

Tinjauan Teknis Permasalahan dan Penanggulangan Banjir di Sungai Krueng Teunom Hilir Provinsi Aceh Menuju Mitigasi Bencana Banjir Terintegrasi

Ella Meilianda

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
Tsunami and Disaster Mitigation Research Center (TDMRC) Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
PUI-PT Mitigasi Bencana Tsunami. E-mail: ella_meilianda@unsyiah.ac.id

Dedy Alfian, Nazriatun Nisa, Annisa Sri Sugiarti, Taslia Khaira,
Fitri Z. Nurnalisa, Veriyanti, Saumi Syahreza.

Tsunami and Disaster Mitigation Research Center (TDMRC) Universitas Syiah Kuala Banda Aceh
PUI-PT Mitigasi Bencana Tsunami

Abstrak

Peristiwa banjir yang dialami oleh masyarakat di hilir sungai Krueng Teunom di Kabupaten Aceh Jaya dapat mewakili kasus-kasus bencana banjir yang sering terjadi di kawasan pesisir barat Provinsi Aceh. Dalam kurun waktu 2012 – 2019 terdapat 28 kali kejadian banjir, akibat luapan sungai Krueng Teunom yang melintasi Kecamatan Keude Teunom. Tinjauan teknis terhadap faktor-faktor penyebab banjir di Kawasan Teunom sejauh ini belum dilakukan secara komprehensif dan terintegrasi, sehingga upaya yang dilakukan untuk memitigasi bencana banjir menjadi kurang efektif. Untuk itu, penelitian ini mempunyai dua tujuan, yaitu: 1) meninjau secara teknis faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya banjir; 2) memberikan rekomendasi terhadap sasaran pengendalian debit sungai Krueng Teunom sebagai upaya untuk mitigasi bencana banjir. Selain melakukan analisis permasalahan banjir secara empiris melalui FGD dengan pemangku kebijakan dan kepentingan, juga dilakukan tinjauan teknis menggunakan analisis spasial berbasis GIS. Penyebab utama banjir di hilir DAS Krueng Teunom adalah penurunan kapasitas sungai (pendangkalan) baik di badan sungai ataupun di muara sungai akibat sedimentasi yang cukup tinggi. Penyebab banjir lainnya adalah besarnya laju angkutan sedimen dari arah laut yang menutup muara sungai. Upaya mitigasi yang disarankan adalah merehabilitasi tanggul-tanggul kritis, mengendalikan dan mengurangi sedimen dari laut untuk mengurangi pendangkalan muara sungai.

Kata-kata Kunci: Mitigasi banjir, curah hujan, GIS, FGD, tutupan lahan

Abstract

Flood events experienced by the community downstream of the Krueng Teunom river in Aceh Jaya District represent cases of flood disasters that often occur in the western coast of Aceh Province. During the period of 2012 - 2019 there were 28 flood events, due to the overflowing of the Krueng Teunom river that crossed Keude Teunom Sub District. So far, the technical review of the factors causing floods in the Teunom area has not been carried out in a comprehensive and integrated manner, so that the efforts made to mitigate flood disasters have become less effective. For this reason, the objectives of the study are twofolds: 1) technical review the factors causing floods; 2) provide recommendations on the Krueng Teunom river discharge control target as a mitigation effort. In addition to analyze the flood problems empirically through FGDs with policy makers and stakeholders, a technical review was conducted using GIS-based spatial analysis. The main cause of flooding in the downstream of the Krueng Teunom is a decrease in river capacity (silting) due to high sedimentation. Another cause of flooding is the large rate of sediment transport from the sea that closes the river mouth. The recommended mitigation measures are rehabilitating critical dykes, controlling and reducing sediment from the sea to reduce silting of river mouths.

Keywords: Floods mitigation, rainfall, GIS, FGD, land cover

1. Pendahuluan

Fenomena banjir secara alami dapat bertransformasi menjadi suatu peristiwa bencana, apabila oleh karenanya menimbulkan kesulitan hidup, kehilangan jiwa dan harta benda yang tidak mampu ditanggung oleh manusia yang terdampak olehnya. Fenomena banjir di Indonesia menempati urutan tertinggi dalam

jenis-jenis bencana yang paling banyak terjadi secara nasional. Berdasarkan data termutakhir yang dirilis oleh Badan Penanggulangan Bencana Nasional (BNPB, 2020), sejak tahun 1815 sampai 2015 telah terjadi setidaknya 18.518 kejadian bencana di Indonesia, dimana 31,68% di antaranya merupakan peristiwa banjir. Di level provinsi, 66% dari total kejadian bencana di Provinsi Aceh merupakan bencana

banjir, dimana dalam kurun waktu tahun 1970 – 2019 tercatat kejadian bencana banjir sebanyak 559 kali.

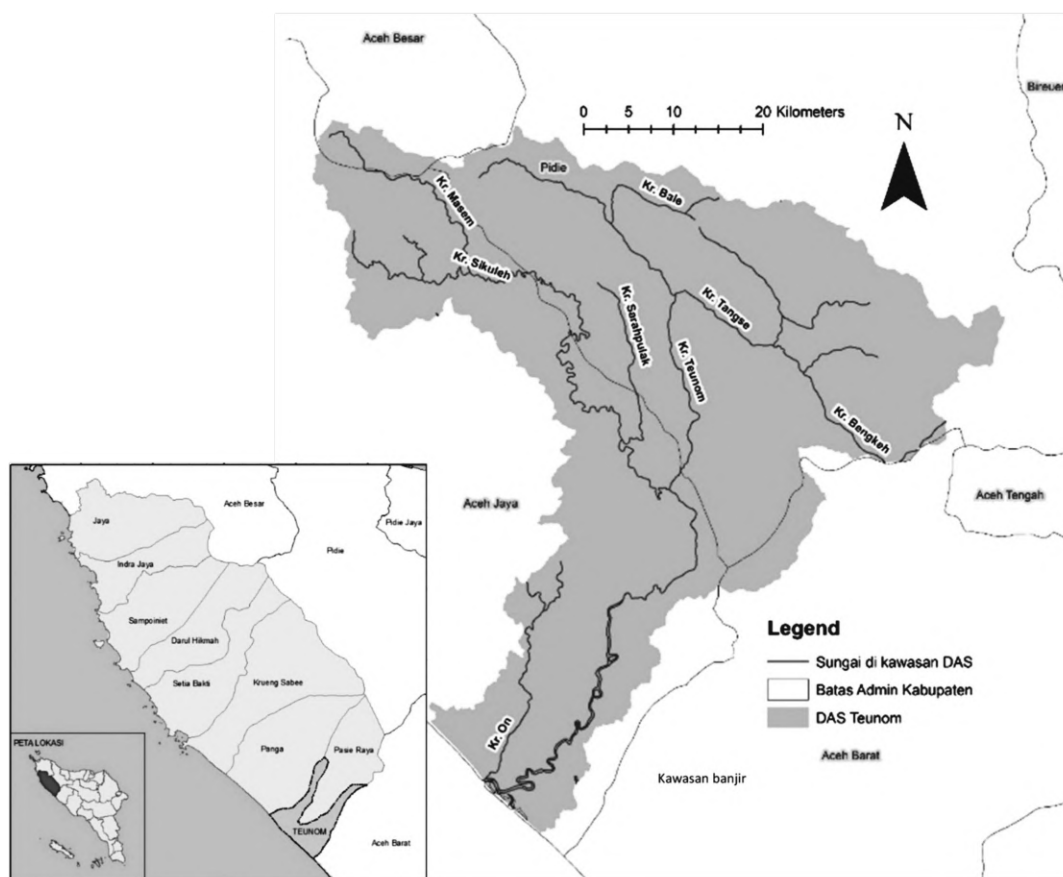
Peristiwa banjir yang dialami oleh masyarakat di kawasan Teunom yang menempati bagian hilir dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Teunom, Provinsi Aceh (**Gambar 1**), dapat mewakili kasus-kasus bencana banjir yang sering terjadi di kawasan pesisir barat Provinsi Aceh. Secara umum, kajian-kajian ilmiah terdahulu terhadap fenomena banjir senantiasa mengungkapkan bahwa rendahnya daya dukung DAS sebagai suatu ekosistem merupakan salah satu penyebab utama terjadinya bencana alam yang terkait dengan air (water-related disaster), utamanya dalam hal ini bencana banjir. Di lain pihak, kerusakan DAS dapat dipercepat oleh terjadinya peningkatan pemanfaatan sumberdaya alam sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi, konflik kepentingan dan kurangnya keterpaduan antar sektor, antar wilayah hulu-tengah-hilir.

Berdasarkan penelusuran awal terhadap fenomena banjir dan upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah daerah Kabupaten Aceh Jaya sampai sejauh ini, tinjauan teknis terhadap faktor-faktor penyebab sering terjadinya peristiwa banjir di Kawasan Teunom belum dilakukan secara komprehensif. Di samping itu, upaya penanggulangan banjir di bagian hilir DAS Krueng Teunom belum dilakukan secara sistematis dan terintegrasi, sehingga upaya yang dilakukan untuk memitigasi bencana banjir menjadi kurang efektif.

Untuk itu, penelitian ini mempunyai dua tujuan utama, yaitu: pertama, meninjau secara teknis faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya banjir di kawasan hilir DAS Krueng Teunom; kedua: memberikan rekomendasi terhadap sasaran pengendalian debit sungai Krueng Teunom sebagai upaya untuk mitigasi bencana banjir.

Teunom adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Aceh Jaya, Provinsi Aceh. Wilayah Teunom terletak di pesisir Barat Provinsi Aceh yang berjarak sekitar 189 km dari ibukota provinsi, Banda Aceh. Di antara 38 desa yang dikelompokkan menjadi 4 Mukim, 60% dari wilayah Kecamatan Teunom terletak di kawasan pesisir, dengan konsentrasi kepadatan penduduk terletak di wilayah desa Keude Teunom yang merupakan bagian hilir dari DAS Krueng Teunom (**Gambar 1**).

Jumlah penduduk Kecamatan Teunom adalah 13.222 jiwa dan terkonsentrasi pada desa Keude Teunom yang merupakan pusat administrasi kecamatan. Wilayah pesisir tersebut dilintasi oleh sungai Krueng Teunom dan Krueng On. Dengan tipikal kawasan pesisir yang hangat dan lembab, curah hujan berkisar antara 2000-4000 mm dan jumlah hari hujan berkisar antara 120-170 hari per tahun, wilayah Teunom sering mengalami peristiwa banjir pada saat curah hujan tinggi dengan durasi yang lama (**Gambar 1**). Berdasarkan catatan kejadian banjir dari sumber berita dari berbagai media yang dihimpun dalam penelitian ini, dalam kurun



Gambar 1. Peta situasi DAS Krueng Teunom Kecamatan Teunom Kabupaten Aceh Jaya, Provinsi Aceh

waktu tahun 2012 – 2019 terdapat 28 (dua puluh delapan) kejadian banjir. dengan genangan rata-rata mencapai 50 - 200 cm.

2. Data

Terdapat data utama dan data pendukung yang dibutuhkan dalam analisis spasial dengan menggunakan GIS. Data utama terdiri dari data tutupan lahan dan batas DAS Krueng Teunom, data DEMNAS/SRTM dari Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat dan Pidie yang merupakan wilayah administrasi yang berbatasan dengan DAS Krueng Teunom. Di samping itu dibutuhkan juga data batas administrasi Kabupaten Aceh Jaya dan data jenis tanah Kabupaten Aceh Jaya. Seluruh data yang disebutkan di atas adalah data vektor dalam format poligon, kecuali data DEMNAS/SRTM yang berbentuk raster. Data yang dibutuhkan selengkapnya disajikan pada **Tabel 1**.

Terdapat dua komponen analisis yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu: pertama, komponen analisis empiris melalui *Focus Group Discussion* (FGD) terhadap upaya penanggulangan banjir yang telah dilakukan oleh pemangku kebijakan dan kepentingan di wilayah penelitian; kedua, tinjauan teknis dengan melakukan analisis spasial berbasis *Geographical Information System* (GIS) dan memanfaatkan data *Remote Sensing* (RS). Dari kedua komponen tersebut kemudian dapat dianalisa keterkaitan antara kondisi daya dukung DAS Teunom dengan pengambilan keputusan dan kebijakan penanganan banjir yang telah dilakukan, untuk kemudian sasaran penanganan yang bersifat mitigatif atau mengurangi risiko bencana dapat disarankan.

3. Metode

3.1 Analisis empiris

Pada bagian awal dimulainya kegiatan penelitian ini terlebih dahulu dirancang sebuah FGD dengan mengundang perwakilan dari Satuan Kerja Pemerintah Daerah (SKPD) dan dinas-dinas terkait, perwakilan mediamassa, perwakilan Lembaga Swadaya Masyarakat lokal, dan perwakilan masyarakat terdampak, untuk mengidentifikasi permasalahan banjir secara historis dan upaya yang telah dilakukan. Identifikasi isu pokok dan permasalahan yang digali dari FGD ini antara lain terkait dengan kondisi dan penyebab adanya lahan kritis di wilayah DAS Krueng Teunom, kondisi habitat dan perlindungan keanekaragaman hayati, sumber, laju dan dampak dari sedimentasi di badan sungai, kualitas air, masalah penggunaan air tanah dan air permukaan, daerah rawan bencana (banjir, longsor dan kekeringan), masalah

sosial-ekonomi dan kelembagaan, masalah tata ruang dan penggunaan lahan, permasalahan antara hulu dan hilir, serta konflik pemanfaatan sumberdaya alam.

3.2 Analisis spasial dan parameterisasi faktor-faktor pengaruh

Untuk kebutuhan input data menggunakan metode analisis spasial, maka dilakukan survey pengambilan data secara terpadu (*integrated survey*) yang meliputi kegiatan wawancara yang bersifat deskriptif sambil memanfaatkan teknologi geospasial berbasis GIS dan RS untuk mendapatkan data di lapangan. Survey pengambilan data primer meliputi survey kondisi aliran dengan melakukan pengukuran parameter hidrometri pada aliran sungai, observasi dampak dan bekas genangan banjir, dan wawancara kepada masyarakat.

Di samping itu data sekunder juga digunakan, yang bersumber dari instansi terkait, laporan kegiatan penanganan banjir, dan hasil-hasil kajian akademis, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Data-data sekunder tersebut tersaji baik dalam bentuk tabular yang mempunyai referensi geografis, maupun dalam bentuk peta-peta vektor tematik yang diperoleh dari berbagai sumber sesuai dengan kebutuhan analisa. Tujuan akhir dari analisis geospasial ini adalah untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang kondisi dan karakteristik DAS Krueng Teunom. Kondisi dan daya dukung DAS Krueng Teunom dideskripsikan melalui beberapa analisis mendalam yaitu analisis kondisi klimatologis dan meteorologis, curah hujan, perubahan tutupan lahan, hidrologi, erosi lahan, kondisi morfologi dan aliran sungai, dan analisis sedimen dan sedimentasi. Untuk dapat melakukan analisis hidrologi dan erosi lahan diperlukan perhitungan secara teoritis dengan memperhitungkan berbagai parameter dan pengujian statistika.

3.3 Analisis hidrologi

Langkah-langkah analisis hidrologi dimulai dengan analisis hujan rancangan menggunakan tiga metode analisis distribusi frekuensi dan sebaran curah hujan areal. Tujuan akhirnya yaitu untuk mendapatkan besaran hujan rancangan untuk menentukan debit banjir rencana berdasarkan patokan periode ulang tertentu seperti periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahunan. **Gambar 3** memperlihatkan skematisasi tahapan analisis hujan rancangan secara teoritis.

Untuk mencapai tujuan ini, maka konsistensi data curah hujan perlu diuji kesesuaian pola distribusinya sehingga probabilitas curah hujan maksimum dapat

Tabel 1. Data yang disajikan dalam bentuk peta digital vektor dan raster untuk analisa spasial DAS Krueng Teunom

No.	Data	Wilayah	Sumber	Jenis Data
1	Penutupan Lahan	DAS Krueng Teunom	BPKH	Vektor
2	Batas DAS	DAS Krueng Teunom	BPDAS	Vektor
3	DEMNAS/SRTM	Kabupaten Aceh Jaya, Aceh Barat dan Pidie	BIG	Raster
4	Tutupan Lahan	Kabupaten Aceh Jaya	BAPPEDA	Vektor
5	Batas Administrasi	Kabupaten Aceh Jaya	BAPPEDA	Vektor
6	Jenis Tanah	Kabupaten Aceh Jaya	BAPPEDA	Vektor

direncanakan. Dalam hal ini curah hujan rancangan dihitung dengan tiga jenis sebaran yaitu berdasarkan analisis frekuensi log normal, analisis frekuensi E.J. Gumbel, dan analisis penyebaran Log Pearson Tipe III (Triatmodjo, 2010; Chow *et al.*, 1988). Untuk mengetahui kebenaran hipotesis sebaran frekuensi yang dihasilkan, maka kemudian dilakukan pemeriksaan uji kesesuaian sebaran atau distribusi, dalam hal ini dipakai dua metode uji, yaitu uji Smirnov Kolmogorov dan uji Chi-Square (Triatmodjo, 2010; Chow *et al.*, 1988). Setelah mendapatkan besaran periode curah hujan dengan berbagai periode ulang, maka dapatlah ditentukan debit banjir rancangan. Metode yang digunakan yaitu metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun (Triatmodjo, 2010; Chow *et al.*, 1988).

Langkah selanjutnya adalah menentukan volume limpasan yang terjadi pada DAS Krueng Teunom terhadap debit banjir rancangan dengan berbagai periode ulang di atas. Suripin (2004) menyebutkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan adalah faktor meteorologis yang terdiri dari intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi curah hujan. Tahapan krusial setelah perhitungan secara teoritis untuk parameter-parameter hidrologis dan meteorologis tersebut adalah perhitungan faktor karakteristik DAS yang terdiri dari luas dan bentuk DAS, topografi, dan jenis tutupan lahan. Dalam hal ini analisis spasial dengan GIS dilakukan dengan memanfaatkan data DEMNAS/SRTM untuk penentuan batas wilayah DAS, topografi dan jaringan sungai. Kemudian dilakukan juga analisis perubahan tutupan lahan pada waktu yang berbeda dengan memanfaatkan data sekunder berupa peta vektor poligon tutupan lahan DAS Krueng Teunom tahun 2000 dan 2017 (lihat **Tabel 1**). Berdasarkan analisis yang mengintegrasikan metode perhitungan teoritis dan analisis spasial tersebut, maka dihasilkan peta tematik perubahan penggunaan lahan dapat diidentifikasi dari perubahan nilai koefisien limpasan (CN) suatu DAS.

3.4 Analisis erosi lahan

Erosi tanah pada wilayah DAS merupakan salah satu sumber utama yang dapat memicu angkutan sedimen

permukaan wilayah DAS. Hal ini berkontribusi kepada ketersediaan sedimen yang terbawa oleh debit aliran sungai dari hulu hingga ke hilir sungai. Secara alamiah, faktor-faktor penyebab terjadinya erosi lahan adalah karakteristik dan erodibilitas tanah serta iklim setempat. Namun demikian, akibat meningkatnya aktivitas manusia yang memanfaatkan dan mengubah fungsi lahan di suatu wilayah DAS, maka laju erosi lahan juga akan mengalami peningkatan, terutama jika tidak dibarengi dengan upaya konservasi lahan dan air (Kodoatie, 2008; Asdak, 2007).

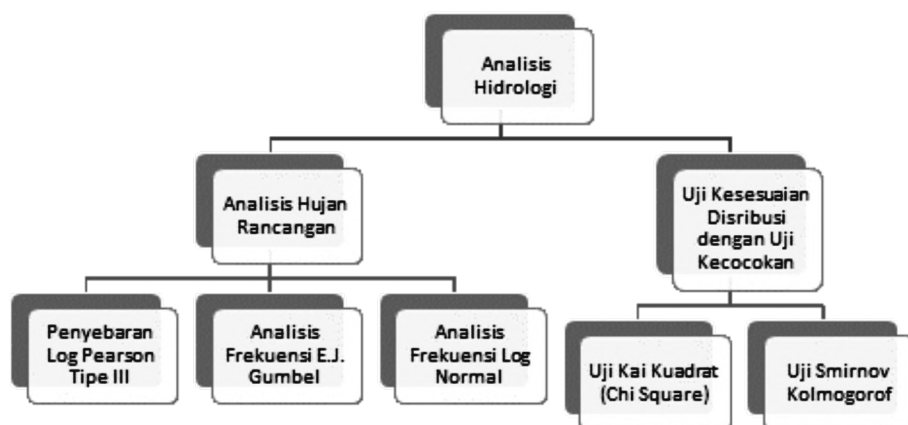
Secara teknis, perkiraan laju erosi lahan dapat dilakukan dengan Pendekatan Universal Soil Loss Equation (USLE). Metode USLE merupakan metode yang umum digunakan untuk memprediksi laju erosi (Schwab *et al.*, 1981). Selain sederhana, metode ini juga sangat baik diterapkan di daerah-daerah yang faktor utama penyebab erosinya adalah hujan dan aliran permukaan. USLE digunakan untuk memprediksi kehilangan tanah yang dihasilkan oleh erosi dan diendapkan pada segmen lereng bukan pada hulu DAS. Selain itu juga didesain untuk memprediksi rata-rata jumlah erosi dalam waktu yang panjang (Risse *et al.*, 1993).

Rumus yang digunakan untuk mengetahui banyaknya tanah tererosi yaitu (Asdak, 2007):

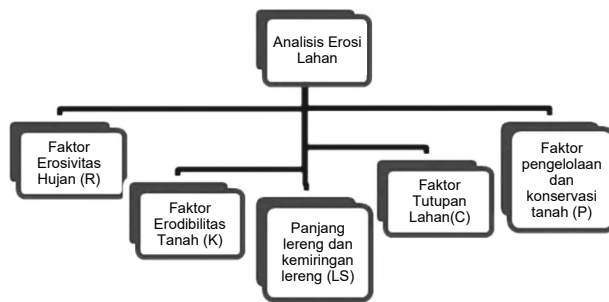
$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Dimana, A merupakan banyaknya tanah yang tererosi (ton/ha/tahun), R adalah faktor erosivitas atau daya rusak hujan dalam setahun, K adalah faktor erodibilitas tanah, LS adalah faktor panjang dan kemiringan lereng, C adalah koefisien tipe vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman, dan P adalah faktor tindakan-tindakan khusus konservasi tanah (**Gambar 4**).

Nilai R dapat dihitung berdasarkan persamaan Wischmeier yang dipengaruhi oleh persamaan empiris erosivitas hujan rata-rata tahunan tipikal di wilayah Indonesia. Parameter penentu dari erosivitas hujan tersebut terdiri dari curah hujan rata-rata harian per tahun yang diperoleh dari analisis klimatologi dan hidrometeorologi; dan curah hujan maksimum rata-rata



Gambar 3. Skematisasi analisis hidrologi untuk menghasilkan hujan rancangan yang diperlukan untuk penentuan curah hujan pada DAS dengan berbagai periode ulang



Gambar 4. Skematisasi penentuan parameter-parameter erosi lahan

dalam 24 jam per bulan untuk kurun waktu satu tahun (Renard *et al.*, 1997).

Selanjutnya faktor erodibilitas tanah (K) ditentukan dengan menggunakan tabel koefisien K untuk beberapa jenis tanah di Indonesia (Sutapa, 2010). Faktor indeks topografi yang diwakili oleh panjang (L) dan kemiringan (S) lahan terhadap besarnya erosi diintegrasikan menjadi faktor LS di dalam persamaan USLE (persamaan (1); Schwab *et al.*, 1981), dan diperoleh nilainya dari analisis spasial topografi wilayah DAS menggunakan perangkat lunak GIS.

Perubahan tata guna lahan merupakan penyebab utama erosi bila di dibandingkan dengan faktor lain. Faktor penutupan lahan vegetasi cukup signifikan dalam pengurangan atau peningkatan aliran permukaan. Resapan air yang masuk ke dalam tanah relatif tetap kecuali lahannya berubah (Kodoatie dan Sjarief, 2010). Untuk menentukan besarnya pengaruh tutupan lahan ini, Asdak (2007) secara empiris telah mengklasifikasi nilai koefisien dari jenis-jenis tutupan lahan (C) berdasarkan pengaruh vegetasi, kondisi permukaan tanah dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang atau tererosi.

Terakhir, faktor yang mempengaruhi banyaknya tanah yang tererosi adalah pengelolaan dan konservasi tanah (P). Nilai P adalah nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat tindakan khusus konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah (Asdak, 2007).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Tinjauan sumber-sumber permasalahan pada DAS Krueng Teunom

Peninjauan permasalahan banjir dalam penelitian ini difokuskan kepada identifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya banjir agar strategi penyelesaian permasalahan banjir tersebut menjadi tepat sasaran. Berdasarkan hasil analisis spasial dan hidrologi sebagaimana diuraikan pada bab sebelumnya, penyebab utama sering terjadinya peristiwa banjir pada Kawasan Teunom adalah tingginya curah hujan dan laju sedimentasi pada dasar sungai, terutama pada wilayah DAS, sehingga terjadi luapan dari sungai Krueng Teunom dan Krueng On yang berada pada wilayah hilir dari DAS Krueng Teunom (**Gambar**

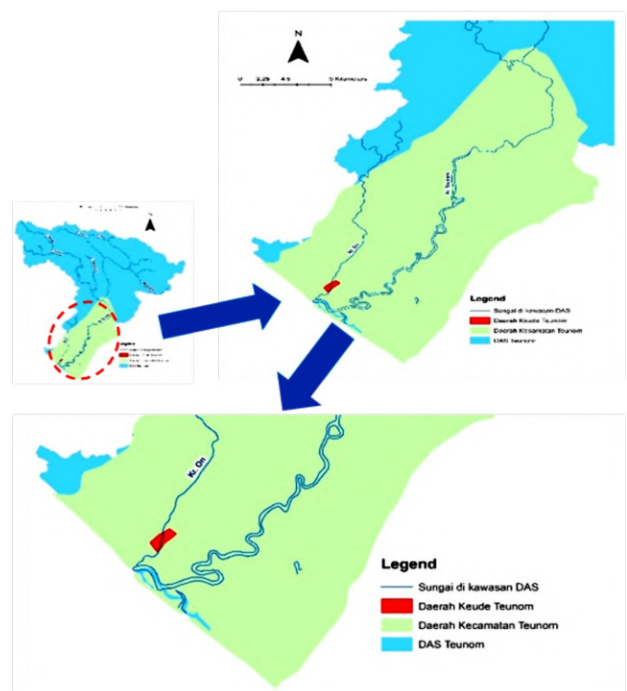
5). Analisis pengaruh dan dampak dari beberapa factor penyebab terjadinya banjir akan diuraikan secara komprehensif pada sub-bab selanjutnya.

4.2 Klimatologi dan meteorologi

Sebagaimana wilayah Indonesia yang berada di wilayah ekuator, Kabupaten Aceh Jaya beriklim tropis (hangat dan lembab) dengan pergantian musim hujan dan musim kering. Gejolak gelombang laut tinggi wilayah perairan yang menghadap ke Samudera Indonesia biasa terjadi pada bulan September hingga Februari. Musim kemarau berlangsung antara bulan Maret dan Agustus dengan tekanan udara rata-rata berkisar pada $26^{\circ} - 33^{\circ}$ C pada siang hari, dan $23^{\circ} - 25^{\circ}$ C pada malam hari. Kelembaban sebesar 84-92% dengan kecepatan angin maksimum berkisar 12-15 knot walaupun kecepatan angin rata-rata hanya sebesar 0-4 knot (BMKG, 2020). Wilayah Teunom memiliki ketinggian daratan maksimum berkisar pada 25 m dpl dan memiliki kemiringan pesisir pantai yang relatif landai menuju garis pantai.

4.3 Analisis curah hujan

Curah hujan tinggi (**Gambar 6**) yang terjadi di wilayah Aceh Jaya sepanjang tahun-nya telah berdampak terhadap banjir sebagian besar kecamatan. Sebagai contoh, hujan lebat pada akhir Agustus hingga November 2018, telah menyebabkan Kecamatan Jaya-Lamno, mengalami banjir. Banjir ini juga menyebabkan badan jalan Nasional lintas Calang-Lamno di Desa Meudheun digenangi banjir. Hujan Lebat bulan Agustus hingga Oktober 2019 telah mengakibatkan meluapnya DAS Krueng Teunom. Akibat luapan sungai tersebut, dua kecamatan, yaitu Pasie Raya dan Teunom mengalami banjir, dimana ratusan rumah terendam dan ratusan hektar tanaman jagung mengalami gagal panen.

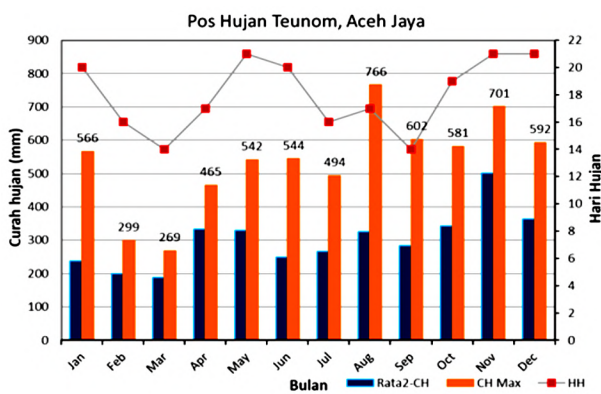


Gambar 5. Peta situasi wilayah hilir DAS Krueng Teunom

4.4 Analisis tutupan lahan

Berdasarkan data yang dihimpun dari Badan Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah XVIII Banda Aceh (BPKH, 2019), secara keseluruhan penutupan lahan di DAS Teunom yang memiliki sungai utama sungai Krueng Teunom dominan masuk ke dalam kelas hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, semak belukar dan pertanian lahan kering campur semak. Pada daerah hilir DAS Teunom didominasi oleh hutan lahan kering sekunder dan di daerah hulunya di dominasi oleh pertanian lahan kering campur, daerah pemukiman dan persawahan.

Berdasarkan hasil analisis spasial dan data penggunaan lahan pada DAS Teunom terdapat perubahan kelas tutupan lahan dari tahun ke tahun. Dalam kurun waktu hampir 30 tahun yaitu sejak tahun 1990 sampai tahun 2017 terdapat perubahan tutupan lahan baik pengurangan maupun penambahan luas wilayah di DAS Teunom. **Gambar 7** memperlihatkan perubahan tutupan lahan yang cukup signifikan pada DAS Krueng Teunom antara tahun 2000 dan 2017.



Gambar 6. Distribusi rata – rata curah hujan bulanan Pos Hujan Teunom (2010-2018).
Sumber data: BMKG (2020).

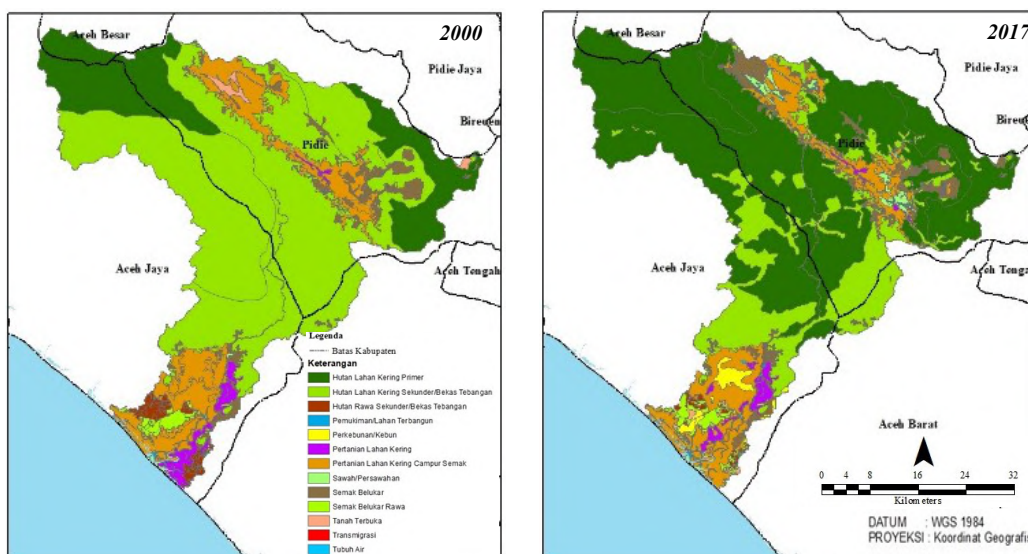
Pengurangan luas wilayah yang cukup besar terjadi pada hutan lahan kering sekunder dan hutan rawa sekunder. Pada tahun 1990 luas hutan lahan kering sekunder adalah 90.235,16 ha dan pada tahun 2017 menjadi 49.745,28 ha atau terjadi pengurangan luas wilayah hutan lahan kering sekunder sebesar 40.489,88 ha. Di tahun 1990 luas hutan rawa sekunder adalah 3.664,41 ha dan pada tahun 2017 menjadi 981,05 ha atau terjadi pengurangan wilayah hutan rawa sekunder sebesar 2.683 ha. Untuk lebih lengkapnya, dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Adanya perubahan luas tutupan lahan pada DAS Teunom bisa disebabkan oleh adanya penambahan luas wilayah tutupan lahan yang ada di DAS tersebut. Kelas tutupan lahan yang mengalami peningkatan adalah kelas pertanian lahan kering campur semak sebesar 10.177,64 ha, wilayah persawahan sebesar 2.531,15 ha dan wilayah pemukiman sebesar 1.113,42 ha. Selain adanya pengurangan dan penambahan luas wilayah tutupan lahan yang terjadi di DAS Teunom sejak tahun 1990 sampai 2017, juga terjadi penambahan kelas tutupan lahan yang ada di DAS Teunom. Penambahan kelas tutupan lahan tersebut berupa adanya lahan perkebunan dan wilayah transmigrasi masing – masing dengan luas 2.838,75 ha dan 85.98 ha.

4.5 Kondisi kemiringan lahan

Kondisi kemiringan lahan dianalisa dengan menggunakan data raster DEM/DEMNAS yang diolah ke dalam bentuk *hillshade* untuk mendapatkan *aspect* dan *ratio* dari kemiringan lahan di seluruh wilayah DAS Krueng Teunom (**Gambar 8**).

Dari hasil pengolahan data DEMNAS tersebut maka diperoleh data kemiringan lahan pada daerah DAS teunom berkisar dari 0 – 90 derajat, dengan kemiringan 25-40 derajat menjadi kemiringan lereng yang paling dominan. Kondisi ini menjelaskan sebagian besar permukaan lereng merupakan lapisan tanah dengan tingkat kekerasan sedang dan berpotensi tinggi untuk



Gambar 7. Perubahan tutupan lahan antara tahun 2000 dan 2017 di DAS Krueng Teunom.
Sumber data: Batas Administrasi (BAPPEDA Aceh, 2018) dan Data Tutupan Lahan (BPKH, 2019).

terjadi erosi dan longsor bila kondisi permukaan tanah tidak tertutupi oleh vegetasi. **Tabel 3** menampilkan kondisi kemiringan lereng dari wilayah DAS Teunom.

4.6 Analisis hidrologi

Untuk dapat menganalisa daya dukung sebuah DAS, analisis hidrologi merupakan hal yang mutlak yang harus dilakukan, terutama karena sangat berkaitan dengan potensi curah hujan yang akan ditampung oleh DAS tersebut yang kemudian akan menghasilkan debit aliran yang mengalir ke sungai utama. Pada dasarnya pengendalian banjir mengacu pada semua metode yang digunakan untuk mencegah efek merugikan yang disebabkan oleh air banjir, atau daya rusak air banjir. Untuk menentukan debit banjir diperlukan pengukuran debit dalam periode waktu tertentu secara langsung pada aliran sungai. Namun demikian, hal tersebut sulit dilakukan dan belum semua badan sungai di Indonesia mempunyai alat pemantau debit yang dipasang oleh badan yang berwenang. Sebagai alternatif, maka dapat dilakukan analisis hidrologi untuk menentukan debit banjir rancangan. Perhitungan debit banjir rancangan ini sudah banyak dimanfaatkan dalam upaya pengendalian banjir secara teknis di Indonesia, seperti pada kasus pengendalian banjir di DAS Karang Mumus (Purwanto, 2016), Sungai Tuntang di Kabupaten Demak (Maulana, et al, 2017), DAS Cimanuk Hulu (Savitri & Pramono, 2017), sub DAS Metro (Harifa, et al., 2017) dan Jakarta (Sutopo, 2002; JICA, 1997). Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana DAS Krueng Teunom dapat dilihat pada **Tabel 4** dengan hidrograf banjir rencana dapat dilihat pada **Gambar 9**.

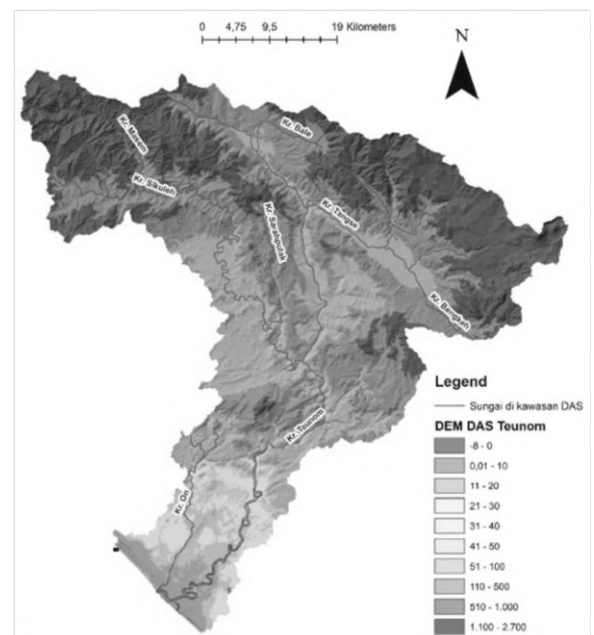
Salah satu faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan adalah faktor meteorologis, yang meliputi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi curah hujan serta faktor karakteristik DAS (Suripin, 2004). Karakteristik DAS terdiri luas dan bentuk DAS, topografi, dan jenis tataguna lahan. Adanya perubahan penggunaan lahan dapat diidentifikasi dari perubahan nilai *Curve Number* (CN) suatu DAS. Nilai CN bervariasi antara 0 sampai 100, dengan CN = 100

menyatakan permukaan lahan kedap air. Nilai CN dalam hal ini ditentukan berdasarkan tabel nilai CN untuk berbagai kondisi lahan dan tipe tanah (Triatmodjo, 2010). Perhitungan dilakukan pada tahun 2000 dan tahun 2017. Dari hasil perhitungan diperoleh besar volume limpasan ditampilkan dalam **Tabel 5**.

Dari hasil perhitungan pada tabel diatas dapat dilihat Nilai C pada tahun 2017 meningkat dari tahun 2000 yang berpengaruh terhadap besar volume aliran permukaan.

4.7 Analisis Erosi Lahan

Erosi tanah merupakan kejadian alam yang pasti terjadi dipermukaan daratan bumi. Besarnya erosi sangat



Gambar 8. Peta DEMNAS resolusi 8,2 m yang telah diproses menjadi peta hillshade untuk meninjau *aspect* dan *ratio* dari kemiringan lahan di wilayah DAS Krueng Teunom. (Sumber data DEMNAS: BAPPEDA Aceh, 2018).

Tabel 2. Perubahan tutupan lahan DAS Teunom

No	Jenis Tutupan Lahan	Luas (ha)		%	
		1990	2017	1990	2017
1	Hutan lahan kering primer	112.891,87	148.005,89	44,29	58,06
2	Hutan lahan kering sekunder	90.235,16	49.745,28	35,40	19,52
3	Semak belukar	19.283,91	12.322,33	7,57	4,83
4	Pemukiman	258,13	1.371,55	0,10	0,54
5	Perkebunan	-	2.838,75	-	1,11
6	Tanah terbuka	1.324,27	552,02	0,52	0,22
7	Tubuh air	936,47	1.346,30	0,37	0,53
8	Hutan rawa sekunder	3.664,41	981,05	1,44	0,38
9	Semak belukar rawa	3.919,59	3.572,30	1,54	1,40
10	Pertanian lahan kering	4.301,83	3.285,38	1,69	1,29
11	Pertanian lahan kering campur semak	17.748,91	27.926,55	6,96	10,96
12	Sawah	339,47	2.870,62	0,13	1,13
13	Transmigrasi	-	85,98	-	0,03
Total		254.904,00	254.904,00	100,00	100,00

tergantung dari faktor-faktor alam ditempat terjadinya erosi tersebut, akan tetapi saat ini manusia juga berperan penting atas terjadinya erosi. Adapun faktor-faktor alam yang mempengaruhi erosi adalah erodibilitas tanah, karakteristik tanah dan iklim. Akibat dari adanya pengaruh manusia dalam proses peningkatan laju erosi seperti pemanfaatan lahan yang tidak sesuai dengan peruntukannya dan/atau pengelolaan lahan yang tidak didasari tindakan konservasi tanah dan air menyebabkan perlunya dilakukan suatu prediksi laju erosi tanah sehingga bias dilakukan suatu manajemen lahan. Perkiraan laju erosi dapat dilakukan dengan pendekatan *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Metode USLE didesain untuk

digunakan memprediksi kehilangan tanah yang dihasilkan oleh erosi dan diendapkan pada segmen lereng bukan pada hulu DAS, selain itu juga didesain untuk memprediksi rata-rata jumlah erosi dalam waktu yang Panjang (Risse et al., 1993). Dari hasil perhitungan setiap parameter yang terkandung dalam persamaan USLE pada persamaan (1), maka diperoleh nilai erosivitas atau daya rusak hujan (R) pada DAS Teunom sebesar 5649,92 ton/ha/tahun, dengan faktor erodibilitas tanah (K) sebesar 0,49, factor panjang dan kemiringan lereng sebesar 3,03, serta mengasumsikan nilai koefisien tipe vegetasi tutupan lahan (C) dan tindakan-tindakan khusus atau konservasi tanah (P) masing-masing bernilai 1(satu). Menggunakan persamaan (1), maka diperoleh nilai erosi lahan pada DAS Krueng Teunom sebesar 8387,41 ton/ha/tahun.

Tabel 3. Kemiringan lereng DAS Teunom

No.	Kemiringan Lereng (°)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	0 – 8	39.627,58	15,51%
2	8 – 15	26.901,36	10,53%
3	15 – 25	56.917,00	22,27%
4	25 – 40	83.844,42	32,81%
5	> 40	48.252,06	18,88%
Jumlah		255.542,41	100%

Tabel 4. Debit banjir rencana DAS Krueng Teunom

No	Periode Ulang (tahunan)	Debit Banjir Rencana (m ³ /detik)
1	2	1038,63
2	5	1666,58
3	10	2027,03
4	25	2424,10
5	50	2685,53
6	100	2920,70

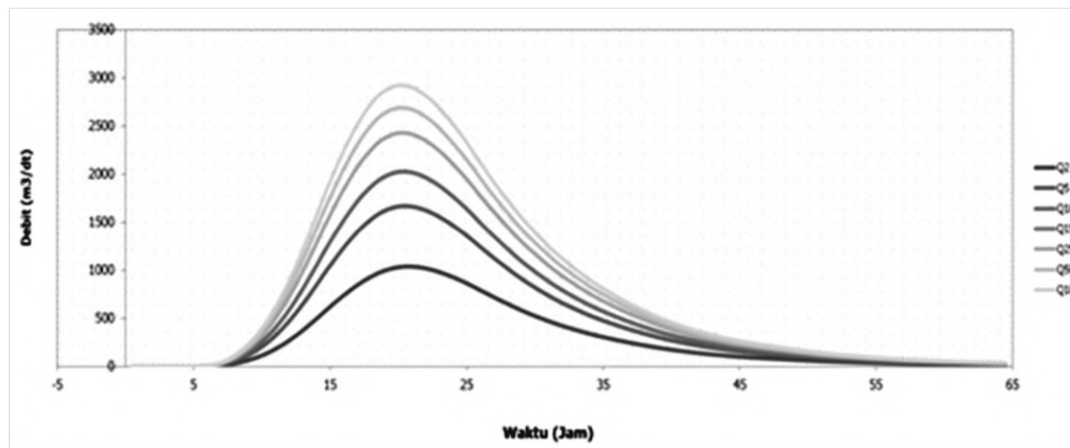
Tabel 5. Perubahan limpasan permukaan DAS Teunom

Tahun	CN	Volume (m ³)
2000	56	71.029.712,68
2017	66	117.225.474,6

4.8 Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian banjir, sumber masalahnya, serta sasaran pengendalian banjir

Dari hasil analisa hidraulika yang telah dilakukan mengenai morfologi sungai Krueng Teunom, di bagian muara Krueng Teunom terdapat lekukan sungai atau kelokan sungai yang berbelok-belok secara teratur dengan arah belokan mencapai setengah lingkaran. Belokan tersebut adakalanya terpisah dengan sungai utama karena aliran kembali mengalir dan menerobos lurus. Belokan tersebut juga dinamakan tapal kuda atau kalimati (*oxbow lake*). Di beberapa bagian badan sungai juga terdapat beberapa endapan transpor sedimentasi yang juga dikenal sebagai delta, dimana endapan tersebut diakibatkan oleh berkurangnya laju alir air saat memasuki laut.

Perubahan morfologi yang signifikan dapat dilihat pada morfologi muara sungai pada tahun 2006 dan 2014 (**Gambar 10**). Pada tahun 2006 ruas sungai dengan meander yang relative ekstrim berbelok 90 derajat ke arah utara Bersatu dengan anak sungai Krueng On. Pada tahun 2014 pada bagian pangkal meander sungai dilakukan *short-cut* alur baru menuju muara. Hal ini dilakukan untuk mengurangi atau membagi aliran sungai menuju arah meander untuk mengurangi ancaman banjir di wilayah tersebut. Berdasarkan hasil analisa spasial perpindahan alur



Gambar 9. Hidrograf banjir rencana DAS Teunom

sungai, didapati bahwa terjadi pengurangan panjang sungai sekitar ± 4 km dan juga terdapat perpindahan muara sungai dengan jarak sekitar ± 360 m.

Selain menganalisa morfologi sungai Krueng Teunom dari tampak atas (*aerial view*), pengukuran bathymetri dan hidrometri di sepanjang aliran sungai bagian hilir juga dilakukan. Dari survey hidrometri dan pengukuran bathymetri yang dilakukan dalam penelitian ini, diperoleh kemiringan penampang sungai Krueng Teunom sebesar 0,010 dengan kedalaman rata-rata sungai sebesar 8 m, panjang sungai 130 m dan lebar permukaan sungai sebesar 45 m. Namun demikian, hasil observasi selama penyusuran sepanjang sungai menunjukkan adanya sedimentasi yang cukup tinggi. Hasil pengukuran bathymetri dengan menggunakan peralatan *echosounding*, penampang sungai memberikan hasil adanya proses sedimentasi dilihat dari naik turunnya kedalaman sungai serta pembentukan pulau atau delta-delta kecil ditengah sungai serta pada bagian-bagian belokan sungai. Pengukuran dilakukan pada daerah-daerah luapan sungai sepanjang ± 1 km. Rata-rata ketebalan sedimentasi berkisar antara 1 – 2m.

Dari hasil pengukuran konsentrasi sedimen melayang di muara Krueng Teunom, diperoleh konsentrasi sedimen sebesar 152 mg/liter. Hal ini menunjukkan bahwa selain terjadinya endapan sedimen dasar yang menyebabkan pendangkalan di alur sungai, besarnya konsentrasi sedimen melayang juga relatif tinggi, terlihat secara visual dari warna aliran air yang kecoklatan. Dari hasil perhitungan debit sediment menggunakan *Sediment*

Delivery Ratio (SDR) dan tabel *Maddock's classification for estimation of the bedload* (Wischmeier and Smith, 1978), maka diperoleh nilai sedimentasi sungai Krueng Teunom sebesar 108,7 ton/hari.

Pada bagian muara Kr Teunom, proses dinamika perubahan muara dan pendangkalan yang terjadi tidak hanya dipengaruhi gelombang laut yang datang tegak lurus muara dan membawa sediment namun juga oleh aktivitas pasang surut sebagaimana hasil kajian Pengukuran Hidro-Oseanografi Di Muara Krueng Teunom, Aceh Jaya (Rizki, 2019) menunjukkan bahwa tinggi gelombang berkisar antara 1 sampai 1,95 meter dengan periode antara sampai 24 detik dan kategori pasang surut semi diurnal.

Di samping melakukan analisa spasial dan survey hidrometri di lapangan, untuk mendapatkan parameter fisik dari karakteristik aliran di hilir Sungai Krueng Teunom maka dilakukan juga perhitungan debit aliran sungai, kapasitas sungai dan kecepatan aliran sungai dengan menggunakan persamaan Manning (Triatmodjo, 2010). Maka diperoleh nilai kecepatan aliran sungai sebesar 17,42 m³/detik, dengan debit sebesar 156,35 m³/detik berdasarkan morfologi dan kapasitas tampungannya. Setelah dilakukan analisa periode ulang banjir dengan berbagai kala ulang (**Tabel 4.7**), diperoleh debit banjir untuk periode ulang 1 tahun adalah sebesar 1038,63 m³/detik. Hal ini dapat menjelaskan mengapa kemudian peristiwa banjir luapan dialami hampir setiap tahun di Keude Teunom.



Gambar 10. Morfologi Sungai Krueng Teunom

(Bagian hilir menuju ke muara yang bermeander mengindikasikan wilayah hilir yang relatif landai dengan kapasitas angkutan sedimen yang relatif tinggi. Pada citra satelit tahun 2006 (garis merah) dapat dilihat ruas sungai di bagian hilir menuju muara secara drastis berbelok pada meander terakhir ke arah utara dan melintasi wilayah perkotaan. Kondisi ini menyebabkan sering terjadi banjir pada wilayah yang dilalui meander sungai tersebut. Pada tahun 2014 (citra satelit) telah dilakukan upaya penanggulangan banjir dengan cara melakukan short-cut alur baru ke arah muara)

Tabel 6. Analisis permasalahan, sumber masalah dan sasaran penanggulangan banjir DAS Teunom

No.	Permasalahan	Sumber Masalah	Sasaran penanggulangan
1	Muara Sungai Krueng Teunom dan Krueng On Tertutup	Debit sungai berkurang yang menyebabkan proses sedimentasi di muara akibat sedimen transport dari	Mengendalikan dan mengurangi sedimen dari laut untuk mengurangi pendangkalan muara sungai
2	Banjir luapan dari batang sungai	Kapasitas tampungan sungai kecil, tinggi dan panjang tanggul tidak cukup memadai	Membangun tanggul dengan ketinggian dan panjang yang sesuai
3	Tanggul sungai yang telah runtuh pada dua titik luapan	Perencanaan yang tidak sesuai dan pembangunan konstruksi tanggul yang tidak rampung	Membendung muka air banjir dengan cara merehabilitasi tanggul-tanggul kritis
4	Genangan akibat luapan dari saluran drainase kota (Keude Teunom)	Penyumbatan drainase akibat kurangnya pemeliharaan	Pembersihan dan pemeliharaan sistem jaringan drainase secara berkala
5	Pendangkalan sungai akibat sedimentasi dan pembentukan delta sungai	Galian C, erosi lahan, penggerusan tebing sungai	Evaluasi regulasi perizinan galian C, reboisasi dan pembangunan pengamanan tebing
6	Kerusakan hutan di hulu	Illegal logging di hulu DAS, tambang ilegal	Evaluasi dan perbaikan regulasi aktivitas di hulu DAS
7	Sistem pendeteksi dini banjir di hulu (AWLR) dan hilir (EWS)	Tidak adanya alat pendeteksi dini, dan SOP dan diseminasi peringatan dini banjir	Penyusunan SOP koordinasi dan sistem EWS
8	Kurangnya pemanfaatan potensi DAS Teunom	Transpor sedimen dari arah laut	Mengendalikan dan mengurangi laju supply sedimen ke laut
9	Kurangnya pemanfaatan potensi DAS Teunom	Belum adanya koordinasi terpadu lintas stakeholder	Tinjauan pemanfaatan potensi DAS Teunom secara optimal

4.9 Kondisi sosial ekonomi masyarakat

Berdasarkan tinjauan teknis dan identifikasi masalah dan analisa yang telah dilakukan, maka dapatlah dirumuskan permasalahan yang dituangkan dalam poin-poin pembahasan berikut ini. Berdasarkan data yang dihimpun dari BPS Kabupaten Aceh Jaya Dalam Angka (2019), pada tahun 2018 total jumlah penduduk di Kecamatan Teunom adalah 13.439 jiwa dengan 6.825 penduduk laki – laki dan 6.614 penduduk perempuan. Laju pertumbuhan penduduk di Kecamatan Teunom dalam kurun waktu 2010 – 2018 adalah 2.65% dengan laju pertumbuhan dari tahun 2017 – 2018 mencapai 0.24%. Kepadatan penduduk di Kecamatan Teunom pada tahun 2018 adalah 95 jiwa per km². Desa dengan jumlah penduduk tertinggi di Kecamatan Teunom berada di desa Tanoh Manyang dan terendah di desa Kubu. Desa Tanoh Manyang memiliki total jumlah penduduk 1.655 jiwa yang terbagi atas 887 penduduk laki – laki dan 795 penduduk perempuan.

Desa Keude Teunom merupakan desa yang sering terdampak banjir genangan tahunan, memiliki luas lahan desa 200 ha dengan pembagian 9 ha lahan persawahan, 19 ha lahan bukan persawahan dan 172 ha lahan non pertanian. Jenis tanaman perkebunan yang ada di desa Keude Teunom didominasi oleh tanaman sawit (15 ha), sementara sisanya merupakan lahan perkebunan karet (2 ha), rambutan (0,5 ha), pisang (0,5 ha), mangga (0,3 ha) dan durian (0,1 ha). Struktur ekonomi pada masyarakat desa Keude Teunom, Kecamatan Teunom bertumpu pada perdagangan, industri kerajinan rumah tangga, pertanian dan perkebunan. Berdasarkan data yang dihimpun dari BPS Kecamatan Teunom dalam Angka 2019, desa Keude Teunom memiliki 3 kelompok petokoan dan 1

pasar permanen/semi permanen. Industri kerajinan rumah tangga masyarakat desa Keude Teunom bertumpu pada kerajinan kayu.

Dari hasil pengumpulan data dan identifikasi kegiatan penanggulangan banjir di Kabupaten Aceh Jaya terutama untuk kawasan Keude Teunom, integrasi kegiatan pengendalian banjir antar lintas sektoral belum terlaksana dan masih bersifat parsial. Kondisi ini disebabkan belum adanya dokumen rencana penanggulangan banjir yang terkoordinasi dan terstruktur seperti rencana masterplan yang sedang disusun. Ada beberapa kegiatan penanganan banjir yang telah dilakukan meliputi pembuatan jetty di muara Kreung Teunom dan tanggul sungai untuk menahan erosi dan luapan banjir.

Berdasarkan analisis kondisi dan karakteristik DAS Krueng Teunom, kondisi sosial ekonomi masyarakat, dan system penanggulangan banjir yang telah dilakukan sampai sejauh ini, maka permasalahan banjir pada Kawasan hilir dari DAS Krueng Teunom dapat diidentifikasi dalam **Tabel 6**.

Kesimpulan

1. Kecamatan Teunom merupakan kawasan yang sering mengalami bencana banjir. Berdasarkan kondisi topografi, jenis tanah, curah hujan, geologi serta geomorfologi, daerah DAS Teunom mempunyai potensi ancaman bencana banjir. Berdasarkan data tahun 2012 – 2019 terdapat 28 kali kejadian banjir. Sumber banjir di Keude Teunom dipengaruhi oleh DAS Teunom.
2. Penyebab utama banjir di kawasan Keude Teunom adalah penurunan kapasitas sungai (pendangkalan)

baik di badan sungai ataupun di muara sungai akibat sedimentasi yang cukup tinggi.

3. Dari hasil analisa periode ulang banjir dengan berbagai kala ulang diperoleh bahwa bahkan debit banjir untuk periode ulang 1 tahun tidak mampu ditampung oleh kondisi kapasitas penampang aliran sungai Krueng Teunom saat ini, sehingga terjadi banjir luapan.
4. Penyebab banjir lainnya adalah besarnya laju angkutan sedimen dari arah laut akibat dari surplus suplai sedimen dari muara sungai. Maka, perlu adanya kajian lebih mendalam untuk mengatasi masalah pendangkalan muara sungai dan juga pengerukan periodik sebelum adanya kontruksi pengaman muara sungai.
5. Untuk menuju mitigasi bencana banjir secara terintegrasi, maka upaya penanggulangan banjir pada DAS Krueng Teunom harus dioptimalkan dan harus melibatkan berbagai pihak, baik dari Pemerintah Daerah maupun para pemangku kepentingan, dengan melibatkan pihak akademisi dan peneliti dari perguruan tinggi dari berbagai disiplin ilmu.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Plt. Badan Penanggulangan Bencana Aceh (BPBA) dan Rektor Universitas Syiah Kuala yang telah mempercayai tim peneliti untuk melakukan kajian permasalahan dan penanggulangan banjir pada Kawasan Teunom melalui kegiatan Swakelola bekerjasama dengan perguruan tinggi Universitas Syiah Kuala.

Daftar Pustaka

- Aldrian, E., 2001, Pembagian iklim Indonesia berdasarkan pola curah hujan dengan metoda "Double Correlation", *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 2, No.1, 11-18.
- Asdak, C., 2007, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- BAPPEDA Aceh, 2018, Batas Administrasi Kab. Aceh Jaya. URL: http://acehgis.acehprov.go.id/layers/geonode%3ABATAS_KEC_ACEH_JAYA_AR
- BMKG, 2020, Keadaan Iklim Kabupaten Aceh Jaya Tahun 2019. (Tidak dipublikasikan).
- BNPB, 2020, Update Bencana Indonesia. URL: <https://bnpb.go.id/infografis/update-bencana-indonesia-tahun-2020>. Dikutip pada tanggal 25 Juni 2020.
- BPKH Aceh, 2019, Peta Penutupan Lahan DAS Teunom Provinsi Aceh. (Data vector; Tidak dipublikasikan).
- Chow, V.T., Maidment, D.R., dan Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw Hill Book Company, New York.
- Harifa, A.C., Sholichin, M., dan Prayogo, T.B., 2017, Analisa pengaruh perubahan penutupan lahan terhadap debit sungai Sub DAS Metro dengan menggunakan program ArcSWAT, *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol. 8, No.1, 1-14.
- Kodoatie, R.J. dan Syarieff, R., 2010, *Tata Ruang Air Terpadu*. Andy Press, Yogyakarta.
- Kodoatie., 2008, *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Edisi Kedua. Andi Offset, Yogyakarta.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) and Directorate General of Water Resources Development, 1997, *The Study on Comprehensive River Water Management Plan in Jabotabek*. Final Report Volume IV Annexes I, Jakarta.
- Maulana, I., Lukita, S.A., Suharyanto, Pranoto, S., 2017, Perencanaan pengendalian banjir sungai Tuntang di Desa Trimulyo Kabupaten Demak, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 6, No.4, 447-459.
- Nugroho, S.P., 2002, Evaluasi dan analisis curah hujan sebagai factor penyebab bencana banjir Jakarta, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 3, No. 2, 91-97.
- Purwanto, 2016, Analisis sistem pengendalian banjir Daerah Aliran Sungai Karangmumus, *Media Sains*, Vol. 9, No. 2, 220-235.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, C.D., 1984-1997, *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703.
- Risse, L. M., Nearing, M. A., Nicks, A. D., and Lafen, J. M., 1993, Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation. *The Soil Science Society of America Journal*, Vol.57, No. 3, 825 – 833.
- Rizki, Z., 2019, *Pengukuran Hidro-Oceanografi di Muara Krueng Teunom, Aceh Jaya*. Tesis Master, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Savitri, E., dan Pramono, I.B., 2017, Analisis banjir Cimanuk Hulu 2016, *Journal of Watershed Management Research*, Vol. 1, No. 2, 97-110.
- Schwab, G.O., Frevert, R., Edminster, T.W., dan Barnes, K.K., 1981, *Soil and Water Conservation Engineering*, Third Edition. John Wiley and Sons New York. Leicester. Brisbane. Toronto.
- Sosrodarsono, S. dan Tominga, M., 1994, *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suripin, 2004, *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Andi Offset, Yogyakarta.

- Sutapa, I., 2010, Analisis Potensi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) di Sulawesi Tengah. *Jurnal Smartek*, Vol. 8, No.3, 169-181.
- Triatmodjo, B., 2010, *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Wischmeier, W.H., dan Smith D.D., 1957-1978, *Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning*. USDA Agriculture Hand book.