

A vibrant illustration of a city experiencing a severe flood. In the background, a large, powerful waterfall cascades down a dark, rocky cliff. The sky is a deep teal color, filled with numerous white diagonal lines representing heavy rain. In the foreground, the city is submerged in deep blue floodwater. Several houses with orange and yellow roofs are partially underwater, with only their upper floors and roofs visible. A white SUV is stuck in the water, and a blue car is partially submerged on the right. Lush green trees are scattered throughout the scene, some standing in the water. The overall atmosphere is one of a severe weather event.

BANJIR BANJIR BANDANG GENANGAN PERKOTAAN

TETAP WASPADA, TETAP SELAMAT!

BANJIR, BANJIR BANDANG DAN GENANGAN PERKOTAAN

Risma Sunarty



Penerbit NATURAL ACEH, Banda Aceh – Aceh

Banjir, Banjir Bandang dan Genangan Perkotaan

© **Risma Sunarty**

Penerbit NATURAL ACEH Jalan Tgk. Adee II, No. 8. Gp. Doy, Kec. Ulee Kareng,
Kota Banda Aceh 23117

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Natural Aceh, Banda Aceh, 2025

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun (seperti cetakan, fotokopi, microfilm, VCD, CD-ROM, dan rekaman suara) tanpa izin tertulis dari pemegang hak cipta/penerbit.

Daftar Isi

Daftar Isi.....	iv
Kata Pengantar.....	1
1. Banjir	2
1.1 Pengertian dan Klasifikasi Banjir	2
1.2 Proses Terjadinya Banjir dalam Siklus Hidrologi	9
1.3 Banjir Sungai (<i>River Flood</i>).....	13
1.4 Karakteristik Banjir Sungai.....	13
1.5 Faktor Penyebab di Wilayah DAS	14
1.6 Contoh Kasus di Indonesia: Pidie Jaya, Aceh.....	15
2. Banjir Bandang (<i>Flash Flood</i>)	20
2.1 Ciri Khas Banjir Bandang.....	20
2.2 Peran Kemiringan Lereng, Deforestasi, dan Longsor.....	22
2.3 Studi Kasus Banjir Bandang	23
3. Genangan Perkotaan (<i>Urban Flooding / Waterlogging</i>).....	25
3.1 Sistem Drainase Kota.....	25
3.2 Perubahan Tata Guna Lahan	32
3.3 Permukaan Kedap Air (Aspal dan Beton).....	36
3.4 Kapasitas Saluran vs Intensitas Hujan	37
KESIMPULAN.....	49

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku *Banjir, Banjir Bandang dan Genangan Perkotaan* ini dapat diselesaikan dengan baik.

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia dan menimbulkan dampak yang luas terhadap kehidupan masyarakat, lingkungan, serta pembangunan. Dalam beberapa tahun terakhir, kejadian banjir, banjir bandang, dan genangan perkotaan semakin sering terjadi seiring dengan meningkatnya tekanan terhadap lingkungan, perubahan tata guna lahan, urbanisasi, serta pengaruh perubahan iklim global.

Buku ini disusun sebagai bahan pembelajaran dan referensi yang mudah dipahami oleh mahasiswa, pelajar, praktisi, relawan kebencanaan, maupun masyarakat umum yang ingin memahami proses terjadinya banjir dari sudut pandang hidrologi, lingkungan, dan pengelolaan risiko bencana. Selain menjelaskan konsep dasar dan karakteristik berbagai jenis banjir, buku ini juga menguraikan faktor-faktor penyebab, studi kasus di Indonesia, serta berbagai upaya mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko bencana.

Penulis menyadari bahwa pengurangan risiko banjir tidak dapat dilakukan oleh satu pihak saja. Diperlukan kolaborasi antara pemerintah, akademisi, masyarakat, dunia usaha, dan berbagai pemangku kepentingan lainnya untuk membangun ketahanan wilayah terhadap ancaman bencana yang semakin kompleks.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan inspirasi dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat, menambah

wawasan, serta mendorong lahirnya berbagai upaya nyata dalam pengelolaan sumber daya air dan pengurangan risiko bencana di Indonesia.

Banda Aceh, 2026

Penulis,

Risma Sunarty

1. Banjir

1.1 Pengertian dan Klasifikasi Banjir

Banjir merupakan salah satu fenomena hidrologi yang paling kompleks dan paling banyak menimbulkan dampak terhadap kehidupan manusia dibandingkan jenis bencana alam lainnya. Hampir seluruh negara di dunia pernah mengalami kejadian banjir dengan tingkat keparahan yang berbeda-beda. Dalam sejarah perkembangan peradaban manusia, keberadaan sungai dan sumber air menjadi faktor utama yang menentukan lokasi permukiman, pusat perdagangan, serta perkembangan ekonomi masyarakat. Namun demikian, kedekatan manusia dengan sumber air juga membawa konsekuensi berupa meningkatnya risiko terhadap kejadian banjir.

Sejak ribuan tahun yang lalu, berbagai peradaban besar dunia berkembang di sekitar sungai-sungai besar. Peradaban Mesir tumbuh di sepanjang Sungai Nil, peradaban Mesopotamia berkembang di antara Sungai Tigris dan Efrat, sedangkan berbagai kerajaan besar di Asia berkembang di sekitar daerah aliran sungai yang subur. Sungai memberikan manfaat yang sangat besar berupa sumber air, sarana transportasi, sumber pangan, serta lahan pertanian yang produktif. Akan tetapi, sungai yang sama juga memiliki potensi bahaya ketika debit air meningkat melampaui kapasitas alamnya dan menyebabkan banjir.

Secara umum, banjir dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi ketika air menggenangi suatu wilayah yang pada keadaan normal tidak tertutup oleh air. Definisi ini merupakan pengertian yang paling sederhana dan mudah dipahami oleh masyarakat. Namun dalam perspektif ilmiah, banjir tidak hanya dipahami sebagai keberadaan air yang menggenang, melainkan sebagai hasil dari proses hidrologi yang terjadi ketika keseimbangan antara masukan air dan kapasitas lingkungan untuk menampung atau mengalirkan air mengalami gangguan.

Dalam ilmu hidrologi, banjir diartikan sebagai keadaan ketika debit aliran air yang terdapat dalam suatu sistem sungai, saluran, danau, atau kawasan drainase melebihi kapasitas tampung yang tersedia sehingga air keluar dari sistem tersebut dan menggenangi wilayah di sekitarnya. Pengertian ini menekankan bahwa banjir merupakan manifestasi dari ketidakseimbangan antara jumlah air yang masuk ke dalam suatu sistem dengan kemampuan sistem tersebut dalam mengelola air.

Dengan kata lain, banjir bukan hanya ditentukan oleh seberapa besar hujan yang turun, tetapi juga dipengaruhi oleh bagaimana karakteristik suatu wilayah dalam menerima, menyimpan, dan mengalirkan air. Dua wilayah yang menerima curah hujan dengan jumlah yang sama belum tentu mengalami dampak banjir yang sama. Wilayah yang memiliki tutupan vegetasi yang baik, tanah dengan kemampuan infiltrasi tinggi, serta sistem drainase yang memadai

mungkin tidak mengalami banjir. Sebaliknya, wilayah dengan tingkat urbanisasi tinggi, permukaan kedap air yang luas, dan sistem drainase yang buruk dapat mengalami banjir meskipun curah hujan yang terjadi relatif lebih kecil.

Dalam konteks siklus hidrologi, banjir sebenarnya merupakan bagian dari mekanisme alami bumi dalam mendistribusikan air. Air yang menguap dari permukaan laut, sungai, dan vegetasi akan mengalami kondensasi di atmosfer dan kemudian kembali ke permukaan bumi dalam bentuk hujan. Setelah mencapai permukaan tanah, air akan mengalami beberapa proses, yaitu infiltrasi ke dalam tanah, aliran bawah permukaan, evapotranspirasi, dan limpasan permukaan.

Pada kondisi lingkungan yang masih alami, sebagian besar air hujan dapat diserap oleh tanah dan vegetasi. Akar tumbuhan membantu memperbesar pori-pori tanah sehingga air dapat meresap lebih dalam dan tersimpan sebagai cadangan air tanah. Hanya sebagian kecil air yang berubah menjadi limpasan permukaan dan mengalir menuju sungai.

Namun keseimbangan alami tersebut sering kali terganggu akibat aktivitas manusia. Penebangan hutan, pembangunan kawasan perkotaan, konversi lahan pertanian menjadi kawasan terbangun, serta berkurangnya ruang terbuka hijau menyebabkan kemampuan tanah dalam menyerap air menurun drastis. Akibatnya, proporsi limpasan permukaan meningkat dan volume air yang menuju sungai menjadi

jauh lebih besar dibandingkan kondisi alami. Ketika kapasitas sungai tidak mampu menampung tambahan debit tersebut, maka terjadilah banjir.

Fenomena ini menunjukkan bahwa banjir bukan hanya peristiwa alam, tetapi juga merupakan indikator adanya perubahan dalam sistem lingkungan. Dalam banyak kasus, banjir mencerminkan berkurangnya kemampuan ekosistem dalam menjalankan fungsi hidrologinya. Oleh karena itu, banjir sering digunakan sebagai salah satu indikator degradasi lingkungan dan ketidakseimbangan tata kelola sumber daya alam. Dari perspektif ekologi, banjir sebenarnya memiliki fungsi penting bagi keberlangsungan ekosistem. Luapan sungai secara alami dapat menyebarkan sedimen yang kaya unsur hara ke dataran banjir sehingga meningkatkan kesuburan tanah. Banjir juga membantu menjaga keberadaan lahan basah, rawa, dan ekosistem riparian yang memiliki nilai ekologis tinggi. Dalam kondisi alami, banjir bukanlah bencana melainkan bagian dari proses dinamis yang mendukung keseimbangan lingkungan.

Masalah muncul ketika manusia mulai mengubah fungsi dataran banjir menjadi kawasan permukiman, industri, pusat perdagangan, dan infrastruktur lainnya. Dataran banjir yang semestinya menjadi ruang alami bagi sungai untuk menyebarkan kelebihan air kehilangan fungsinya. Akibatnya, setiap luapan air yang terjadi akan langsung berdampak pada aktivitas manusia dan menimbulkan kerugian yang besar.

Dalam ilmu kebencanaan modern, banjir dipandang sebagai hasil interaksi antara ancaman alam dan kerentanan manusia. Oleh sebab itu, tidak semua banjir otomatis dianggap sebagai bencana. Suatu kejadian banjir baru dikategorikan sebagai bencana apabila menimbulkan gangguan serius terhadap kehidupan masyarakat, menyebabkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian ekonomi, serta mengganggu fungsi sosial suatu wilayah.

Konsep ini sangat penting karena menunjukkan bahwa tingkat risiko banjir tidak hanya ditentukan oleh besarnya bahaya yang terjadi, tetapi juga oleh tingkat kerentanan masyarakat yang terdampak. Wilayah dengan kapasitas adaptasi yang tinggi, sistem peringatan dini yang baik, serta infrastruktur yang memadai mungkin mampu menghadapi banjir tanpa mengalami kerugian besar. Sebaliknya, wilayah yang memiliki tingkat kemiskinan tinggi, kualitas infrastruktur rendah, dan kapasitas kelembagaan yang lemah akan lebih rentan terhadap dampak banjir.

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap banjir semakin meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem yang dikaitkan dengan perubahan iklim global. Laporan berbagai organisasi internasional menunjukkan bahwa kejadian hujan ekstrem mengalami peningkatan di banyak wilayah dunia. Atmosfer yang lebih hangat mampu menyimpan lebih banyak uap air sehingga ketika proses presipitasi terjadi, hujan yang turun menjadi lebih intens dibandingkan kondisi sebelumnya.

Kondisi ini menyebabkan kejadian banjir tidak lagi hanya terjadi pada wilayah yang secara historis dikenal rawan banjir, tetapi juga mulai muncul pada wilayah-wilayah yang sebelumnya relatif aman. Fenomena ini menuntut perubahan paradigma dalam pengelolaan risiko banjir, dari pendekatan yang bersifat reaktif menuju pendekatan yang lebih preventif dan adaptif.

Selain dampak fisik berupa genangan air, banjir juga menimbulkan dampak sosial yang sangat luas. Gangguan terhadap aktivitas ekonomi, kerusakan fasilitas pendidikan, meningkatnya risiko penyakit berbasis lingkungan, hilangnya mata pencaharian masyarakat, serta munculnya trauma psikologis merupakan konsekuensi yang sering menyertai kejadian banjir. Dalam banyak kasus, dampak sosial dan ekonomi yang ditimbulkan justru berlangsung lebih lama dibandingkan genangan air itu sendiri.

Kerugian ekonomi akibat banjir juga sangat besar. Infrastruktur transportasi yang rusak, terganggunya aktivitas perdagangan, kerusakan lahan pertanian, hingga menurunnya produktivitas tenaga kerja dapat menyebabkan kerugian yang mencapai miliaran hingga triliunan rupiah dalam satu kejadian banjir besar. Oleh karena itu, pengurangan risiko banjir tidak hanya menjadi isu lingkungan, tetapi juga merupakan bagian penting dari strategi pembangunan berkelanjutan.

Dengan demikian, banjir dapat dipahami sebagai fenomena hidrologi yang terjadi akibat ketidakseimbangan antara jumlah air

yang masuk ke suatu sistem dengan kemampuan sistem tersebut untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkannya. Fenomena ini dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi, mulai dari kondisi iklim, karakteristik fisik wilayah, tata guna lahan, hingga aktivitas manusia. Pemahaman yang komprehensif mengenai pengertian banjir menjadi landasan penting dalam merancang strategi mitigasi dan adaptasi yang efektif.

Klasifikasi Banjir

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, banjir merupakan fenomena yang sangat beragam baik dari segi penyebab, proses pembentukan, kecepatan kejadian, maupun dampak yang ditimbulkannya. Oleh karena itu, memahami klasifikasi banjir menjadi langkah penting dalam kajian hidrologi, pengelolaan sumber daya air, perencanaan tata ruang, serta penanggulangan bencana. Klasifikasi ini tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk mengidentifikasi karakteristik suatu kejadian banjir, tetapi juga menjadi dasar dalam menentukan strategi mitigasi, kesiapsiagaan, respons darurat, dan pemulihan pascabencana.

Dalam praktiknya, suatu wilayah dapat mengalami lebih dari satu jenis banjir secara bersamaan. Sebagai contoh, hujan ekstrem yang terjadi di daerah hulu dapat menyebabkan banjir sungai di bagian hilir, sementara pada saat yang sama kawasan perkotaan di sekitar sungai mengalami genangan akibat kapasitas drainase yang tidak

memadai. Di wilayah pesisir, kondisi tersebut bahkan dapat diperparah oleh pasang laut yang menghambat aliran air ke laut. Oleh karena itu, klasifikasi banjir harus dipahami secara menyeluruh agar dapat menggambarkan kompleksitas kejadian yang sebenarnya.

1.2 Proses Terjadinya Banjir dalam Siklus Hidrologi

Banjir dapat dipahami sebagai respons sistem hidrologi ketika aliran air yang terbentuk setelah hujan tidak lagi dapat ditampung dan dialirkan secara memadai oleh bentang alam. Fokus pada proses ini menempatkan hujan sebagai pemicu, sementara kondisi permukaan lahan, jaringan aliran, serta karakteristik wilayah tangkapan air menentukan bagaimana air tersebut bergerak dari titik jatuhnya menuju sungai.

Peran hujan tidak hanya ditentukan oleh besarnya curah, tetapi juga oleh pola intensitas dan lamanya kejadian. Hujan berintensitas tinggi dalam durasi singkat cenderung menghasilkan aliran permukaan yang dominan karena tanah tidak memiliki cukup waktu untuk menyerap air. Sebaliknya, hujan berintensitas sedang dalam durasi lebih lama memberi peluang lebih besar bagi air untuk masuk ke dalam tanah. Pola ini menjelaskan mengapa dua kejadian hujan dengan total curah yang sama dapat menghasilkan respons aliran yang berbeda pada suatu wilayah.

Setelah mencapai permukaan tanah, air menghadapi dua jalur utama: masuk ke dalam tanah melalui infiltrasi atau bergerak di atas

permukaan sebagai limpasan. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh tekstur tanah, struktur pori, kelembapan awal tanah, dan keberadaan bahan organik. Tanah berpasir dengan pori besar cenderung lebih cepat meloloskan air dibandingkan tanah liat yang rapat. Ketika tanah sudah jenuh oleh air sebelumnya, kemampuan menerima tambahan air menjadi sangat terbatas sehingga limpasan lebih mudah terbentuk meskipun intensitas hujan tidak terlalu tinggi.

Limpasan permukaan mengikuti gradien kemiringan lahan. Pada lereng yang lebih curam, kecepatan aliran meningkat sehingga air lebih cepat mencapai saluran alami. Kecepatan ini juga dipengaruhi oleh kekasaran permukaan. Permukaan yang tertutup vegetasi, serasah, atau struktur tanah yang tidak rata memperlambat gerakan air. Sebaliknya, permukaan keras dan halus mempercepat aliran. Perbedaan karakter ini menentukan seberapa cepat air terkumpul di jaringan aliran dan memengaruhi besarnya volume yang tiba di sungai dalam waktu tertentu.

Kapasitas sungai dalam menyalurkan air bergantung pada bentuk penampang, kemiringan dasar sungai, serta kondisi alur. Sungai dengan penampang lebar dan dalam mampu mengalirkan debit yang lebih besar dibandingkan sungai yang dangkal dan menyempit. Perubahan morfologi sungai akibat pengendapan material dari erosi di wilayah tangkapan air dapat mengurangi ruang alir yang tersedia. Dalam kondisi seperti ini, peningkatan debit yang datang dari hulu lebih mudah menyebabkan luapan.

Daerah aliran sungai (DAS) berfungsi sebagai sistem pengumpul air dari berbagai anak aliran. Luas DAS, panjang jalur aliran, dan distribusi kemiringan lahan memengaruhi bagaimana air bergerak menuju sungai utama. DAS yang luas dengan jalur aliran panjang cenderung mendistribusikan kedatangan air secara bertahap. Sebaliknya, DAS yang relatif sempit dengan lereng curam memungkinkan air dari berbagai titik tiba hampir bersamaan, meningkatkan tekanan pada sungai dalam waktu singkat.

Dalam analisis hidrologi, kondisi tersebut dijelaskan melalui konsep debit puncak. Debit puncak menunjukkan titik tertinggi aliran yang terjadi setelah hujan. Nilai ini tidak hanya ditentukan oleh besarnya hujan, tetapi juga oleh respons wilayah tangkapan dalam mengalirkan air. Wilayah dengan kemampuan tampung rendah akan menghasilkan debit puncak yang tinggi karena sebagian besar air langsung menjadi aliran permukaan.

Faktor penting lain adalah waktu konsentrasi, yaitu durasi yang diperlukan air dari titik terjauh di DAS untuk mencapai sungai utama. Waktu ini mencerminkan kecepatan respons hidrologi suatu wilayah. Jika waktu konsentrasi pendek, debit dari seluruh bagian DAS akan bertemu di sungai hampir pada saat yang sama. Pertemuan serentak ini menyebabkan lonjakan aliran yang tajam. Jika waktu konsentrasi lebih panjang, aliran dari berbagai bagian DAS datang secara bertahap sehingga peningkatan debit di sungai lebih terkendali.

Kombinasi antara debit puncak yang tinggi dan waktu konsentrasi yang singkat menjadi kondisi yang paling rentan memicu banjir. Situasi ini sering ditemukan pada wilayah dengan kemiringan lereng besar, jaringan aliran pendek, serta permukaan lahan yang tidak mampu menahan air. Sebaliknya, wilayah dengan penutup lahan yang baik, jalur aliran yang panjang, dan kondisi tanah yang mendukung infiltrasi cenderung memiliki respons yang lebih lambat terhadap hujan.

Kondisi awal tanah sebelum hujan juga berpengaruh besar. Tanah yang telah jenuh oleh hujan sebelumnya memiliki kapasitas infiltrasi yang sangat kecil. Dalam keadaan ini, hujan lanjutan dengan intensitas sedang sekalipun dapat segera menghasilkan limpasan dalam jumlah besar. Oleh karena itu, riwayat kelembapan tanah menjadi bagian penting dalam memprediksi potensi banjir. Seluruh proses ini menunjukkan bahwa banjir merupakan hasil akumulasi respons hidrologi dari suatu wilayah terhadap hujan. Hujan memulai proses, infiltrasi dan limpasan menentukan jalur air, kapasitas sungai menentukan batas aliran yang dapat ditampung, sementara debit puncak dan waktu konsentrasi menggambarkan seberapa cepat dan seberapa besar tekanan aliran yang terjadi. Ketika komponen-komponen tersebut berada pada kondisi yang tidak seimbang, maka air akan keluar dari sistem alamnya dan menggenangi wilayah di sekitarnya.

1.3 Banjir Sungai (*River Flood*)

Banjir sungai merupakan jenis banjir yang paling umum dijumpai di wilayah yang dilalui aliran sungai besar, terutama pada bagian dataran rendah di hilir daerah aliran sungai (DAS). Peristiwa ini terjadi ketika volume air yang mengalir di sungai meningkat secara signifikan hingga melampaui kapasitas penampang sungai, sehingga air meluap ke daratan di sekitarnya. Prosesnya cenderung bertahap, mengikuti peningkatan muka air sungai dari waktu ke waktu, sehingga sering kali masih dapat diamati sebelum mencapai puncaknya.

1.4 Karakteristik Banjir Sungai

Ciri utama banjir sungai adalah kenaikan muka air yang relatif perlahan dibandingkan jenis banjir lainnya. Air biasanya mulai meluap setelah hujan berlangsung cukup lama di wilayah hulu. Hal ini terjadi karena air membutuhkan waktu untuk bergerak dari daerah tangkapan hujan menuju sungai utama di bagian hilir. Oleh sebab itu, banjir sungai sering disebut sebagai banjir dengan respons lambat.

Genangan yang dihasilkan umumnya luas dan berlangsung dalam waktu yang lebih lama. Air yang meluap dapat bertahan berjam-jam hingga berhari-hari sebelum surut sepenuhnya. Luapan ini mengikuti kontur dataran banjir (floodplain), yaitu wilayah datar di sekitar sungai yang secara alami memang menjadi tempat penyebaran air ketika debit meningkat. Pada kondisi alami, floodplain berfungsi sebagai ruang penyangga yang mengurangi tekanan aliran di sungai.

Namun, ketika wilayah ini telah menjadi permukiman atau lahan budidaya, maka genangan berubah menjadi bencana bagi manusia.

Air banjir sungai cenderung relatif tenang dibandingkan banjir bandang. Kecepatan aliran tidak terlalu tinggi karena air menyebar ke area yang luas. Meski demikian, dampaknya tetap signifikan karena merendam rumah, lahan pertanian, jalan, dan fasilitas umum dalam waktu lama. Endapan lumpur yang tertinggal setelah banjir juga sering menimbulkan kerugian tambahan bagi masyarakat.

Karakter lain yang menonjol adalah keterkaitan kuat antara kejadian banjir di hilir dengan kondisi wilayah hulu. Hujan yang turun di daerah pegunungan atau perbukitan dapat menyebabkan banjir di dataran rendah yang jaraknya cukup jauh dari lokasi hujan tersebut. Hal ini sering membuat masyarakat di hilir tidak menyadari bahwa ancaman banjir sedang terbentuk di bagian hulu.

1.5 Faktor Penyebab di Wilayah DAS

Kondisi DAS sangat menentukan besar kecilnya potensi banjir sungai. Faktor pertama yang berpengaruh adalah perubahan tutupan lahan di bagian hulu. Penebangan hutan dan alih fungsi lahan mengurangi kemampuan tanah menahan air, sehingga aliran menuju sungai menjadi lebih besar. Vegetasi yang seharusnya memperlambat aliran air dan meningkatkan penyerapan telah berkurang, mengakibatkan peningkatan volume air yang masuk ke sungai dalam waktu singkat.

Faktor kedua adalah erosi tanah yang menyebabkan sedimentasi di badan sungai. Material tanah yang terangkut dari lereng akan mengendap di dasar sungai, mengurangi kedalaman dan kapasitas tampungnya. Sungai yang mengalami pendangkalan lebih mudah meluap meskipun peningkatan debit tidak terlalu ekstrem.

Faktor ketiga adalah pemanfaatan dataran banjir yang tidak sesuai dengan fungsinya. Banyak permukiman berkembang di sepanjang bantaran sungai karena wilayah tersebut relatif datar dan mudah diakses. Ketika sungai meluap, wilayah ini menjadi area pertama yang terdampak. Penyempitan alur sungai akibat bangunan di tepi sungai juga memperparah kondisi karena ruang aliran air semakin terbatas. Selain itu, sistem drainase lokal yang terhubung ke sungai turut memengaruhi kecepatan surutnya genangan. Ketika muka air sungai tinggi, air dari saluran drainase tidak dapat masuk ke sungai, sehingga terjadi aliran balik dan memperluas genangan di permukiman.

1.6 Contoh Kasus di Indonesia: Pidie Jaya, Aceh

Banjir Sungai (River Flood) – Contoh Kasus Pidie Jaya Akhir November 2025

Banjir sungai adalah fenomena hidrologi yang terjadi ketika air dalam sungai melampaui kapasitas salurannya dan meluap ke wilayah sekitarnya. Di Kabupaten Pidie Jaya, Aceh, peristiwa ini bukan sekadar teori: di akhir November 2025, wilayah ini menjadi salah satu

pusat bencana akibat banjir sungai dan banjir bandang yang meluas setelah hujan ekstrem selama beberapa hari berturut-turut.

Pada peristiwa tersebut, hujan berkepanjangan dan intensitas tinggi yang melanda Aceh sejak pertengahan November 2025 menyebabkan peningkatan debit air yang sangat tajam di sejumlah sungai besar, termasuk Krueng Meureudu yang melintasi Pidie Jaya. Debit air yang terus meningkat akhirnya melampaui kapasitas sungai yang ada dan meluap ke permukiman warga, lahan pertanian, serta infrastruktur penting. Luapan ini tidak hanya terjadi secara bertahap, namun.

Selain itu, kondisi geomorfologi lokal—kombinasi antara kontur dataran rendah di hilir sungai dan sistem aliran pendek dari hulu—mempercepat kedatangan limpasan air ke sungai utama, menjadikan debit puncak banjir semakin tinggi dalam waktu singkat. Air yang meluap menggenangi rumah, jalan, dan fasilitas publik, serta membawa material sedimen ke area yang jauh dari alur sungai normalnya.

Peristiwa akhir November 2025 ini kemudian dikategorikan sebagai bencana hidrometeorologi berskala besar, tidak hanya bagi Pidie Jaya, tetapi juga provinsi Aceh secara keseluruhan. Pemerintah Provinsi Aceh menyatakan status darurat bencana beberapa hari setelah kejadian untuk mempercepat evakuasi, penanganan darurat, dan mobilisasi bantuan ke wilayah-wilayah yang terdampak.

Banjir sungai yang terjadi di Pidie Jaya ini tidak hanya menyebabkan genangan luas, tetapi dalam beberapa titik juga diikuti oleh kejadian banjir bandang, terutama di area yang dekat dengan anak sungai dan lereng yang curam, sehingga memperburuk dampak secara keseluruhan.

Akar Masalah Risiko Banjir di Pidie Jaya

Dalam perumusan isu strategis pada penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana Kabupaten Pidie Jaya, sejumlah akar masalah telah diidentifikasi yang memperburuk kerentanan wilayah terhadap risiko banjir sungai, khususnya ketika hujan ekstrem seperti pada November 2025 terjadi:

a. Penebangan liar di hulu

Praktik penebangan tanpa kontrol yang ketat telah menyebabkan degradasi lahan di wilayah pegunungan dan hulu DAS. Akibatnya, kemampuan permukaan tanah menyerap air menurun drastis. Pada saat hujan intensitas tinggi, lebih banyak air langsung menuju sungai tanpa sempat diserap, mempercepat laju limpasan dan kenaikan debit sungai.

b. Pembentukan dan penyumbatan saluran akibat sampah

Kebiasaan masyarakat membuang sampah ke sungai, selokan, dan got telah menjadi masalah serius. Sampah yang menumpuk sering menyumbat aliran air di drainage lokal

hingga muara sungai, memperlambat aliran dan memicu meluapnya air saat debit tinggi.

c. Kurangnya lahan resapan air

Di kawasan perkotaan dan pedesaan, berkurangnya lahan resapan akibat konversi tanah menjadi permukiman, bangunan, dan jalan raya membuat sebagian besar air hujan menjadi limpasan permukaan. Hal ini mengurangi fungsi alami tanah sebagai penyimpan air dan meningkatkan tekanan terhadap sungai.

d. Sistem pengendalian banjir yang belum memadai

Infrastruktur pengendalian banjir di Pidie Jaya belum sepenuhnya dirancang atau dibangun sesuai standar yang diperlukan. Saluran drainase, kolam retensi, dan fasilitas pengendali lainnya belum optimal, sehingga pada saat banjir besar, sistem ini gagal meredam lonjakan debit air.

e. Sedimentasi di badan sungai dan kuala

Erosi di wilayah hulu meningkatkan sedimentasi di sepanjang sungai dan di daerah muara (kuala). Akumulasi sedimen ini mengurangi kedalaman sungai sehingga kapasitas tampung air berkurang. Sedimen yang tidak tertangani secara terstruktur membuat luapan lebih mudah terjadi meskipun hujan tidak mencapai level ekstrem seperti sebelumnya.

f. Manajemen Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang belum optimal

RTH seharusnya berperan efektif dalam mitigasi banjir melalui penyerapan dan penahanan air hujan. Namun, di Pidie Jaya, pengelolaan RTH belum memenuhi standar yang diperlukan. Kurangnya area hijau yang memadai memperkecil ruang resapan alami sehingga meningkatkan risiko banjir.

Permasalahan-permasalahan ini tidak hanya menjelaskan mengapa banjir sungai pada November 2025 begitu parah, tetapi juga menegaskan bahwa risiko banjir adalah hasil dari interaksi antara fenomena alam dan kelemahan dalam pengelolaan lingkungan serta tata ruang. Upaya strategis dalam rencana penanggulangan bencana harus mempertimbangkan akar masalah ini untuk mengurangi dampak di masa depan dan membangun ketahanan wilayah terhadap kejadian serupa.

2. Banjir Bandang (*Flash Flood*)

Banjir bandang merupakan salah satu bentuk banjir yang paling berbahaya karena terjadi secara tiba-tiba, bergerak sangat cepat, dan membawa material dalam jumlah besar. Berbeda dengan banjir sungai yang kenaikan muka airnya masih dapat diamati secara bertahap, banjir bandang muncul dalam waktu singkat setelah hujan intensitas tinggi terjadi di wilayah hulu yang memiliki kemiringan lereng curam. Air yang terkumpul tidak hanya mengalir sebagai cairan, tetapi bercampur dengan tanah, batu, kayu, dan sisa vegetasi sehingga membentuk aliran massa yang sangat destruktif.

Fenomena ini umumnya terjadi di daerah perbukitan atau pegunungan yang memiliki jaringan aliran pendek menuju dataran rendah. Ketika hujan deras turun, air dengan cepat mengalir di permukaan lereng tanpa sempat meresap ke dalam tanah. Dalam perjalanannya, aliran ini mengikis lapisan tanah, menyeret material longsor, dan membentuk arus deras yang sulit dihentikan. Karena kecepatannya tinggi, masyarakat di daerah hilir sering kali tidak memiliki cukup waktu untuk menyelamatkan diri.

2.1 Ciri Khas Banjir Bandang

Ciri paling menonjol dari banjir bandang adalah kecepatan alirannya. Air dapat bergerak dengan sangat cepat dari daerah tinggi

ke daerah rendah dalam hitungan menit. Kecepatan ini dipengaruhi oleh kemiringan lereng dan minimnya hambatan di permukaan tanah. Aliran yang cepat menghasilkan energi kinetik besar yang memperkuat daya rusaknya.

Selain kecepatan, material yang terbawa menjadi karakter penting lainnya. Banjir bandang tidak hanya membawa air, tetapi juga lumpur pekat, batu berukuran besar, batang kayu, hingga puing bangunan. Campuran ini menjadikan aliran banjir bandang lebih mirip arus material padat dibandingkan aliran air biasa. Material tersebut menghantam apa pun yang dilaluinya, merusak rumah, jembatan, jalan, dan lahan pertanian.

Ciri berikutnya adalah daya rusak yang sangat tinggi. Struktur bangunan yang biasanya mampu bertahan dari genangan air pada banjir sungai sering kali tidak mampu menahan tekanan banjir bandang. Pondasi dapat tergerus, dinding roboh, dan bangunan tersapu bersih. Kerusakan tidak hanya disebabkan oleh genangan, tetapi oleh hantaman material dan erosi yang terjadi secara bersamaan.

Banjir bandang juga memiliki durasi yang relatif singkat tetapi intens. Setelah aliran utama lewat, air dapat surut dengan cepat, meninggalkan endapan lumpur tebal dan material yang berserakan. Kondisi ini menyulitkan proses pemulihan karena wilayah terdampak tertutup sedimen dan puing.

2.2 Peran Kemiringan Lereng, Deforestasi, dan Longsor

Kemiringan lereng memegang peranan utama dalam pembentukan banjir bandang. Lereng yang curam memungkinkan air bergerak lebih cepat karena gaya gravitasi bekerja lebih kuat. Jalur aliran menjadi lebih pendek dan waktu yang dibutuhkan air untuk mencapai daerah hilir menjadi sangat singkat. Hal ini mempercepat terbentuknya aliran deras dengan volume besar dalam waktu bersamaan.

Deforestasi di wilayah hulu memperburuk kondisi ini. Hilangnya vegetasi berarti hilangnya sistem akar yang selama ini berfungsi menahan tanah dan memperlambat aliran air. Tanah menjadi lebih mudah tererosi dan terbawa aliran. Selain itu, berkurangnya tutupan vegetasi menurunkan kemampuan tanah menyerap air, sehingga hampir seluruh hujan berubah menjadi aliran permukaan.

Longsor sering kali menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari banjir bandang. Ketika hujan deras mengguyur lereng yang telah kehilangan penahan alamnya, tanah menjadi labil dan runtuh. Material longsor ini kemudian ikut terbawa aliran air, menambah volume dan kekuatan banjir bandang. Inilah yang membuat aliran menjadi sangat padat dan destruktif.

Kombinasi antara lereng curam, deforestasi, dan longsor menciptakan kondisi ideal bagi terjadinya banjir bandang. Wilayah

dengan karakteristik ini memiliki tingkat kerentanan yang sangat tinggi, terutama pada musim hujan dengan intensitas ekstrem.

2.3 Studi Kasus Banjir Bandang

Berbagai kejadian banjir bandang di Indonesia menunjukkan pola yang serupa. Salah satu contoh nyata terjadi di wilayah Aceh ketika hujan ekstrem di daerah perbukitan menyebabkan aliran deras turun ke permukiman di bagian hilir. Air bercampur lumpur dan kayu menghantam rumah warga, merusak jembatan, serta menutup jalan dengan sedimen tebal.

Kejadian ini memperlihatkan bagaimana perubahan tutupan lahan di hulu mempercepat proses terbentuknya aliran bandang. Wilayah yang sebelumnya tertutup hutan berubah menjadi lahan terbuka, sehingga tidak lagi mampu menahan air hujan. Dalam waktu singkat setelah hujan, aliran deras sudah mencapai permukiman tanpa peringatan yang memadai.

Dampak yang ditimbulkan tidak hanya kerusakan fisik, tetapi juga trauma bagi masyarakat karena sifat kejadiannya yang mendadak. Banyak korban tidak sempat menyelamatkan harta benda karena aliran datang begitu cepat. Endapan lumpur yang tertinggal setelah kejadian juga menyulitkan aktivitas warga selama sehari-hari.

Studi kasus ini menunjukkan bahwa banjir bandang bukan sekadar akibat hujan deras, melainkan hasil dari interaksi antara

kondisi topografi, kerusakan lingkungan di hulu, dan kestabilan lereng. Tanpa pengelolaan wilayah hulu yang baik, potensi kejadian serupa akan terus berulang di daerah-daerah dengan karakteristik yang sama.

3. Genangan Perkotaan (Urban Flooding / Waterlogging)

Genangan perkotaan merupakan peristiwa tergenangnya jalan, permukiman, dan fasilitas umum akibat air hujan yang tidak dapat dialirkan dengan baik oleh sistem drainase kota. Berbeda dengan banjir sungai yang dipengaruhi oleh luapan air dari badan sungai, genangan perkotaan lebih berkaitan dengan kemampuan kawasan terbangun dalam mengelola air hujan yang jatuh langsung di wilayah tersebut. Fenomena ini sering terjadi bahkan tanpa adanya luapan sungai, terutama di kota-kota yang berkembang pesat dengan dominasi permukaan kedap air.

Pertumbuhan kawasan perkotaan membawa konsekuensi pada perubahan karakter alami permukaan tanah. Lahan yang sebelumnya berupa tanah terbuka, kebun, atau sawah, berubah menjadi permukiman, jalan raya, pertokoan, dan bangunan lainnya. Perubahan ini menghilangkan fungsi alami tanah sebagai media resapan air. Akibatnya, setiap hujan yang turun hampir seluruhnya berubah menjadi aliran permukaan yang harus segera dialirkan melalui saluran drainase.

3.1 Sistem Drainase Kota

Sistem drainase kota merupakan salah satu komponen infrastruktur paling penting dalam pengelolaan air perkotaan.

Keberadaan sistem drainase yang baik menjadi faktor utama dalam menjaga kelancaran aktivitas masyarakat, melindungi kawasan perkotaan dari genangan, serta mendukung keberlanjutan pembangunan kota. Dalam konteks pengelolaan risiko bencana hidrometeorologi, sistem drainase berfungsi sebagai sarana utama untuk mengumpulkan, menyalurkan, mengendalikan, dan membuang kelebihan air dari suatu wilayah sehingga tidak menimbulkan genangan yang mengganggu kehidupan masyarakat.

Perkembangan kota yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir telah menyebabkan peningkatan tekanan terhadap sistem drainase. Pertumbuhan jumlah penduduk, perluasan kawasan terbangun, meningkatnya aktivitas ekonomi, dan berkurangnya ruang terbuka hijau menyebabkan volume limpasan air hujan yang harus ditangani oleh sistem drainase meningkat secara signifikan. Pada saat yang sama, banyak sistem drainase perkotaan dibangun berdasarkan kondisi masa lalu ketika luas wilayah terbangun dan jumlah penduduk masih jauh lebih kecil dibandingkan kondisi saat ini. Akibatnya, banyak kota menghadapi masalah ketidakseimbangan antara kapasitas drainase dan volume air yang harus dialirkan.

Sistem drainase tidak hanya berfungsi sebagai saluran pembuangan air hujan. Dalam konsep pengelolaan kota modern, drainase merupakan bagian dari sistem hidrologi perkotaan yang

terintegrasi dengan tata ruang, konservasi air, pengendalian banjir, perlindungan lingkungan, dan pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai sistem drainase kota menjadi sangat penting dalam upaya mengurangi risiko genangan dan meningkatkan ketahanan perkotaan terhadap perubahan iklim.

Pengertian Sistem Drainase Kota

Secara umum, sistem drainase kota dapat diartikan sebagai suatu jaringan infrastruktur yang dirancang untuk mengelola kelebihan air pada suatu kawasan perkotaan. Sistem ini bertugas mengumpulkan air dari berbagai sumber, terutama air hujan dan limpasan permukaan, kemudian menyalurkannya menuju badan air penerima seperti sungai, danau, waduk, rawa, kanal, atau laut.

Dalam perspektif teknik sipil dan hidrologi, sistem drainase merupakan suatu rangkaian elemen yang saling terhubung dan bekerja sebagai satu kesatuan. Elemen-elemen tersebut meliputi saluran terbuka, saluran tertutup, gorong-gorong, kanal, kolam retensi, pompa air, pintu air, sumur resapan, embung, dan berbagai fasilitas pendukung lainnya.

Tujuan utama sistem drainase adalah menjaga keseimbangan tata air perkotaan sehingga kelebihan air yang muncul akibat hujan

dapat dikelola secara aman tanpa menyebabkan gangguan terhadap aktivitas masyarakat. Sistem drainase yang baik mampu mengurangi risiko genangan, melindungi infrastruktur kota, menjaga kualitas lingkungan, serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan masyarakat.

Dalam konsep modern, sistem drainase tidak lagi dipandang sebagai sarana untuk membuang air secepat mungkin keluar dari kota. Sebaliknya, sistem drainase juga berfungsi untuk mengendalikan aliran air, memperlambat limpasan, meningkatkan infiltrasi, dan mendukung konservasi sumber daya air. Pendekatan ini dikenal sebagai pengelolaan drainase berkelanjutan (*sustainable urban drainage system*)

Fungsi Sistem Drainase Kota

Sistem drainase memiliki berbagai fungsi yang sangat penting bagi kehidupan perkotaan. Fungsi yang paling mendasar adalah mengurangi risiko genangan akibat hujan. Ketika hujan turun, air yang jatuh pada permukaan kota akan segera dialirkan melalui jaringan drainase sehingga tidak terkumpul pada suatu lokasi dalam jumlah yang berlebihan.

Selain berfungsi mengurangi genangan, sistem drainase juga berperan dalam menjaga kondisi infrastruktur perkotaan. Jalan raya, jembatan, bangunan, dan berbagai fasilitas publik lainnya membutuhkan kondisi lingkungan yang relatif kering agar dapat berfungsi dengan baik. Apabila air dibiarkan menggenang dalam waktu lama, berbagai infrastruktur tersebut dapat mengalami kerusakan yang mempercepat penurunan umur layanannya.

Fungsi lain yang tidak kalah penting adalah menjaga kesehatan lingkungan. Air yang menggenang dapat menjadi tempat berkembang biaknya berbagai vektor penyakit seperti nyamuk, bakteri, dan mikroorganisme lainnya. Dengan mengalirkan air secara efektif, sistem drainase membantu mengurangi risiko penyakit yang berhubungan dengan lingkungan.

Sistem drainase juga memiliki fungsi ekologis dalam menjaga keseimbangan siklus hidrologi perkotaan. Melalui berbagai fasilitas seperti sumur resapan, kolam retensi, dan ruang terbuka hijau, sebagian air hujan dapat dikembalikan ke dalam tanah sehingga membantu mengisi kembali cadangan air tanah yang semakin berkurang akibat urbanisasi.

Dalam konteks perubahan iklim, sistem drainase berperan sebagai salah satu instrumen utama adaptasi perkotaan terhadap

meningkatnya frekuensi kejadian hujan ekstrem. Kota yang memiliki sistem drainase yang baik cenderung lebih mampu menghadapi perubahan pola curah hujan dibandingkan kota yang sistem drainasenya kurang memadai.

Komponen Sistem Drainase Kota

Sistem drainase kota terdiri atas berbagai komponen yang saling berhubungan dan bekerja secara terpadu. Salah satu komponen yang paling mudah dikenali adalah saluran drainase. Saluran ini berfungsi sebagai jalur utama untuk mengalirkan air dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

Saluran drainase dapat berbentuk terbuka maupun tertutup. Saluran terbuka biasanya ditemukan di sepanjang jalan, kawasan permukiman, dan area terbuka lainnya. Saluran jenis ini memiliki keunggulan karena mudah dipantau dan dibersihkan. Namun, saluran terbuka sering menghadapi masalah seperti sedimentasi, penyumbatan sampah, dan gangguan estetika lingkungan.

Sementara itu, saluran tertutup biasanya digunakan pada kawasan dengan kepadatan tinggi seperti pusat kota dan kawasan komersial. Saluran ini berada di bawah permukaan tanah dan

dirancang untuk mengalirkan air tanpa mengganggu aktivitas di atasnya.

Selain saluran, sistem drainase juga mencakup gorong-gorong yang berfungsi menghubungkan aliran air melintasi jalan atau hambatan lainnya. Gorong-gorong memainkan peran penting dalam menjaga kontinuitas aliran sehingga air dapat bergerak dengan lancar dari satu bagian sistem ke bagian lainnya.

Komponen lain yang sangat penting adalah kolam retensi. Kolam retensi berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara air hujan ketika volume limpasan melebihi kapasitas saluran. Air yang ditampung kemudian dilepaskan secara bertahap sehingga mengurangi tekanan terhadap sistem drainase.

Pada kota-kota besar yang memiliki elevasi rendah, pompa air sering menjadi bagian penting dari sistem drainase. Pompa digunakan untuk memindahkan air dari kawasan yang tidak dapat mengalir secara gravitasi menuju saluran utama atau badan air penerima.

Pintu air juga menjadi komponen penting terutama pada wilayah yang dipengaruhi oleh pasang surut laut. Pintu air berfungsi mengatur aliran sehingga air dari sungai atau laut tidak masuk kembali ke dalam sistem drainase ketika terjadi pasang tinggi.

3.2 Perubahan Tata Guna Lahan

Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu faktor paling penting yang memengaruhi terjadinya genangan perkotaan dan berbagai bentuk banjir di kawasan urban. Dalam kajian hidrologi perkotaan, perubahan tata guna lahan bahkan sering dianggap sebagai penyebab utama meningkatnya frekuensi dan intensitas genangan di banyak kota modern. Fenomena ini terjadi karena perubahan fungsi lahan secara langsung memengaruhi keseimbangan siklus hidrologi yang sebelumnya terbentuk secara alami.

Pada kondisi alami, suatu wilayah umumnya terdiri atas hutan, semak belukar, lahan pertanian, padang rumput, rawa, dan berbagai bentuk tutupan lahan yang memiliki kemampuan menyerap air hujan. Ketika hujan turun, sebagian besar air akan meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi, sebagian disimpan oleh vegetasi, sebagian mengisi cadangan air tanah, dan hanya sebagian kecil yang mengalir sebagai limpasan permukaan. Kondisi ini memungkinkan air hujan dikelola secara alami oleh lingkungan tanpa menimbulkan genangan yang signifikan.

Namun seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan wilayah perkotaan, berbagai lahan alami tersebut mengalami perubahan fungsi menjadi kawasan terbangun. Hutan berubah menjadi permukiman, sawah berubah menjadi kompleks perumahan, rawa

ditimbun untuk pembangunan pusat perdagangan, dan ruang terbuka hijau beralih fungsi menjadi kawasan industri maupun infrastruktur transportasi. Perubahan ini mengubah karakteristik hidrologi suatu wilayah secara mendasar dan menyebabkan peningkatan volume limpasan permukaan yang sangat signifikan.

Dalam konteks genangan perkotaan, perubahan tata guna lahan tidak hanya meningkatkan jumlah air yang mengalir di permukaan, tetapi juga mengurangi kemampuan lingkungan untuk menyimpan dan mengendalikan air hujan. Akibatnya, ketika hujan turun dengan intensitas tinggi, sistem drainase perkotaan sering kali tidak mampu menampung seluruh limpasan yang terbentuk sehingga muncul genangan pada berbagai lokasi.

Oleh karena itu, perubahan tata guna lahan harus dipahami sebagai salah satu faktor struktural yang berkontribusi terhadap meningkatnya risiko genangan di kawasan perkotaan. Permasalahan ini tidak dapat diselesaikan hanya dengan memperbesar saluran drainase, tetapi memerlukan pendekatan yang lebih menyeluruh melalui pengelolaan ruang yang memperhatikan fungsi hidrologi lingkungan.

Konsep Tata Guna Lahan dalam Perspektif Hidrologi

Dalam ilmu hidrologi, tata guna lahan mengacu pada cara manusia memanfaatkan dan mengelola suatu wilayah untuk berbagai kepentingan seperti permukiman, pertanian, industri, perdagangan, transportasi, konservasi, maupun aktivitas lainnya. Setiap jenis penggunaan lahan memiliki karakteristik yang berbeda dalam memengaruhi pergerakan air di permukaan maupun di dalam tanah.

Lahan yang masih didominasi oleh vegetasi alami umumnya memiliki kemampuan infiltrasi yang tinggi. Air hujan yang jatuh pada kawasan berhutan akan tertahan oleh tajuk pohon, meresap ke dalam tanah melalui sistem perakaran, dan disimpan sementara oleh lapisan serasah yang menutupi permukaan tanah. Akibatnya, jumlah air yang langsung berubah menjadi limpasan permukaan relatif kecil.

Sebaliknya, kawasan terbangun seperti jalan raya, gedung, area parkir, dan kawasan komersial memiliki kemampuan infiltrasi yang sangat rendah. Permukaan yang tertutup beton dan aspal hampir tidak memungkinkan air meresap ke dalam tanah. Seluruh air hujan yang jatuh pada permukaan tersebut langsung mengalir menuju saluran drainase sebagai limpasan permukaan.

Perbedaan karakteristik ini menyebabkan perubahan tata guna lahan memiliki dampak yang sangat besar terhadap keseimbangan hidrologi suatu wilayah. Semakin besar proporsi kawasan terbangun,

semakin besar pula volume limpasan yang dihasilkan ketika hujan terjadi.

Proses Urbanisasi dan Perubahan Tata Guna Lahan

Urbanisasi merupakan salah satu pendorong utama perubahan tata guna lahan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Pertumbuhan jumlah penduduk perkotaan menyebabkan kebutuhan terhadap lahan untuk perumahan, fasilitas publik, pusat perdagangan, kawasan industri, dan infrastruktur terus meningkat dari waktu ke waktu.

Proses urbanisasi umumnya dimulai dengan pembangunan jalan dan infrastruktur dasar yang membuka akses menuju suatu wilayah. Setelah akses terbentuk, kawasan tersebut mulai berkembang menjadi permukiman dan pusat kegiatan ekonomi. Seiring meningkatnya aktivitas pembangunan, lahan-lahan terbuka yang sebelumnya berfungsi sebagai daerah resapan air secara bertahap berubah menjadi kawasan yang didominasi oleh permukaan kedap air.

Perubahan ini sering terjadi dalam skala yang sangat besar dan berlangsung dalam waktu yang relatif singkat. Dalam beberapa kasus, suatu wilayah yang sebelumnya didominasi oleh sawah dan kebun dapat berubah menjadi kawasan perkotaan dalam kurun waktu kurang dari satu dekade. Akibatnya, karakteristik hidrologi wilayah tersebut berubah secara drastis.

Pada tahap awal urbanisasi, dampak terhadap tata air mungkin belum terlalu terlihat. Namun ketika proporsi kawasan terbangun terus meningkat, kemampuan lingkungan dalam mengelola air hujan mulai menurun. Air yang sebelumnya dapat meresap kini berubah menjadi limpasan permukaan yang harus ditangani oleh sistem drainase. Jika pembangunan berlangsung lebih cepat daripada peningkatan kapasitas drainase, maka risiko genangan akan meningkat secara signifikan.

3.3 Permukaan Kedap Air (Aspal dan Beton)

Permukaan kedap air merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap meningkatnya kejadian genangan perkotaan di berbagai kota modern. Dalam kajian hidrologi perkotaan, keberadaan permukaan kedap air sering dianggap sebagai penyebab paling signifikan yang mengubah keseimbangan alami siklus hidrologi. Semakin luas area yang tertutup oleh material kedap air seperti aspal, beton, paving padat, bangunan, dan berbagai infrastruktur perkotaan lainnya, semakin besar pula volume limpasan permukaan yang dihasilkan ketika hujan turun.

Pada kondisi alami, sebagian besar air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi. Tanah, vegetasi, dan berbagai elemen alami lainnya berfungsi sebagai media yang mampu menyerap, menyimpan, dan mengatur pelepasan air secara bertahap. Namun ketika suatu wilayah

berkembang menjadi kawasan perkotaan, permukaan alami tersebut digantikan oleh berbagai struktur buatan yang hampir tidak memiliki kemampuan menyerap air. Akibatnya, air hujan yang sebelumnya dapat meresap ke dalam tanah kini langsung mengalir di atas permukaan dan masuk ke sistem drainase.

Perubahan sederhana ini menghasilkan dampak yang sangat besar terhadap kondisi hidrologi suatu wilayah. Bahkan dalam banyak penelitian, peningkatan luas permukaan kedap air terbukti memiliki hubungan langsung dengan meningkatnya frekuensi genangan, besarnya debit puncak limpasan, dan tingginya risiko banjir perkotaan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai peran permukaan kedap air menjadi sangat penting dalam perencanaan kota yang berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan iklim.

3.4 Kapasitas Saluran vs Intensitas Hujan

Salah satu penyebab utama terjadinya genangan perkotaan adalah ketidakseimbangan antara kapasitas saluran drainase dan intensitas hujan yang terjadi. Dalam sistem drainase perkotaan, saluran dirancang untuk mengalirkan sejumlah volume air tertentu berdasarkan perhitungan teknis yang mempertimbangkan curah hujan, luas daerah tangkapan air, karakteristik tata guna lahan, kemiringan

wilayah, serta periode ulang hujan yang diperkirakan akan terjadi. Namun dalam praktiknya, kondisi aktual sering kali berbeda dari asumsi perencanaan. Ketika intensitas hujan yang terjadi lebih besar daripada kapasitas sistem drainase yang tersedia, maka air tidak dapat dialirkan secara optimal dan akhirnya membentuk genangan di berbagai lokasi.

Permasalahan ini menjadi semakin penting untuk dipahami karena banyak kota di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat cepat, sementara sistem drainase yang ada sebagian besar dibangun berdasarkan kondisi beberapa dekade sebelumnya. Perubahan tata guna lahan, meningkatnya luas permukaan kedap air, pertumbuhan penduduk, serta perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim menyebabkan volume air yang harus ditangani sistem drainase meningkat jauh lebih besar dibandingkan kapasitas awal yang direncanakan.

Dalam konteks hidrologi perkotaan, hubungan antara kapasitas saluran dan intensitas hujan dapat diibaratkan seperti hubungan antara ukuran pipa dan jumlah air yang harus dialirkan. Selama jumlah air yang masuk masih berada di bawah kapasitas saluran, sistem akan berfungsi dengan baik. Namun ketika volume air yang masuk melampaui kapasitas tersebut, maka kelebihan air akan meluap ke permukaan dan menyebabkan genangan. Oleh karena itu, memahami

hubungan antara kapasitas saluran dan intensitas hujan merupakan salah satu aspek fundamental dalam pengelolaan genangan perkotaan.

Pengertian Kapasitas Saluran Drainase

Kapasitas saluran drainase adalah kemampuan suatu saluran untuk menampung dan mengalirkan air dalam jumlah tertentu selama periode waktu tertentu tanpa menyebabkan luapan. Kapasitas ini biasanya dinyatakan dalam satuan debit, yaitu meter kubik per detik (m^3/detik).

Besarnya kapasitas suatu saluran ditentukan oleh berbagai faktor teknis. Faktor pertama adalah ukuran penampang saluran. Saluran yang lebih lebar dan lebih dalam tentu memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan saluran yang sempit dan dangkal. Faktor kedua adalah kemiringan dasar saluran. Semakin besar kemiringan saluran, semakin cepat air dapat mengalir sehingga kapasitas efektifnya meningkat.

Selain itu, kondisi fisik saluran juga sangat memengaruhi kapasitasnya. Saluran yang bersih dan bebas hambatan akan mampu mengalirkan air lebih baik dibandingkan saluran yang mengalami sedimentasi atau penyumbatan oleh sampah. Bahkan saluran yang secara desain memiliki kapasitas besar dapat kehilangan sebagian besar kemampuannya apabila tidak dipelihara dengan baik.

Dalam perencanaan drainase perkotaan, kapasitas saluran biasanya dihitung berdasarkan curah hujan rencana tertentu. Sebagai contoh, suatu saluran mungkin dirancang untuk mampu menampung hujan dengan periode ulang lima tahun atau sepuluh tahun. Artinya, saluran tersebut diperkirakan mampu mengalirkan air yang dihasilkan oleh hujan dengan intensitas tertentu yang secara statistik diperkirakan terjadi sekali dalam lima atau sepuluh tahun.

Masalah muncul ketika hujan yang terjadi memiliki intensitas lebih besar daripada asumsi yang digunakan dalam perencanaan. Dalam kondisi tersebut, kapasitas saluran menjadi tidak mencukupi dan genangan mulai terbentuk.

Pengertian Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan yang turun dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam milimeter per jam (mm/jam). Intensitas hujan berbeda dengan curah hujan total. Curah hujan total menunjukkan jumlah keseluruhan hujan yang turun selama suatu periode, sedangkan intensitas hujan menunjukkan seberapa cepat hujan tersebut turun.

Perbedaan ini sangat penting dalam konteks genangan perkotaan. Sebagai contoh, hujan sebesar 100 milimeter yang turun selama dua puluh empat jam mungkin tidak menimbulkan genangan

karena air masih memiliki waktu untuk mengalir melalui sistem drainase. Namun hujan sebesar 100 milimeter yang turun hanya dalam waktu dua jam dapat menghasilkan limpasan yang sangat besar dan menyebabkan genangan di berbagai lokasi.

Semakin tinggi intensitas hujan, semakin besar volume air yang harus ditangani oleh sistem drainase dalam waktu singkat. Oleh karena itu, intensitas hujan merupakan parameter utama yang digunakan dalam perancangan sistem drainase perkotaan.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak wilayah di Indonesia mengalami peningkatan kejadian hujan dengan intensitas sangat tinggi. Fenomena ini berkaitan dengan perubahan iklim global yang menyebabkan atmosfer mampu menampung lebih banyak uap air. Akibatnya, hujan ekstrem menjadi lebih sering terjadi dan menghasilkan tekanan yang semakin besar terhadap sistem drainase perkotaan.

Hubungan Antara Intensitas Hujan dan Limpasan Permukaan

Ketika hujan turun pada suatu kawasan perkotaan, air akan mengalami berbagai proses hidrologi. Sebagian kecil mungkin meresap ke dalam tanah, terutama pada area yang masih memiliki

ruang terbuka hijau. Namun pada kawasan yang didominasi oleh permukaan kedap air seperti aspal dan beton, sebagian besar air langsung berubah menjadi limpasan permukaan.

Besarnya limpasan yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh intensitas hujan. Pada hujan dengan intensitas rendah, volume limpasan yang terbentuk relatif kecil sehingga saluran drainase masih mampu mengalirkannya dengan baik. Akan tetapi ketika intensitas hujan meningkat, volume limpasan juga meningkat secara signifikan.

Hubungan ini tidak selalu bersifat linier. Pada intensitas tertentu, peningkatan hujan yang relatif kecil dapat menghasilkan peningkatan limpasan yang jauh lebih besar. Hal ini terjadi karena kapasitas infiltrasi tanah telah terlampaui dan hampir seluruh air hujan berubah menjadi aliran permukaan.

Dalam lingkungan perkotaan yang memiliki luas permukaan kedap air tinggi, hampir seluruh tambahan hujan akan langsung meningkatkan volume limpasan. Akibatnya, sistem drainase menerima beban yang sangat besar dalam waktu singkat.

Ketika Intensitas Hujan Melebihi Kapasitas Saluran

Genangan mulai terjadi ketika debit air yang masuk ke saluran lebih besar daripada kapasitas saluran untuk mengalirkannya. Kondisi

ini disebut sebagai *capacity exceedance* atau kondisi ketika kapasitas sistem telah terlampaui.

Pada tahap awal, air di dalam saluran akan mengalami peningkatan tinggi muka air. Selama kapasitas saluran masih tersedia, aliran tetap dapat bergerak menuju titik pembuangan. Namun ketika saluran telah terisi penuh, tambahan air tidak lagi dapat masuk ke dalam sistem.

Akibatnya, air mulai meluap ke permukaan jalan, trotoar, halaman bangunan, dan kawasan sekitarnya. Semakin lama hujan berlangsung, semakin besar volume air yang terakumulasi di permukaan sehingga genangan menjadi semakin dalam.

Fenomena ini sering terlihat pada kota-kota besar ketika terjadi hujan deras dalam waktu singkat. Saluran drainase sebenarnya masih berfungsi, tetapi kapasitasnya tidak cukup untuk mengimbangi jumlah air yang masuk. Dengan kata lain, genangan tidak selalu berarti saluran tersumbat atau rusak. Dalam banyak kasus, genangan terjadi karena volume air yang harus ditangani memang jauh lebih besar daripada kapasitas yang tersedia.

Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Kapasitas Efektif Drainase

Perubahan tata guna lahan memiliki pengaruh besar terhadap hubungan antara kapasitas saluran dan intensitas hujan. Ketika suatu kawasan berkembang menjadi lebih padat, volume limpasan yang dihasilkan meningkat secara signifikan. Masalahnya, kapasitas saluran sering kali tidak mengalami peningkatan yang sebanding. Akibatnya, saluran yang sebelumnya mampu mengatasi hujan tertentu menjadi tidak memadai setelah kawasan di sekitarnya berkembang.

Sebagai ilustrasi, suatu sistem drainase mungkin dirancang ketika sebagian besar wilayah masih berupa sawah atau kebun. Dalam kondisi tersebut, hanya sebagian kecil hujan yang berubah menjadi limpasan. Namun setelah kawasan tersebut berubah menjadi perumahan dan pertokoan, hampir seluruh hujan berubah menjadi limpasan. Akibatnya, beban yang harus ditangani saluran meningkat berkali-kali lipat meskipun ukuran saluran tidak berubah. Kondisi ini menjelaskan mengapa banyak kawasan yang sebelumnya tidak pernah mengalami genangan kini menjadi lokasi yang sering tergenang setelah mengalami perkembangan perkotaan yang pesat.

Pengaruh Sedimentasi dan Sampah terhadap Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran yang dirancang secara teknis sering kali berbeda dengan kapasitas aktual di lapangan. Salah satu penyebab utama perbedaan ini adalah sedimentasi. Sedimentasi terjadi ketika material tanah, pasir, dan lumpur mengendap di dasar saluran. Seiring waktu, endapan tersebut mengurangi luas penampang yang tersedia untuk mengalirkan air. Akibatnya, kapasitas saluran menurun meskipun ukuran fisik saluran tidak berubah.

Sampah juga memberikan dampak yang sangat besar terhadap kapasitas drainase. Sampah yang menumpuk pada saluran, gorong-gorong, atau pintu air dapat menghambat aliran dan menyebabkan penyempitan efektif saluran.

Dalam beberapa kasus, penyumbatan oleh sampah menyebabkan kapasitas saluran berkurang hingga lebih dari setengah kapasitas desainnya. Ketika hujan deras terjadi, saluran yang telah kehilangan kapasitas tersebut tidak mampu lagi mengalirkan air secara optimal sehingga genangan terbentuk dengan cepat.

Oleh karena itu, pemeliharaan rutin merupakan aspek yang sama pentingnya dengan pembangunan infrastruktur baru. Saluran yang besar sekalipun tidak akan berfungsi secara efektif apabila tidak dijaga kebersihan dan kondisinya.

Dampak Perubahan Iklim terhadap Hubungan Kapasitas Saluran dan Intensitas Hujan

Perubahan iklim global telah menciptakan tantangan baru dalam pengelolaan drainase perkotaan. Banyak sistem drainase yang dirancang berdasarkan data curah hujan masa lalu kini menghadapi kondisi yang jauh berbeda.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kejadian hujan ekstrem semakin sering terjadi di banyak wilayah. Intensitas hujan yang dahulu dianggap langka kini muncul lebih sering dan menghasilkan volume limpasan yang lebih besar.

Kondisi ini menyebabkan banyak sistem drainase menjadi kurang memadai meskipun sebelumnya berfungsi dengan baik. Saluran yang dirancang untuk hujan dengan periode ulang tertentu kini harus menghadapi hujan yang lebih intens daripada asumsi awal perencanaan. Akibatnya, kejadian genangan semakin sering terjadi bahkan pada kawasan yang sebelumnya relatif aman dari masalah drainase.

Pentingnya Menyeimbangkan Kapasitas Saluran dan Intensitas Hujan

Dalam pengelolaan genangan perkotaan, keseimbangan antara kapasitas saluran dan intensitas hujan merupakan prinsip yang sangat penting. Kota yang memiliki sistem drainase yang baik bukan hanya kota yang memiliki saluran besar, tetapi juga kota yang mampu mengendalikan jumlah limpasan yang masuk ke dalam sistem tersebut.

Pendekatan modern menekankan bahwa solusi tidak hanya berupa memperbesar saluran drainase. Strategi yang lebih efektif adalah mengurangi volume limpasan melalui pembangunan sumur resapan, kolam retensi, taman hujan, ruang terbuka hijau, perkerasan berpori, dan berbagai bentuk infrastruktur hijau lainnya.

Dengan cara tersebut, sebagian air hujan dapat ditahan, disimpan, atau diserap sebelum masuk ke saluran drainase. Akibatnya, beban yang harus ditanggung sistem menjadi lebih kecil dan risiko genangan dapat dikurangi secara signifikan.

Oleh karena itu, hubungan antara kapasitas saluran dan intensitas hujan harus dipahami sebagai hubungan yang dinamis. Kapasitas drainase perlu ditingkatkan seiring perkembangan kota, sementara volume limpasan harus dikendalikan melalui pengelolaan

tata guna lahan yang berkelanjutan. Hanya dengan pendekatan yang terintegrasi tersebut kota dapat menjadi lebih tangguh dalam menghadapi ancaman genangan yang semakin meningkat akibat urbanisasi dan perubahan iklim.

KESIMPULAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia dan memiliki dampak yang sangat luas terhadap kehidupan masyarakat, lingkungan, serta pembangunan. Berdasarkan karakteristik dan mekanisme terjadinya, banjir dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis utama, yaitu banjir sungai (*river flood*), banjir bandang (*flash flood*), dan genangan perkotaan (*urban flooding* atau *waterlogging*). Meskipun ketiga jenis banjir tersebut sama-sama disebabkan oleh kelebihan air yang tidak dapat ditampung atau dialirkan dengan baik oleh lingkungan, masing-masing memiliki karakteristik, faktor penyebab, dan dampak yang berbeda.

Banjir sungai merupakan jenis banjir yang terjadi ketika debit air sungai melebihi kapasitas tampung alur sungai sehingga air meluap ke wilayah sekitarnya. Proses terjadinya banjir sungai berkaitan erat dengan siklus hidrologi, khususnya ketika curah hujan yang tinggi menghasilkan limpasan permukaan dalam jumlah besar yang kemudian mengalir menuju sungai. Faktor-faktor seperti kerusakan hutan di daerah hulu, perubahan tata guna lahan, sedimentasi sungai, pendangkalan alur sungai, serta pemanfaatan dataran banjir yang tidak sesuai semakin meningkatkan risiko terjadinya banjir sungai. Studi

kasus di Kabupaten Pidie Jaya, Aceh, menunjukkan bahwa banjir sungai tidak hanya dipicu oleh hujan ekstrem, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi DAS yang telah mengalami tekanan lingkungan sehingga kemampuan alami wilayah dalam mengendalikan aliran air menjadi berkurang.

Banjir bandang merupakan bentuk banjir yang memiliki tingkat bahaya dan daya rusak yang jauh lebih tinggi dibandingkan banjir sungai biasa. Banjir ini ditandai dengan kecepatan aliran yang sangat tinggi, terjadi secara tiba-tiba, serta membawa material seperti lumpur, batu, kayu, dan material longsor dalam jumlah besar. Faktor utama yang berperan dalam pembentukan banjir bandang adalah kemiringan lereng yang curam, kerusakan hutan atau deforestasi, serta longsor yang menambah volume material dalam aliran air. Ketiga faktor tersebut saling berinteraksi sehingga menghasilkan aliran yang sangat destruktif. Berbagai kasus banjir bandang di Aceh seperti di Tangse, Pidie, Aceh Tengah, Bener Meriah, dan Aceh Tenggara menunjukkan bahwa kerusakan lingkungan di kawasan hulu memiliki kontribusi yang sangat besar terhadap meningkatnya risiko bencana. Oleh karena itu, upaya mitigasi banjir bandang harus dilakukan melalui konservasi hutan, rehabilitasi lahan kritis, pengelolaan DAS secara berkelanjutan, serta penguatan sistem peringatan dini dan kesiapsiagaan masyarakat.

Sementara itu, genangan perkotaan merupakan fenomena yang semakin sering terjadi seiring dengan perkembangan kota dan meningkatnya urbanisasi. Genangan perkotaan terjadi ketika air hujan yang jatuh di kawasan perkotaan tidak dapat dialirkan dengan baik oleh sistem drainase sehingga menggenangi berbagai area seperti jalan, permukiman, pusat perdagangan, dan fasilitas umum. Penyebab utama genangan perkotaan adalah perubahan tata guna lahan yang mengurangi daerah resapan air, meningkatnya luas permukaan kedap air seperti aspal dan beton, kapasitas saluran drainase yang tidak memadai, sedimentasi dan penyumbatan saluran, serta meningkatnya intensitas hujan akibat perubahan iklim.

Perubahan tata guna lahan terbukti memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap peningkatan limpasan permukaan. Ketika lahan alami seperti hutan, sawah, kebun, dan ruang terbuka hijau berubah menjadi kawasan terbangun, kemampuan lingkungan untuk menyerap air hujan menurun drastis. Akibatnya, sebagian besar air hujan langsung berubah menjadi limpasan yang harus ditangani oleh sistem drainase. Kondisi ini semakin diperparah oleh dominasi permukaan kedap air berupa aspal dan beton yang hampir tidak memiliki kemampuan infiltrasi. Semakin luas permukaan kedap air dalam suatu kawasan perkotaan, semakin besar volume limpasan yang dihasilkan saat hujan turun.

Selain faktor tata guna lahan dan permukaan kedap air, kapasitas sistem drainase juga memegang peranan penting dalam menentukan apakah suatu wilayah akan mengalami genangan atau tidak. Sistem drainase dirancang berdasarkan asumsi tertentu mengenai curah hujan dan kondisi wilayah pada saat perencanaan dilakukan. Namun perkembangan kota yang sangat cepat sering kali menyebabkan kapasitas saluran tidak lagi sesuai dengan kondisi aktual. Ketika intensitas hujan yang terjadi melebihi kapasitas saluran, air tidak dapat dialirkan secara optimal sehingga terjadi genangan. Kondisi ini semakin diperburuk oleh sedimentasi, sampah, dan kurangnya pemeliharaan infrastruktur drainase yang menyebabkan kapasitas efektif saluran terus menurun dari waktu ke waktu.

Secara keseluruhan, seluruh pembahasan menunjukkan bahwa banjir bukan semata-mata merupakan akibat dari curah hujan yang tinggi. Hujan memang berperan sebagai pemicu utama, tetapi tingkat risiko dan besarnya dampak yang ditimbulkan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, tata guna lahan, kapasitas infrastruktur, dan aktivitas manusia. Kerusakan hutan, alih fungsi lahan, pembangunan yang tidak memperhatikan daya dukung lingkungan, serta lemahnya pengelolaan daerah aliran sungai dan sistem drainase menjadi faktor yang memperbesar kerentanan wilayah terhadap berbagai jenis banjir.

Oleh karena itu, upaya pengurangan risiko banjir harus dilakukan melalui pendekatan yang terintegrasi dan berkelanjutan. Pengelolaan daerah aliran sungai perlu dilakukan dari hulu hingga hilir dengan memperhatikan konservasi hutan, pengendalian erosi, rehabilitasi lahan kritis, dan perlindungan kawasan resapan air. Di kawasan perkotaan, pembangunan harus diarahkan pada pengelolaan tata ruang yang memperhatikan fungsi hidrologi lingkungan, peningkatan kapasitas sistem drainase, pembangunan infrastruktur hijau, serta pengurangan luas permukaan kedap air. Selain itu, peningkatan kesadaran masyarakat, penguatan sistem peringatan dini, dan penegakan regulasi lingkungan juga menjadi komponen penting dalam membangun ketahanan terhadap bencana banjir.

Dengan memahami berbagai jenis banjir, karakteristiknya, faktor-faktor penyebabnya, serta hubungan antara aktivitas manusia dan proses hidrologi, diharapkan upaya mitigasi dan pengelolaan risiko bencana dapat dilakukan secara lebih efektif. Pendekatan yang menyeluruh dan berbasis keberlanjutan akan menjadi kunci utama dalam mengurangi kerugian akibat banjir sekaligus menciptakan lingkungan yang lebih aman, tangguh, dan berkelanjutan bagi generasi saat ini maupun generasi yang akan datang.



Diterbitkan Oleh

NATURAL ACEH

Lembaga Riset, Pelatihan dan Publikasi Publik

Jl. Tgk Adee II No.8, Ulee Kareng, Banda Aceh

email: book@naturalaceh.org