepatan aliran, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_s = A_w \times V$$

Keterangan :

Q_s = debit aliran (m³/detik)

A_w = luas penampang basah (m²)

V = kecepatan aliran (m/detik)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan pengaliran dipengaruhi oleh luas penampang yang dialiri air dan kecepatan aliran. Luas penampang basah dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan hasil pengukuran lebar dan kedalaman pada lokasi pengamatan. Penampang sungai atau saluran diasumsikan berbentuk persegi panjang sehingga luas penampang basah dihitung dengan persamaan:

$$A_w = B \times h$$

Keterangan :

A_w = luas penampang basah (m²)

B = lebar sungai (m)

h = kedalaman aliran (m)

Selanjutnya, keliling basah dihitung berdasarkan bagian penampang yang bersentuhan langsung dengan aliran. Untuk penampang berbentuk persegi panjang, keliling basah dihitung menggunakan persamaan:

$$P = B + 2h$$

Keterangan:

P = keliling basah (m)

B = lebar penampang (m)

h = kedalaman aliran (m)

Luas penampang basah dan keliling basah selanjutnya digunakan untuk menentukan jari-jari hidrolis, yaitu perbandingan antara luas penampang basah dengan keliling basah. Jari-jari hidrolis dihitung menggunakan persamaan:

$$R = \frac{A_w}{P}$$

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

A_w = luas penampang basah (m²)

P = keliling basah (m)

Kemiringan dasar sungai atau saluran dihitung berdasarkan perbandingan antara beda topografi bagian hulu dan hilir dengan panjang segmen pengaliran. Persamaan yang digunakan adalah:

$$S = \frac{\Delta h}{L}$$

Keterangan :

S = kemiringan dasar sungai

Δh = perbedaan topografi

L = panjang segmen sungai

Nilai jari-jari hidrolis, kemiringan dasar, dan koefisien kekasaran Manning selanjutnya digunakan untuk menghitung kecepatan aliran. Kecepatan aliran dihitung menggunakan persamaan Manning yang mempertimbangkan karakteristik fisik penampang, kemiringan, dan tingkat kekasaran jaringan pengaliran. Adapun persamaan Manning yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan :

V = kecepatan aliran (m/detik)

n = koefisien kekasaran Manning

R = jari-jari hidrolik (m)

S = kemiringan dasar sungai (m/m)

Koefisien kekasaran Manning (n) menggambarkan tingkat hambatan terhadap aliran yang dipengaruhi oleh kondisi fisik sungai atau saluran. Penentuan nilai (n) dilakukan dengan mempertimbangkan material dasar dan dinding saluran, kondisi permukaan, keberadaan vegetasi, serta kondisi alur berdasarkan hasil observasi lapangan. Nilai koefisien kekasaran Manning dalam penelitian ini mengacu pada (Suripin, 2004). Adapun nilai

koefisien kekasaran Manning yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.7 berikut.

Tabel 1.7 Nilai Koefisien n Manning

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
	– Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,01	0,011	0,013
	– Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	– Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	– Saluran pembuang dengan baik kontrol	0,013	0,015	0,017
2.	Tanah, lurus dan seragam			
	– Bersih baru	0,016	0,018	0,03
	– Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	– Berkerikil	0,022	0,025	0,03
	– Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3.	Saluran alam			
	– Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	– Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	– Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,080
	– Dataran banjir berumput pendek - tinggi	0,025	0,030	0,035
	– Saluran di belukar	0,035	0,050	0,070

Sumber: (Suripin, 2004)

Setelah seluruh parameter diperoleh, kecepatan aliran dihitung menggunakan persamaan Manning. Nilai kecepatan tersebut kemudian digunakan bersama luas penampang basah untuk menghitung kapasitas drainase primer. Perhitungan kapasitas juga dapat dilakukan secara langsung menggunakan bentuk gabungan persamaan Manning sebagai berikut:

$$Q_s = \frac{1}{n} \times A_w \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

Q_s = kapasitas drainase primer (m³/detik)

n = koefisien kekasaran Manning

- A_w = luas penampang basah (m^2)
 R = jari-jari hidrolis (m)
 S = kemiringan dasar sungai atau saluran (m/m)

Nilai kapasitas yang diperoleh menggambarkan kemampuan penampang sungai atau saluran pada lokasi pengamatan dalam mengalirkan debit. Hasil perhitungan kapasitas pada masing-masing sub-sistem selanjutnya digunakan dalam analisis kinerja sistem drainase primer dengan membandingkan kapasitas pengaliran terhadap debit yang diterima pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang.

b) Analisis Kinerja Sistem Drainase Primer

Analisis kinerja sistem drainase primer dilakukan untuk mengetahui kemampuan masing-masing sungai atau saluran utama dalam mengalirkan debit yang diterima. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan debit yang diterima atau debit rencana dengan kapasitas pengaliran saluran (Saragi et al., 2023). Saluran dikategorikan mampu apabila kapasitas pengalirannya lebih besar daripada debit yang diterima, sedangkan saluran dikategorikan tidak mampu apabila debit yang diterima melebihi kapasitas pengaliran (Ali Yusuf et al., 2026).

Dalam penelitian ini, kinerja sistem drainase primer dianalisis pada masing-masing sub-sistem drainase dengan membandingkan debit total yang diterima (Q_{r_total}) dengan kapasitas drainase primer (Q_s). Debit total merupakan debit yang diperhitungkan masuk ke sistem pengaliran yang terdiri atas debit limpasan permukaan dari daerah tangkapan (Q_r) dan debit sungai yang berasal dari aliran hulu (Q_n). Adapun debit total dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{total} = Q_r + Q_n$$

Keterangan:

Q_{total} = debit total yang diterima drainase primer ($m^3/detik$)

Q_r = debit limpasan permukaan ($m^3/detik$)

Q_n = debit sungai/aliran dari hulu ($m^3/detik$)

Debit limpasan permukaan pada kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang diperoleh dari hasil analisis pada tahap sebelumnya, sedangkan debit normal sungai digunakan untuk merepresentasikan aliran dari wilayah hulu. Debit limpasan permukaan dan debit dari wilayah hulu kemudian dijumlahkan untuk memperoleh debit total

(Q_{r_total}) yang diterima oleh sistem drainase primer. Kapasitas drainase primer (Q_s) diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan Manning.

Kinerja sistem drainase primer dianalisis berdasarkan perbandingan antara debit total yang diterima dan kapasitas pengaliran saluran. Secara umum, apabila $Q_{total} < Q_s$ kapasitas drainase primer masih lebih besar daripada debit yang diterima sehingga sistem dinyatakan mampu mengalirkan debit. Sebaliknya, apabila $Q_{total} > Q_s$, debit yang diterima telah melampaui kapasitas pengaliran sehingga sistem dinyatakan tidak mampu mengalirkan debit. Kondisi $Q_{total} = Q_s$ menunjukkan bahwa debit yang diterima sama dengan kapasitas maksimum saluran. Untuk memperoleh tingkat kinerja yang lebih rinci, perbandingan tersebut selanjutnya dihitung berdasarkan persentase debit total terhadap kapasitas saluran dengan persamaan:

$$\text{Persentase Debit Total terhadap Kapasitas Saluran} = \frac{Q_{r_total} - Q_s}{Q_s} \times 100\%$$

Nilai persentase tersebut digunakan untuk membedakan tingkat kinerja sistem drainase menjadi lima kelas, yaitu sangat baik, baik, menengah, buruk, dan sangat buruk. Kelas sangat baik dan baik menunjukkan bahwa debit yang diterima masih berada di bawah kapasitas pengaliran, kelas menengah menunjukkan kondisi debit sama dengan kapasitas, sedangkan kelas buruk dan sangat buruk menunjukkan bahwa debit yang diterima telah melampaui kapasitas pengaliran. Analisis dilakukan pada kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang untuk mengetahui perubahan tingkat kinerja drainase akibat perubahan debit yang diterima. Hasil klasifikasi kinerja tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dalam analisis bahaya banjir. Adapun klasifikasi kinerja sistem drainase primer disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Klasifikasi Tingkat Kinerja Sistem Drainase Primer

Perbandingan Debit Total (Q_{r_Total}) terhadap Kapasitas (Q_s)	Kelas Kinerja
50% lebih tinggi dari Q_s	Sangat Buruk
25% lebih tinggi dari Q_s	Buruk
Sama dengan Q_s	Menengah
25% lebih rendah dari Q_s	Baik
50% lebih rendah dari Q_s	Sangat Baik

Berdasarkan tabel di atas, semakin besar debit total dibandingkan kapasitas drainase, semakin rendah tingkat kinerjanya. Kondisi sangat baik dan baik menunjukkan kapasitas

masih mencukupi, sedangkan kondisi buruk dan sangat buruk menunjukkan debit yang diterima telah melebihi kapasitas pengaliran.

1.6.4.4 Analisis Tingkat Bahaya Banjir

Analisis tingkat bahaya banjir dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat bahaya banjir di Kota Tegal pada kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) dengan mengintegrasikan tujuh parameter, yaitu kemiringan lereng, topografi/elevasi, curah hujan, penggunaan lahan, jarak sungai, kinerja sistem drainase primer, dan jenis tanah. Masing-masing parameter diklasifikasikan dan diberikan skor berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap bahaya banjir, kemudian diintegrasikan menggunakan bobot yang mengacu pada penelitian terdahulu dengan parameter yang memiliki karakteristik relatif serupa. Seluruh parameter selanjutnya digabungkan melalui analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memperoleh nilai tingkat bahaya banjir. Pada kondisi eksisting, parameter penggunaan lahan dan kinerja drainase menggunakan kondisi tahun 2025, sedangkan pada kondisi rencana pola ruang kedua parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi rencana.

. Parameter yang digunakan dalam analisis tingkat bahaya banjir dipilih berdasarkan keterkaitannya dengan proses terbentuknya banjir serta ketersediaan data pada wilayah penelitian. Setiap parameter diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas dan diberikan skor yang menunjukkan tingkat pengaruh terhadap bahaya banjir, di mana skor yang lebih tinggi menunjukkan kondisi yang semakin berpotensi meningkatkan bahaya banjir. Klasifikasi dan skor masing-masing parameter mengacu pada penelitian terdahulu yang relevan dan disesuaikan dengan karakteristik data yang digunakan dalam penelitian ini. Adapun klasifikasi dan skor parameter bahaya banjir yang digunakan disajikan pada Tabel 1.8 berikut.

Tabel 1.8 Klasifikasi, Skor, dan Bobot Parameter Bahaya Banjir

Parameter	Kelas	Skor	Bobot (%)
Kemiringan lereng	0 - 4%	1	24,63
	4 - 8%	2	
	8 - 15%	3	
	15 - 25%	4	
	>25%	5	
Topografi	< 2 mdpl	5	22,00

Parameter	Kelas	Skor	Bobot (%)
	2 - 4 mdpl	4	
	4 - 8 mdpl	3	
	8 - 10 mdpl	2	
	> 10 mdpl	1	
Penggunaan lahan	Badan Air	5	11,90
	Permukiman/Terbangun	4	
	Lahan Terbuka	3	
	Ladang/Tegalan/Kebun Campuran	2	
	Hutan/Vegetasi	1	
Jarak sungai	0 - 50 m	5	11,60
	50 - 100 m	4	
	100 - 250 m	3	
	250 - 500 m	2	
	> 500 m	1	
Curah hujan	< 21 mm	1	18,70
	21 - 40 mm	2	
	41 - 75 mm	3	
	76 - 150 mm	4	
	> 150 mm	5	
Kinerja Drainase	Sangat Buruk	5	8,73
	Buruk	4	
	Menengah	3	
	Baik	2	
	Sangat Baik	1	
Jenis tanah	Aluvial, Hidromorf kelabu, Laterik Air Tanah	5	2,44
	Latosol	4	
	Tanah Hutan Coklat, Tanah Mediteran	3	
	Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic	2	
	Litosol, Organosol, Renzina	1	

Sumber: Jayawardane et al. (2026), Aliyu et al. (2025), dan Diriba et al. (2024), dimodifikasi penulis.

Berdasarkan klasifikasi, skor, dan bobot pada tabel tersebut, setiap parameter bahaya banjir diberikan nilai sesuai dengan kondisi masing-masing unit spasial. Skor setiap parameter kemudian dikalikan dengan bobotnya untuk memperoleh nilai tertimbang. Seluruh nilai tertimbang dari ketujuh parameter dijumlahkan untuk menghasilkan nilai bahaya banjir pada setiap unit analisis. Semakin tinggi nilai hasil perhitungan, maka semakin tinggi pula tingkat bahaya banjir pada lokasi tersebut. Proses penggabungan parameter dilakukan melalui analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan pendekatan MCDA. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$H = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)$$

Keterangan:

H = nilai bahaya banjir

W_i = bobot parameter ke-i

S_i = skor parameter ke-i

n = jumlah parameter

Nilai hasil penggabungan seluruh parameter selanjutnya dinormalisasi untuk memperoleh indeks bahaya banjir pada rentang 0 hingga 1. Normalisasi dilakukan menggunakan metode *min-max normalization*, sehingga nilai terendah hasil analisis ditransformasikan menjadi nilai mendekati 0 dan nilai tertinggi menjadi nilai mendekati 1. Semakin tinggi nilai indeks yang diperoleh, maka semakin tinggi tingkat bahaya banjir pada wilayah tersebut. Normalisasi dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Sehingga perhitungan parameternya menjadi

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Keterangan:

x' = indeks bahaya banjir

x = nilai bahaya banjir hasil penggabungan

$\min(x)$ = nilai minimum hasil analisis bahaya banjir

$\max(x)$ = nilai maksimum hasil analisis bahaya banjir

Indeks bahaya banjir yang telah dinormalisasi selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga tingkat, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian kelas dilakukan berdasarkan rentang indeks 0-1 menjadi tiga interval kelas yang sama. Adapun klasifikasi tingkat bahaya banjir yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.9 berikut.

Tabel 1.9 Klasifikasi Tingkat Bahaya Banjir

Indeks Bahaya	Tingkat Bahaya
0,00 - 0,33	Rendah
0,34 - 0,66	Sedang
0,67 - 1,00	Tinggi

Sumber: BNPB (2019)

Klasifikasi tersebut digunakan secara konsisten pada kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang agar perubahan tingkat bahaya banjir pada kedua kondisi dapat dibandingkan secara langsung. Perbandingan hasil kedua kondisi selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi perubahan tingkat bahaya banjir sebagai bagian dari analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir. Hasil analisis disajikan dalam bentuk peta tingkat bahaya banjir kondisi eksisting dan peta tingkat bahaya banjir kondisi rencana pola ruang.

1.6.4.5 Analisis Tingkat Kerentanan Banjir

Analisis tingkat kerentanan banjir dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan wilayah Kota Tegal terhadap dampak yang dapat ditimbulkan apabila terjadi banjir. Kerentanan menggambarkan kondisi sosial, ekonomi, dan fisik yang memengaruhi tingkat kepekaan masyarakat maupun aset wilayah terhadap dampak bencana. Semakin tinggi tingkat kerentanan suatu wilayah, semakin besar pula potensi dampak dan kerugian yang dapat terjadi. Hasil analisis kerentanan selanjutnya digunakan sebagai salah satu komponen dalam analisis tingkat risiko banjir.

Berdasarkan Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012, tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, kerentanan terdiri atas aspek sosial, ekonomi, fisik, dan lingkungan. Dalam penelitian ini, analisis kerentanan dibatasi pada aspek sosial, ekonomi, dan fisik. Aspek lingkungan tidak digunakan sebagai komponen kerentanan karena kondisi lingkungan yang berkaitan dengan penggunaan lahan telah direpresentasikan dalam analisis tingkat bahaya banjir. Pembatasan tersebut dilakukan untuk menghindari penggunaan parameter yang sama pada lebih dari satu komponen penyusun risiko (*double counting*).

Kerentanan fisik dianalisis berdasarkan kepadatan bangunan dan keberadaan infrastruktur kritis, sedangkan kerentanan sosial dan ekonomi dianalisis berdasarkan karakteristik kependudukan dan sosial ekonomi wilayah. Setiap parameter diklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Penentuan batas kelas dilakukan menggunakan metode *Equal Interval* dengan membagi rentang antara nilai maksimum dan minimum menjadi tiga kelas menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{X_{max} - X_{min}}{k}$$

Keterangan:

I = interval kelas

X_{max} = nilai maksimum parameter

X_{min} = nilai minimum parameter

k = jumlah kelas, yaitu 3

Hasil klasifikasi selanjutnya diberikan skor 1 untuk kelas rendah, skor 2 untuk kelas sedang, dan skor 3 untuk kelas tinggi. Skor setiap parameter kemudian dikalikan dengan bobot masing-masing parameter dan diintegrasikan menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) untuk memperoleh nilai kerentanan banjir. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan wilayah ke dalam kelas rendah, sedang, dan tinggi. Adapun parameter, klasifikasi, skor, bobot, dan sumber yang digunakan pada masing-masing aspek kerentanan disajikan pada tabel berikut.

a. Analisis Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial menggambarkan kondisi masyarakat yang memengaruhi tingkat kepekaan dalam menghadapi dampak banjir. Dalam penelitian ini, kerentanan sosial dianalisis berdasarkan empat parameter, yaitu kepadatan penduduk, penduduk usia rentan, penduduk penyandang disabilitas, dan penduduk berpendidikan rendah. Kepadatan penduduk digunakan untuk menggambarkan konsentrasi penduduk yang berpotensi terdampak banjir, sedangkan penduduk usia rentan dan penduduk penyandang disabilitas merepresentasikan kelompok masyarakat yang memiliki keterbatasan relatif lebih tinggi dalam proses evakuasi maupun pemulihan pascabencana. Sementara itu, persentase penduduk berpendidikan rendah digunakan untuk menggambarkan kondisi sosial masyarakat yang berkaitan dengan kemampuan dalam menerima, memahami, dan merespons informasi kebencanaan.

Masing-masing parameter diberikan bobot sesuai dengan tingkat kontribusinya terhadap kerentanan sosial. Selanjutnya, setiap parameter diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, menggunakan metode *equal interval* dan diberikan skor 1 sampai 3 sesuai dengan tingkat kerentanannya. Bobot, skor, dan klasifikasi parameter kerentanan sosial yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.10 berikut.

Tabel 1.10 Bobot, Skor, dan Klasifikasi Parameter Kerentanan Sosial

Parameter	Bobot	Kelas (Skor)		
		Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
Kepadatan Penduduk	60%	14,89 - 65,72 jiwa/ha	>65,72-116,55 jiwa/ha	>116,55-167,38 jiwa/ha
Penduduk Usia Rentan	15%	31,77-32,83%	>32,83-33,89%	>33,89-34,94%
Penduduk Penyandang Disabilitas	15%	0,08-0,21%	>0,21-0,33%	>0,33-0,46%

Tingkat Pendidikan	10%	52,56-64,04%	>64,04-75,51%	>75,51-86,99%
$\text{Kerentanan Sosial} = (0,60 \times \text{Skor Kepadatan Penduduk}) + (0,15 \times \text{Skor Penduduk Usia Rentan}) + (0,15 \times \text{Penduduk Penyandang Disabilitas}) + (0,10 \times \text{Tingkat Pendidikan})$				

Sumber: BNPB (2019) dimodifikasi Penulis, 2026

Berdasarkan klasifikasi, skor, dan bobot pada tabel tersebut, nilai kerentanan sosial dihitung dengan mengalikan skor masing-masing parameter dengan bobotnya, kemudian menjumlahkan seluruh nilai tertimbang pada setiap kelurahan. Nilai kerentanan sosial yang semakin tinggi menunjukkan kondisi sosial masyarakat yang semakin rentan terhadap dampak banjir.

b. Analisis Kerentanan Ekonomi

Kerentanan ekonomi menggambarkan kondisi ekonomi masyarakat yang dapat memengaruhi tingkat kemampuan dalam menghadapi dan memulihkan dampak banjir. Dalam penelitian ini, kerentanan ekonomi dianalisis berdasarkan dua parameter, yaitu penduduk miskin dan mata pencaharian rentan. Persentase penduduk miskin digunakan untuk menggambarkan keterbatasan kemampuan ekonomi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan dasar dan melakukan pemulihan pascabencana, sedangkan persentase penduduk dengan mata pencaharian rentan digunakan untuk merepresentasikan tingkat ketergantungan masyarakat terhadap jenis pekerjaan yang berpotensi mengalami gangguan atau kerugian akibat banjir.

Masing-masing parameter diberikan bobot sesuai dengan tingkat kontribusinya terhadap kerentanan ekonomi. Selanjutnya, setiap parameter diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, menggunakan metode *equal interval* dan diberikan skor 1 sampai 3 sesuai dengan tingkat kerentanannya. Bobot, skor, dan klasifikasi parameter kerentanan ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.11 berikut.

Tabel 1.11 Bobot, Skor, dan Klasifikasi Parameter Kerentanan Ekonomi

Parameter	Bobot	Kelas (Skor)		
		Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
Penduduk Miskin	60%	9,35-18,65%	>18,65-27,95%	>27,95-37,25%
Mata Pencaharian Rentan	40%	11,75-18,39%	>18,39-25,03%	>25,03-31,68%
$\text{Kerentanan Ekonomi} = (0,60 \times \text{Skor Penduduk Miskin}) + (0,40 \times \text{Skor Mata Pencaharian Rentan})$				

Sumber: BNPB (2019) dimodifikasi Penulis, 2026

Berdasarkan klasifikasi, skor, dan bobot pada tabel tersebut, nilai kerentanan ekonomi dihitung dengan mengalikan skor masing-masing parameter dengan bobotnya, kemudian menjumlahkan seluruh nilai tertimbang pada setiap kelurahan. Nilai kerentanan

ekonomi yang semakin tinggi menunjukkan kondisi ekonomi masyarakat yang semakin rentan terhadap dampak banjir.

c. Analisis Kerentanan Fisik

Kerentanan fisik menggambarkan kondisi aset dan infrastruktur yang berpotensi mengalami kerusakan atau gangguan fungsi apabila terdampak banjir. Dalam penelitian ini, kerentanan fisik dianalisis berdasarkan dua parameter, yaitu kepadatan bangunan dan infrastruktur kritis. Kepadatan bangunan digunakan untuk menggambarkan konsentrasi bangunan yang berpotensi mengalami kerusakan, sedangkan infrastruktur kritis digunakan untuk merepresentasikan keberadaan fasilitas penting bagi masyarakat, seperti fasilitas kesehatan, pendidikan, pemerintahan, keamanan, transportasi, dan fasilitas pelayanan lainnya yang dapat mengalami gangguan fungsi apabila terdampak banjir.

Masing-masing parameter diberikan bobot sesuai dengan tingkat kontribusinya terhadap kerentanan fisik. Selanjutnya, setiap parameter diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, menggunakan metode *equal interval* dan diberikan skor 1 sampai 3 sesuai dengan tingkat kerentanannya. Bobot, skor, dan klasifikasi parameter kerentanan fisik yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.12 berikut.

Tabel 1.12 Bobot, Skor, dan Klasifikasi Parameter Kerentanan Fisik

Parameter	Bobot	Kelas (Skor)		
		Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
Kepadatan Bangunan	60%	3-12 bangunan/ha	>12-21 bangunan/ha	>21-30 bangunan/ha
Infrastruktur Kritis	40%	2-14,67 unit	>14,67-27,33 unit	>27,33-40 unit
Kerentanan Fisik = (0,60 x Skor Kepadatan Bangunan) + (0,40 x Skor Infrastruktur Kritis)				

Sumber: BNPB (2019) dimodifikasi Penulis, 2026

Berdasarkan klasifikasi, skor, dan bobot pada tabel tersebut, nilai kerentanan fisik dihitung dengan mengalikan skor masing-masing parameter dengan bobotnya, kemudian menjumlahkan seluruh nilai tertimbang pada setiap kelurahan. Nilai kerentanan fisik yang semakin tinggi menunjukkan semakin besarnya konsentrasi aset fisik dan fasilitas penting yang berpotensi mengalami kerusakan atau gangguan fungsi apabila terjadi banjir.

d. Penentuan Indeks Kerentanan Banjir

Nilai kerentanan banjir diperoleh dengan mengintegrasikan hasil analisis kerentanan sosial, kerentanan ekonomi, dan kerentanan fisik. Masing-masing aspek diberikan bobot sesuai dengan kontribusinya terhadap pembentukan kerentanan banjir. Pembobotan mengacu pada Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Banjir (2019) dengan

modifikasi berupa tidak digunakannya aspek lingkungan dalam penelitian ini. Bobot aspek lingkungan kemudian didistribusikan secara proporsional ke dalam tiga aspek yang digunakan, sehingga diperoleh bobot kerentanan sosial sebesar 44%, kerentanan ekonomi sebesar 28%, dan kerentanan fisik sebesar 28%. Adapun bobot masing-masing aspek kerentanan disajikan pada Tabel 1.13 berikut.

Tabel 1.13 Bobot Aspek Kerentanan Banjir

Aspek	Bobot (%)
Sosial	44
Ekonomi	28
Fisik	28

Sumber: BNPB (2019) dimodifikasi Penulis, 2026

Nilai kerentanan banjir dihitung dengan mengalikan nilai masing-masing aspek kerentanan dengan bobotnya, kemudian menjumlahkan seluruh nilai tertimbang. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V = (0,44 \times V_S) + (0,28 \times V_E) + (0,28 \times V_F)$$

Keterangan:

V = nilai kerentanan banjir

V_S = nilai kerentanan sosial

V_E = nilai kerentanan ekonomi

V_F = nilai kerentanan fisik

Nilai kerentanan yang diperoleh pada masing-masing kelurahan selanjutnya dinormalisasi menggunakan metode *min-max normalization* untuk menghasilkan indeks kerentanan pada rentang 0 hingga 1. Normalisasi dilakukan agar nilai kerentanan memiliki skala yang seragam serta memudahkan proses interpretasi dan pengintegrasian dengan komponen bahaya dan kapasitas dalam analisis risiko banjir. Persamaan normalisasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{X_{max} - X_{min}}{k}$$

Keterangan:

I = interval kelas

X_{max} = nilai maksimum parameter

X_{min} = nilai minimum parameter

k = jumlah kelas, yaitu 3

Nilai indeks yang semakin mendekati 1 menunjukkan tingkat kerentanan yang semakin tinggi, sedangkan nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan tingkat kerentanan yang semakin rendah. Indeks kerentanan selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga tingkat, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Adapun klasifikasi indeks kerentanan banjir disajikan pada Tabel 1.14 berikut.

Tabel 1.14 Klasifikasi Tingkat Kerentanan Banjir

Nilai Indeks	Tingkat Kerentanan
0,00 - 0,33	Rendah
0,34 - 0,66	Sedang
0,67 - 1,00	Tinggi

Sumber: BNPB, 2019

Berdasarkan tabel di atas, nilai indeks kerentanan yang telah diperoleh selanjutnya diolah untuk menghasilkan peta kerentanan banjir Kota Tegal. Peta tersebut menunjukkan distribusi tingkat kerentanan pada setiap kelurahan yang dikelompokkan ke dalam kelas rendah, sedang, dan tinggi.

1.6.4.6 Analisis Tingkat Kapasitas Banjir

Analisis tingkat kapasitas terhadap banjir dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan wilayah dalam menghadapi, merespons, dan memulihkan diri dari dampak bencana banjir. Kapasitas merupakan salah satu komponen dalam analisis risiko bencana yang berperan dalam mengurangi tingkat risiko. Semakin tinggi kapasitas suatu wilayah, semakin besar kemampuan wilayah tersebut dalam melaksanakan upaya mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat, dan pemulihan pascabencana.

Analisis kapasitas dalam penelitian ini menggunakan data sekunder berupa Indeks Ketahanan Daerah (IKD) dan Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM) yang diperoleh dari Dokumen Kajian Risiko Bencana Kota Tegal Tahun 2025-2029 yang disusun oleh BPBD Kota Tegal. IKD digunakan untuk merepresentasikan kapasitas pemerintah daerah dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana, sedangkan IKM digunakan untuk menggambarkan tingkat kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi bencana. Kedua komponen tersebut selanjutnya diintegrasikan untuk memperoleh nilai kapasitas pada setiap kelurahan.

Berdasarkan Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Banjir (2019) pembentukan nilai kapasitas dilakukan dengan menggabungkan nilai IKD dan IKM

menggunakan bobot yang berbeda sesuai dengan kontribusinya terhadap kapasitas wilayah. Bobot masing-masing komponen disajikan pada Tabel 1.15 berikut.

Tabel 1.15 Bobot Komponen Kapasitas terhadap Banjir

Komponen	Bobot (%)
Indeks Ketahanan Daerah (IKD)	40
Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM)	60

Sumber: BNPB, 2019

Nilai kapasitas dihitung dengan mengalikan nilai masing-masing komponen dengan bobotnya, kemudian menjumlahkan seluruh nilai tertimbang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C = (0,40 \times IKD) + (0,60 \times IKM)$$

Keterangan :

C = nilai kapasitas terhadap banjir

IKD = Indeks Ketahanan Daerah (IKD)

IKM = Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM)

Nilai kapasitas yang diperoleh berada pada rentang 0 hingga 1. Nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan kapasitas wilayah yang semakin tinggi dalam menghadapi bencana banjir, sedangkan nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan kapasitas yang semakin rendah. Nilai kapasitas selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga tingkat, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, berdasarkan Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Banjir (2019). Klasifikasi tersebut bertujuan untuk memudahkan interpretasi tingkat kapasitas pada setiap kelurahan. Adapun klasifikasi tingkat kapasitas disajikan pada Tabel 1.16 berikut.

Tabel 1.16 Klasifikasi Tingkat Kapasitas Banjir

Nilai Indeks	Tingkat Kapasitas
0,00 - 0,33	Rendah
0,34 - 0,66	Sedang
0,67 - 1,00	Tinggi

Sumber: BNPB, 2019

Berdasarkan tabel di atas, nilai indeks kapasitas yang diperoleh pada tingkat kelurahan selanjutnya untuk menghasilkan peta kapasitas banjir Kota Tegal. Setiap kelurahan diberikan atribut nilai kapasitas sesuai hasil kajian KRB, kemudian diklasifikasikan ke dalam kelas kapasitas rendah, sedang, dan tinggi. Hasil proses tersebut

menghasilkan peta kapasitas banjir yang menunjukkan distribusi spasial kemampuan wilayah dalam menghadapi ancaman banjir.

1.6.4.7 Analisis Tingkat Risiko Banjir

Analisis tingkat risiko banjir dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat risiko yang ditimbulkan oleh kejadian banjir melalui integrasi antara komponen bahaya, kerentanan, dan kapasitas. Risiko banjir menggambarkan potensi dampak atau kerugian yang dapat terjadi akibat interaksi antara tingkat bahaya dengan kondisi kerentanan wilayah serta kemampuan wilayah dalam menghadapi bencana. Semakin tinggi tingkat bahaya dan kerentanan, maka risiko yang terbentuk cenderung semakin tinggi, sedangkan kapasitas berperan sebagai faktor yang dapat mengurangi tingkat risiko.

Analisis risiko dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dan spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Indeks bahaya banjir, indeks kerentanan banjir, dan indeks kapasitas yang diperoleh pada tahapan sebelumnya diintegrasikan pada unit analisis kelurahan. Ketiga komponen tersebut telah berada pada rentang nilai 0-1 sehingga dapat digunakan dalam perhitungan risiko. Perhitungan tingkat risiko mengacu pada Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Banjir (2019), dengan kapasitas berperan sebagai faktor pengurang risiko. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Risiko (R) = Bahaya (H) \times \frac{Kerentanan (V)}{Kapasitas (C)}$$

Keterangan:

- R = Indeks Risiko Banjir
- H = Indeks Bahaya Banjir
- V = Indeks Kerentanan Banjir
- C = Indeks Kapasitas Banjir

Berdasarkan persamaan tersebut, nilai risiko meningkat seiring dengan meningkatnya indeks bahaya dan kerentanan, sedangkan peningkatan kapasitas akan menurunkan nilai risiko. Nilai risiko yang diperoleh selanjutnya dinormalisasi menggunakan metode *min-max normalization* agar berada pada rentang 0 sampai 1, dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{X_{max} - X_{min}}{k}$$

Keterangan:

- I = interval kelas
 X_{max} = nilai maksimum parameter
 X_{min} = nilai minimum parameter
k = jumlah kelas, yaitu 3

Indeks risiko yang telah dinormalisasi selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga tingkat, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Adapun klasifikasi tingkat risiko banjir yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.17 berikut.

Tabel 1.17 Klasifikasi Tingkat Risiko Banjir

Nilai Indeks	Tingkat Risiko
0,00 - 0,33	Rendah
0,34 - 0,66	Sedang
0,67 - 1,00	Tinggi

Sumber: BNPB, 2019

Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk peta tingkat risiko banjir menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Peta risiko disusun untuk dua kondisi, yaitu kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Peta kondisi eksisting menggambarkan tingkat risiko berdasarkan kondisi penggunaan lahan dan kinerja drainase tahun 2025, sedangkan peta kondisi rencana pola ruang menggambarkan tingkat risiko apabila arahan pola ruang RTRW telah terwujud.

1.6.4.8 Analisis Implikasi Rencana Pola Ruang Terhadap Bahaya dan Risiko

Analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir digunakan untuk mengetahui perubahan antara kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Kondisi eksisting menggambarkan pemanfaatan ruang aktual, sedangkan kondisi rencana menggambarkan kondisi apabila arahan pola ruang terwujud sesuai peruntukannya. Perbandingan kedua kondisi digunakan untuk mengetahui arah dan besarnya perubahan serta keterkaitannya dengan bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal.

Komponen yang dibandingkan meliputi koefisien limpasan, debit limpasan permukaan, debit total yang diterima sistem drainase, kinerja sistem drainase primer, tingkat bahaya, dan tingkat risiko banjir. Perbedaan penggunaan lahan pada kedua kondisi memengaruhi koefisien limpasan dan debit limpasan permukaan. Debit limpasan bersama kontribusi debit dari wilayah hulu membentuk debit total yang selanjutnya dibandingkan

dengan kapasitas drainase primer untuk mengetahui kinerjanya. Perubahan penggunaan lahan dan kinerja drainase kemudian menjadi bagian dari perubahan tingkat bahaya yang selanjutnya memengaruhi hasil analisis risiko banjir.

Besarnya perubahan parameter numerik dihitung berdasarkan selisih nilai kondisi rencana pola ruang dan kondisi eksisting menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta X = X_R - X_E$$

Keterangan:

ΔX = perubahan nilai parameter

X_R = nilai parameter pada kondisi rencana pola ruang

X_E = nilai parameter pada kondisi eksisting tahun 2025

Persentase perubahan digunakan untuk menunjukkan besarnya perubahan secara relatif terhadap kondisi eksisting dan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \Delta X = \frac{X_R - X_E}{X_E} \times 100\%$$

Keterangan :

ΔC = Persentase perubahan parameter

$X_{Pola Ruang}$ = Koefisien limpasan pada kondisi rencana pola ruang

$X_{Eksisting}$ = Koefisien limpasan pada kondisi eksisting tahun 2025

Persamaan tersebut diterapkan pada parameter numerik yang dapat dibandingkan secara langsung antara kedua kondisi. Arah perubahan selanjutnya diklasifikasikan menjadi menurun, tetap, dan meningkat sebagaimana disajikan pada Tabel 1.18 berikut.

Tabel 1.18 Klasifikasi Arah Perubahan

Perubahan Nilai	Kategori Perubahan
$\Delta X < 0$	Menurun
$\Delta X = 0$	Tetap
$\Delta X > 0$	Meningkat

Berdasarkan tabel di atas, perubahan kinerja sistem drainase primer dianalisis berdasarkan perbandingan kemampuan masing-masing sub-sistem dalam mengalirkan debit total pada kedua kondisi. Status perubahan meliputi tetap mampu, berubah dari mampu menjadi tidak mampu, berubah dari tidak mampu menjadi mampu, dan tetap tidak mampu mengalirkan debit yang diterima.

Analisis implikasi bahaya dan risiko secara spasial dilakukan melalui *overlay* antara peta bahaya kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang serta antara peta risiko pada kedua kondisi tersebut. Perubahan kelas pada setiap unit spasial dikelompokkan menjadi kategori menurun apabila kelas pada kondisi rencana lebih rendah, tetap apabila tidak terjadi perubahan kelas, dan meningkat apabila kelas pada kondisi rencana lebih tinggi dibandingkan kondisi eksisting. Hasil analisis implikasi disajikan dalam bentuk tabel perubahan luas dan peta implikasi bahaya serta risiko banjir. Kedua hasil tersebut selanjutnya disintesiskan dengan rencana pola ruang untuk mengidentifikasi kombinasi arah perubahan bahaya dan risiko pada setiap arahan pemanfaatan ruang. Tahap sintesis menghasilkan Peta Sintesis Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Bahaya dan Risiko Banjir Kota Tegal sebagai luaran akhir penelitian.

1.6.5 Hasil Akhir

Hasil akhir penelitian berupa informasi mengenai kondisi dan perubahan bahaya serta risiko banjir di Kota Tegal pada kondisi eksisting tahun 2025 dan kondisi rencana pola ruang RTRW Kota Tegal Tahun 2011-2031. Luaran penelitian meliputi Peta Bahaya Banjir, Peta Kerentanan Banjir, Peta Kapasitas Banjir, dan Peta Risiko Banjir sesuai dengan unit analisis masing-masing. Penelitian juga menghasilkan informasi kuantitatif mengenai perubahan koefisien limpasan, debit limpasan permukaan, kinerja sistem drainase primer, tingkat bahaya, dan tingkat risiko banjir antara kedua kondisi.

Hasil perbandingan kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang selanjutnya menghasilkan Peta Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Bahaya Banjir dan Peta Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Risiko Banjir dengan kategori menurun, tetap, dan meningkat. Kedua hasil tersebut kemudian disintesiskan dengan rencana pola ruang untuk menghasilkan Peta Sintesis Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Bahaya dan Risiko Banjir Kota Tegal sebagai luaran akhir penelitian. Peta sintesis menunjukkan kombinasi arah perubahan bahaya dan risiko pada masing-masing arahan pola ruang sehingga dapat digunakan untuk menginterpretasikan keterkaitan rencana pola ruang dengan perubahan kondisi banjir di Kota Tegal.

Untuk memperjelas keterkaitan antara sasaran penelitian dengan hasil yang dihasilkan pada setiap tahapan analisis, luaran penelitian dirangkum berdasarkan masing-masing sasaran. Rekapitulasi luaran penelitian disajikan pada Tabel 1.19 berikut.

Tabel 1.19 Rekapitulasi Luaran Penelitian Berdasarkan Sasaran

No.	Sasaran Penelitian	Luaran Penelitian
1	Sasaran 1	Peta penggunaan lahan eksisting tahun 2025 dan peta rencana pola ruang Kota Tegal.
2	Sasaran 2	Hasil perhitungan debit limpasan kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang pada masing-masing sub-sistem drainase yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik perbandingan.
3	Sasaran 3	Hasil perhitungan kapasitas drainase primer dan hasil kinerja drainase pada kondisi eksisting dan kondisi rencana pola ruang yang disajikan dalam bentuk tabel dan peta.
4	Sasaran 4	Peta bahaya banjir kondisi eksisting tahun 2025 dan peta bahaya banjir kondisi rencana pola ruang beserta hasil perbandingan tingkat bahaya.
5	Sasaran 5	Peta risiko banjir kondisi eksisting tahun 2025 dan peta risiko banjir kondisi rencana pola ruang beserta hasil perbandingan tingkat risiko.
6	Sasaran 6	Peta implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya banjir, peta implikasi rencana pola ruang terhadap risiko banjir, serta Peta Sintesis Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Bahaya dan Risiko Banjir Kota Tegal.

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026.

Berdasarkan tabel tersebut, setiap sasaran menghasilkan luaran yang saling berkaitan dan digunakan sebagai masukan pada tahapan analisis berikutnya. Hasil identifikasi penggunaan lahan pada Sasaran 1 menjadi dasar dalam perhitungan debit limpasan pada Sasaran 2. Hasil debit limpasan kemudian digunakan bersama kapasitas drainase untuk menentukan kinerja drainase pada Sasaran 3. Selanjutnya, hasil tersebut digunakan dalam analisis bahaya pada Sasaran 4 dan analisis risiko pada Sasaran 5. Keseluruhan hasil kemudian dibandingkan dan disintesis pada Sasaran 6 untuk menghasilkan Peta Sintesis Implikasi Rencana Pola Ruang terhadap Bahaya dan Risiko Banjir Kota Tegal sebagai luaran akhir penelitian.

1.7 Sistematika Pembahasan

Laporan Tugas Akhir ini disusun secara sistematis ke dalam lima bab yang saling berkaitan sebagai berikut:

- BAB I Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, kerangka pemikiran, metode penelitian yang meliputi kebutuhan data, teknik pengumpulan data, teknik analisis, hasil akhir penelitian, serta sistematika pembahasan.
- BAB II Bab ini memuat landasan teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian. Pembahasan teori meliputi konsep banjir, daerah aliran sungai (DAS), hidrologi, sistem drainase, bahaya banjir, kerentanan, kapasitas, risiko bencana, serta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW).
- BAB III Bab ini menjelaskan gambaran umum Kota Tegal sebagai wilayah penelitian yang meliputi kondisi administrasi, demografi, fisik wilayah, hidrologi, sistem drainase, serta kebijakan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Tegal.
- BAB IV Bab ini menyajikan hasil analisis penelitian yang meliputi analisis perubahan penggunaan lahan, analisis debit limpasan permukaan, analisis kapasitas dan kinerja sistem drainase primer, analisis tingkat bahaya banjir, analisis tingkat kerentanan banjir, analisis tingkat kapasitas terhadap banjir, analisis tingkat risiko banjir, serta analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal.
- BAB V Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta rekomendasi yang disusun berdasarkan hasil analisis implikasi rencana pola ruang terhadap bahaya dan risiko banjir di Kota Tegal.