KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
Jalan Jenderal Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
Telepon. (0435) 821125; Fax. (0435) 821752; laman : www.ung.ac.id

KEPUTUSAN
REKTOR UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
NOMOR : //3 /UN47/2015

Tentang

PENETAPAN PEMENANG PENELITIAN DESENTRALISASI DAN KOMPETITIF NASIONAL UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO TAHUN 2015

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO

Menimbang :
a. bahwa kegiatan penelitian adalah salah satu unsur Tridharma Perguruan Tinggi yang harus dijaga dan ditingkatkan mutunya demi penguatan kelembagaan Universitas Negeri Gorontalo;
b. bahwa untuk meningkatkan penguatan kelembagaan dan mutu ketenagaan di Universitas Negeri Gorontalo maka perlu digalakkan usaha-usaha penelitian;
c. bahwa berkenaan dengan diktum "b" di atas, maka ditetapkan pemenang Penelitian Desentralisasi dan Kompetitif Nasional atas biaya Dikti tahun pelaksanaan 2015;
d. Penetapan dosen peneliti yang dibiayai mutlak berdasarkan atas hasil penetapan oleh Ditlitabmas Dikti Kemdikbud;
e. bahwa mereka yang nama-namanya tersebut dalam lampiran surat keputusan ini dipandang mampu untuk melaksanakan penelitian dimaksud.

Mengingat :
1. Undang-Undang No. 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. UU No. 14 tahun 2005 tentang Guru dan Dosen;
3. PP No. 19 Tahun 2005 tentang Standar Pendidikan Nasional;
4. PP No. 66 tahun 2010 tentang perubahan atas PP No. 17 tahun 2010
5. Kepres No. 54 tahun 2004 tentang perubahan status IKIP Gorontalo Menjadi Universitas Negeri Gorontalo;
6. Peraturan Pemerintah No. 60 Tahun 1999 tentang Pendidikan Tinggi;
7. Keputusan Presiden RI No. 193/MPK.A4/KP/2014 Tahun 2014 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Negeri Gorontalo;
8. Keputusan Menteri Pendidikan Nasional No. 10 Tahun 2005 tentang Organisasi dan Tata Kerja (OTK) Universitas Negeri Gorontalo;
9. Keputusan Menteri Pendidikan Nasional RI No. 18 Tahun 2006 tentang Statuta Universitas Negeri Gorontalo;
10. Kepmenkeu No. 131/KMK.05/2009 tentang penetapan Universitas Negeri Gorontalo pada Departemen Pendidikan Nasional sebagai instansi pemerintah yang menerapkan pengelolaan keuangan Badan Layanan Umum (PK-BLU).

MEMUTUSKAN

Menetapkan	:	
Pertama	:	Penetapan Pemenang Penelitian Desentralisasi dan Kompetitif Nasional Universitas Negeri Gorontalo tahun 2015 yang nama-namanya sebagaimana tercantum dalam lampiran Surat Keputusan ini.
Kedua	:	Peneliti bertanggung jawab penuh secara teknis, sistematika dan administratif dengan mengacu pada Panduan Pelaksanaan Penelitian dan PPM Edisi IX yang mengatur secara rinci pelaksanaan penelitian atas biaya Dikti serta mematuhi segala bentuk kesepakatan yang tertuang dalam Surat Perjanjian Penelitian.
Ketiga	:	Peneliti dalam pelaksanaan penelitian wajib melaporkan kemajuan hasil penelitian, laporan penggunaan keuangan serta memasukan Laporan Akhir Hasil Penelitian kepada Lembaga Penelitian dan SIM-LITABMAS.
Keempat	:	Biaya yang timbul akibat pelaksanaan Surat Keputusan ini dibebankan pada anggaran yang tersedia untuk itu.
Kelima	:	Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan bilamana dikemudian hari terdapat kekeliruan akan diperbaiki sebagaimana mestinya serta diberikan kepada yang bersangkutan untuk dilaksanakan dengan penuh rasa tanggung jawab.

DITETAPKAN DI : GORONTALO
PADA TANGGAL : 13 Februari 2015
REKTOR,

Dr. Syamsu Qamar Badu, M.Pd
NIP. 196006031986031003

Tembusan :
1. Para Pembantu Rektor Universitas Negeri Gorontalo
2. Para Dekan di lingkungan Universitas Negeri Gorontalo
3. Kepala KPPN Gorontalo
4. Bendahara Pengeluaran Universitas Negeri Gorontalo

Lampiran : Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Gorontalo
Nomor : /UN47/2015
Tanggal : 13 Februari 2015
Tentang : Penetapan Pemenang Penelitian Desentralisasi dan Kompetitif Nasional Universitas Negeri Gorontalo Tahun 2015

NO	PENELITI	JUDUL PENELITIAN	SKIM	BIAYA	KET
1	Dr. Muhammad Amir Arham, ME Dr. Rauf A. Hattu, M.Si	Menciptakan Nilai Tambah dan Perluasan Pemasaran Komoditas Ikan Teri di Kabupaten Gorontalo Utara	MP3EI	Rp 155,000,000	Lanjutan
2	Prof. Dr. Ani M. Hasan, M.Pd Dr. Amir Halid, M.Si Lisna Ahmad, STP, M.Si	Pemberdayaan Petani Melalui Pengolahan Jagung dan Limbah Jagung Menjadi Komoditas Ekonomi Produktif di Kabupaten Boalemo Provinsi Gorontalo	MP3EI	Rp 162,500,000	Lanjutan
3	Dr. Syamsuddin, MP Prof. Dr. Anwar Mallawa, DEA Dr. Aziz Salam, S.T., M.Agr Ir. Yuniarti Koniyo, M.P	Strategi Pemgembangan Perikanan Tangkap Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan di Provinsi Gorontalo	MP3EI	Rp 160,000,000	Lanjutan
4	Dr. Rosman Ilato, M.Pd Dr. Mohamad Ikbal Bahua, M.Si Radia Hafid, S.Pd, M.Si	Analisis Rantai Nilai Komoditas Jagung Serta Strategi Peningkatan Pendapatan Petani Jagung di Provinsi Gorontalo	MP3EI	Rp 162,500,000	Lanjutan
5	Dr. Irawaty Igirisa, M.Si Dr. Syarwani Canon, M.Si Purnama Ningsih S. Maspeke, S.TP, M.Sc Ramlan Amir Isa, S.E., MM	Peningkatan Hasil Produksi Kakao Melalui Penerapan Teknologi	MP3EI	Rp 160,000,000	Baru
6	Drs. Abdul Kadir Husain, M.Pd, Kons Dra. Tuti Wantu, M.Pd, Kons	Pengembangan Modul Konseling Kelompok untuk Meningkatkan Kompetensi Sosial Mahasiswa	Fundamental	Rp 50,000,000	Baru
7	Dr. Muhammad Sayuti, M.Si drh. Tri Ananda Erwin Nugroho, M.Sc	Situasi Penyakit Parasiter Pada Sapi di Provinsi Gorontalo	Fundamental	Rp 74,000,000	Baru
8	Dr. Sukirman Rahim, M.Pd Dr. Dewi W. K. Baderan, M.Si Dr. Marini S. Hamidun, M.Si	Kerapatan, Komposisi, Habitat, Biomassa, dan Potensi Serapan Karbon Hutan Mangrove di Wilayah Pesisir Torosiaje	Fundamental	Rp 62,500,000	Baru
9	Dr. Netty Ino Ischak, M.Kes La Ode Aman, S.Pd, M.Si	Ekspresi Imunoglobulin A (IgA) dan Rasio Sel T CD4+/CD6+ serta Identifikasi Senyawa Bioaktif Protein Kerang Darah (Anadara granosa) (Studi Imunohistokimia pada Tikus Spraque Dawley Malnutrisi)	Fundamental	Rp 66,000,000	Baru
10	Abubakar Sidik Katili, S.Pd,M.Sc Yuliana Retnowati, S.Si, M.Si	Diversitas Actinomycetes dan Eksplorasi Senyawa Bioaktif dari Kawasan Mangrove Desa Torosiaje Kecamatan Popayato	Fundamental	Rp 66,500,000	Baru
11	Dr. Novri Youla Kandowangko, MP Rakhmawaty Ahmad Asui, S.Pd, M.Si Prof. Dr. Ishak Isa, M.Si	Potensi Tanaman Kangkung dan Eceng Gondok Sebagai Bioabsorpsi Logam Berat Hg, Pb dan Cu	Fundamental	Rp 59,000,000	Baru
12	Dra. Rena Madina, M.Pd Irvan Usman, S.Psi, M.Si	Pengembangan Panduan Permainan Kelompok Untuk Meningkatkan Kemampuan Guru Pembimbing Dalam Pembentukan Konsep Diri Siswa SMA	Fundamental	Rp 50,000,000	Baru
13	Hais Dama, SE, M.Si Idham Masri Ishak, SE, M.Si Herlina Rasjid, SE, MM	Analisis Pelaksanaan *Good Corporate Governance* Dalam Meningkatkan Kinerja Perbankan di Provinsi Gorontalo	Fundamental	Rp 62,500,000	Baru

NO	PENELITI	JUDUL PENELITIAN	SKIM	BIAYA	KET
14	Dr. Rieny Sulistijowati S., M.Si Lukman Mile, S.Pi, M.Si	Aktivitas Antagonis Bakteri Asam Laktat (Bal) Hasil Isolasi dari Ikan Bandeng (Chanos Chanos) Terhadap Bakteri Patogen	Fundamental	Rp 67,500,000	Lanjutan
15	Dr. Yuszda K. Salimi, M.Si Dra. Nurhayati Bialangi, M.Si	Kajian Senyawa Antioksidan dan Antiinflamasi Tanaman Obat Binahong (Anredera cordifolia (Ten.) Steenis) Asal Gorontalo	Fundamental	Rp 75,000,000	Lanjutan
16	Dr. Abdul Hafidz Olii, M.Si Muhlis, S.Pi, M.Sc Mohamad Sayuti Djau, S.IK, M.Si	Ekosistem dan Organisme yang Berasosiasi di Perairan Kwandang Kabupaten Gorontalo Utara	Fundamental	Rp 72,000,000	Lanjutan
17	Drs. Mardjan Paputungan, M.Si Rakhmawaty Ahmad Asui, M.Si	Pembuatan Katalis Modifikasi Pt/Batu Apung Untuk Mendukung Reaksi Konversi 3-Metil-1-butanol	Fundamental	Rp 73,500,000	Lanjutan
18	Idham Halid Lahay, ST, M.Sc Hasanuddin, S.T., M.Si Stella Junus, S.T., M.T	Evaluasi Ergonomi dan Perancangan Meja Serta Kursi Kerja Bagi Pengrajin Sulaman Karawo di Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 55,000,000	Baru
19	Yasin Mohamad, ST, MT Lanto Mohamad Kamil Amali, S.T, MT Darwis Hinelo, S.T, M.T	Feasibility Study dan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dalam Menunjang Desa Mandiri Energi di Desa Mongi'ilo Induk Kecamatan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango	Hibah Bersaing	Rp 50,000,000	Baru
20	Herwin Mopangga, SE, M.Si Raflin Hinelo, S.Pd, M.Si	Pengembangan Wirausaha Berbasis Teknologi (*Technopreneurship*) di Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 50,000,000	Baru
21	Dr. Novianty Djafri, M.Pd.I Dr. Arifin Tahir, M.Si	Rekonstruksi Model Kecerdasan Emosi Kepemimpinan Kepala Sekolah Lanjutan Tingkat Atas (SLTA) Se Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 50,000,000	Baru
22	Purnama Ningsih Maspeke, S.TP, M.Sc Yoyanda Bait, S.TP, M.Si	Pengembangan Pangan Fungsional Permen Lunak Gula Aren dari Nira Tertolak pada Pengolahan Gula Aren Tradisional	Hibah Bersaing	Rp 52,500,000	Baru
23	Dra. Ruslin W. Badu, M.Pd Pupung Puspa Ardini, S.Pd., M.Pd Meylan Saleh, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Media Pembelajaran Bagi Guru PAUD Dalam Merangsang Perilaku Sopan Santun Anak Usia Dini Melalui Bermain Peran Makro di Kota Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 62,500,000	Baru
24	Rahmiyati Kasim, S.TP, M.Si Suryani Une, STP., M.Sc Lisna Ahmad, S.Pt, M.Si	Pengembangan Snack Food Bars Berbasis Tepung Nike dan Tepung Jagung Nikstamal Sebagai Alternatif Pangan Darurat (*Emergency Food Product*)	Hibah Bersaing	Rp 55,000,000	Baru
25	Tirtawaty Abdjul, S.Pd, M.Pd Nova Elysia Ntobuo, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Perangkat Model Pembelajaran Berbasis Riset Pada Mata Kuliah Pembelajaran di Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 50,000,000	Baru
26	Dr. Marini Susanti Hamidun, M.Si Dr. Dewi W. K. Baderan, M.Si Meilinda Lestari Modjo, S.ST.Par, MM.Par	Model Pengembangan Pengelolaan Kawasan Konservasi berbasis Ekowisata	Hibah Bersaing	Rp 51,000,000	Baru
27	Prof. Dr. Ramli Utina, M.Pd Abubakar Sidik Katili, S.Pd,M.Sc Drs. Mustamin Ibrahim, M.Si	Inventarisasi Spesies Burung Perairan dan Model Prediktif Rantai Makanan Kawasan Pesisir yang Tercemar Merkuri dari Limbah Pertambangan Rakyat di Kabupaten Pohuwato	Hibah Bersaing	Rp 65,000,000	Baru

NO	PENELITI	JUDUL PENELITIAN	SKIM	BIAYA	KET
28	Dr. Misran Rahman, M.Pd Dr. Asni Ilham, M.Si	Pengembangan Model *On The Job Training* Berbasis Andragogi Dalam Upaya Pemanfaatan Tanaman Eceng Gondok di Kabupaten Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 55,000,000	Lanjutan
29	Heryati, ST, MT Nurnaningsih N. Abdul, ST, MT	Transformasi Arsitektur Vernakular Gorontalo Pada Bangunan Masa Kini Untuk Memperkuat Identitas Daerah	Hibah Bersaing	Rp 69,000,000	Lanjutan
30	Dra. Nurhayati Bialangi, M.Si Dr. Weny J.A. Musa, M.Si Dr. Chairunnisah J. Lamangantjo, M.Si	Produk Senyawa Aktif Antifeedant dari Tumbuhan Olumongo (Acorus calamus) Terhadap Larva Epilachna Sparsa Sebagai Alternatif Pestisida Alami	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
31	Masrid Pikoli, S.Pd, M.Pd Drs. Mangara Sihaloho, M.Pd	Pengembangan Perangkat Pembelajaran Kimia dengan Menginterkoneksikan Multipel Representasi untuk Mereduksi Miskonsepsi Siswa	Hibah Bersaing	Rp 72,500,000	Lanjutan
32	Dr. Fitryane Lihawa, M.Si Indriati Martha Patuti, ST, M.Eng Ahmad Zainuri, S.Pd, M.Pd	Pemetaan Zona Kerentanan Longsoran di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 69,000,000	Lanjutan
33	Suleman Duengo, S.Pd, M.Si Dr. Yuszda K. Salimi, M.Si	Aktivitas Antioksidan dan Antikanker Tumbuhan Obat Miana (*coleus atropurpureus* [L] Benth) Asal Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
34	Dr. Sukarman Kamuli, M.Si Dr. Rauf A. Hattu, M.Si Drs. Rusli Isa, M.Si	Evaluasi Implementasi Kebijakan Pengembangan Kawasan Minapolitan di Kabupaten Gorontalo Utara Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 72,500,000	Lanjutan
35	Dewi Diana Paramata, S.Pd, M.Si Prof. Dr. Yoseph Paramata, M.Pd Wimangsih Din Uno, S.Pd, M.Kes	Model Pembelajaran IPA Terpadu Berorietasi Multiple Intelelligences Dan Pemberdayaan Metakognisi Siswa Melalui Integrasi Kurikulum Di SMP	Hibah Bersaing	Rp 70,500,000	Lanjutan
36	Prof. Dr. Enos Taruh, M.Pd Abdul Haris Odja, S.Pd, M.Pd	Strategi Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Terpadu SMP/MTS Dengan Menggunakan Model 4 D (Define, Design, Develop, and Desiminate)	Hibah Bersaing	Rp 72,500,000	Lanjutan
37	Mursidah Waty, S.Pd, M.Sn Hasmah, S.Pd, M.Sn Hariana, S.Pd, M.Ds	Rekayasa Teknologi Pewarnaan airbrush untuk Peningkatan Kualitas Tekstil Menjadi *High Fashion*	Hibah Bersaing	Rp 74,000,000	Lanjutan
38	Ervan Hasan Harun, ST, MT Jumiati Ilham, ST, MT	Pemetaan Potensi dan Pemanfaatan Hybrid Energi Terbarukan Dalam Menunjang Terwujudnya Desa Mandiri Energi di Propinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 74,500,000	Lanjutan
39	Prof. Dr. Evie Hulukati, M.Pd Prof. Dr. Sarson W. Dj. Pomalato, M.Pd	Mengembangkan Kemampuan Komunikasi dan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika Siswa SMP Di Kabupaten Gorontalo Melalui Penerapan Model Penemuan Terbimbing Menggunakan Tugas Bentuk Superitem	Hibah Bersaing	Rp 50,000,000	Lanjutan
40	I Wayan Sudana, S.Sn, M.Sn I Wayan Seriyoga Parta, S.Sn, M.Sn Drs. Suleman Dangkua, M.Hum	Formulasi Bahan dan Metode Finishing Untuk Produk Kriya Dari Kayu Lokal Gorontalo Berkwalitas Rendah	Hibah Bersaing	Rp 60,000,000	Lanjutan
41	Dr. Tedy Machmud, M.Pd Drs. Sumarno Ismail, M.Pd Nursiya Bito, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Pendekatan Belajar Aktif dalam Pembelajaran Matematika yang Terintegrasi dengan Pendidikan Karakter di SMP se Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan

NO	PENELITI	JUDUL PENELITIAN	SKIM	BIAYA	KET
42	Karmila Machmud, MA, Ph.D Nonny Basalama, MA, Ph.D	21st Century Teaching and Learning: The Perspectives Toward The Implementation of Technology in English as A Foreign Language (EFL) Curriculum	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
43	Dr. Wenny Hulukati, M.Si Irpan A. Kasan, S.Ag, M.Pd	Pengembangan Panduan Untuk Meningkatkan Kompetensi Guru Melaksanakan Pendidikan Karakter Serta Pengembangan Karakter Siswa SMA Kelas IX Kota Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
44	Dra. Jusna Ahmad, M.Si Dr. Elya Nusantari, M.Pd	Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Kearifan Lokal dengan Pendekatan Proses untuk Pembelajaran Mulok di SMP Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
45	Dr. Sardi Salim, M.Pd Ir. Rawiyah Husnan, M.T	Model Analisis Potensi Energi Terbarukan Berdasarkan Aliran Sungai Dalam Lingkungan DAS	Hibah Bersaing	Rp 62,500,000	Lanjutan
46	Salmawaty Tansa, ST, M.Eng Bambang Panji Amara, ST, MT Ade Irawaty Tolago, ST, MT	Pemodelan dan Sistem Informasi Prediksi Kapasitas Pembangkit Listrik Menggunakan Neural Network	Hibah Bersaing	Rp 50,000,000	Lanjutan
47	Drs. Asri Arbie, M.Si Supartin, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis Riset Berintegrasi Pendidikan Karakter Pada Mata Kuliah Fisika Dasar di Universitas Negeri Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 72,500,000	Lanjutan
48	Prof. Dr. Asna Aneta Prof. Dr. Yulianto Kadji, M.Si Drs. Maha Atma Kadji, M.Si	Rekonstruksi Model Penilaian Kinerja Aparatur Dalam Penyelenggaraan Pemerintahan di Provinsi Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
49	Dr. Lilan Dama, M.Pd Dr. Novri Youla Kandowangko, MP	Model Pengembangan Lesson Study Melalui Program Praktek Pengalaman Lapangan (PPL)	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
50	Dr. Margaretha Solang, M.Si Dr. Merryana Adriani, SKM, M.Kes Dr. Djuna Lamondo, M.Si	Peranan Suplementasi Tepung Kerang Darah (Anadara granosa) terhadap Kadar Zinc, Albumin, IGF-I dan Pengembangan Potensinya sebagai Jajanan Balita	Hibah Bersaing	Rp 73,000,000	Lanjutan
51	Prof. Dr. Moh. Karmin Baruadi, M.Hum Herman Didipu, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Perangkat Pembelajaran Mulok Bahasa Gorontalo Berbasis Kearifan Lokal Untuk Sekolah Dasar	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
52	Muhammad Yusuf, S.Pd, M.Pd Sari Rahayu Rahman, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Perangkat Pembelajaran dengan Mengimplementasikan Model-model Pembelajaran berbasis Masalah Untuk Mengoptimalkan Problem Solving Skill Sains Siswa SMP	Hibah Bersaing	Rp 72,500,000	Lanjutan
53	Robert Tungadi, S.Si, M.Si, Apt Prof. Dr. Ani M. Hasan, M.Pd Dra. Rama Hiola, M.Kes	Pengaruh Formulasi Krim Ikan Gabus 2% Terhadap Kesembuhan Luka Pasien Pascabedah di RSUD Prof. Dr. Aloei Saboe Gorontalo	Hibah Bersaing	Rp 75,000,000	Lanjutan
54	Muhammad Kasim, ST, MT Nurfaika, S.Si, M.Sc Prof. Dr.rer.nat. A.M. Imran (mitra) Dr. Ulva Ria Irvan, MT (mitra)	Model Mineralisasi Breksi Wobudu dengan Pendekatan Metode Geologi dan Petrogenesa di Gorontalo	Pekerti	Rp 97,500,000	Lanjutan
55	Fahrul Ilham, S.Pt, M.Si Syafrianto Dako, S.Pt, M.Si Agus Bahar Rahman, S.Pt., M.Si	Keragaman Genetik dan Produktivitas Kambing Kacang di Provinsi Gorontalo	Pekerti	Rp 75,000,000	Baru
56	Dr. Mursalin, M.Si Supartin, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Model Pembelajaran Inovatif Berkarakter Untuk Meningkatkan Hasil Belajar IPA/Fisika	Tim Pasca Sarjana	Rp 100,000,000	Lanjutan

NO	PENELITI	JUDUL PENELITIAN	SKIM	BIAYA	KET
57	Prof. Dr. Hamzah B. Uno, M.Pd Dr. Arfan Arsyad, M.Pd	Pengembangan Perangkat Pembelajaran Terinternalisasi Karakter Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Matematika	Tim Pasca Sarjana	Rp 100,000,000	Lanjutan
58	Hasdiana, S.Pd, M.Sn Dr. Mohamad Yusuf Tuloli, ST, MT I Wayan Sudana, S.Sn, M.Sn Drs. Yus Iryanto Abas, M.Pd	Model-Model Rancangan Produk-produk Kriya Tekstil Aplikatif Dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Jagung	PUPT	Rp 59,000,000	Baru
59	Dr. Beby Sintia Dewi Banteng, M.Si.P Dr. Hasim, M.Si Frahmawati Bumulo, SE., M.Si	Model Adaptasi Masyarakat Pesisir Terhadap Degradasi Lingkungan Danau Limboto Provinsi Gorontalo	PUPT	Rp 50,000,000	Baru
60	Agus Lahinta, ST, M.Kom Dr. Sardi Salim, M.Pd Tajuddin Abdillah, S.Kom, M.Cs	Pembangunan Aplikasi Berbasis Protokol SOAP Pada Arsitektur Multi-Tier Untuk Optimalisasi dan Fleksibilitas Pengaksesan Informasi Sumber Daya Perpustakaan	PUPT	Rp 82,000,000	Baru
61	Dr. Weny J.A. Musa, M.Si Dr. Jusna Ahmad, M.Si Dr. Chairunnisah J. Lamangantjo, M.Si	Senyawa Bioaktif dari Tanaman Tombili dan Tubile Sebagai Pengganti Pestisida Sintetik pada Tanaman Padi yang Terserang Hama	PUPT	Rp 80,000,000	Baru
62	Prof. Dr. Moon H. Otoluwa, M.Hum Dr. Rasuna Talib, M.Hum Novi Rusnarty Usu, S.Pd, MA	Upaya Pemertahanan Bahasa Gorontalo	PUPT	Rp 75,000,000	Baru
63	Dr. Sastro M.Wantu, M.Si Dr. Udin Hamim, M.Si Roni Lukum, S.Pd, M.Sc Yowan Tamu, S.Ag., MA	Kebijakan Pemerintah Daerah dalam Membangun Kebhinekaan Antaretnis di Kabupaten Pohuwato dalam Perspektif Multikulturalisme	PUPT/IDB	Rp 85,000,000	Baru
64	Prof. Dr. Fenty U. Puluhulawa, M.Hum Dr. Zuchri Abdussamad, M.Si Nirwan Junus, SH, MH	Kebijakan Hukum Dalam Rangka Perlindungan Sumber Daya Ikan Yang Berkelanjutan dan Berbasis Kearifan Lokal Pada Suku Bajo di Gorontalo	PUPT/IDB	Rp 105,000,000	Baru
65	Wrastawa Ridwan, ST, MT Dr. Dakia N. Djou, M.Hum Rahmat Deddy Rianto Dako, S.T, M.Eng	Pengembangan software Penerjemah Teks Bahasa Indonesia-Bahasa Gorontalo sebagai Upaya Pemertahanan Bahasa Daerah	PUPT/IDB	Rp 65,000,000	Baru
66	Dr. Sunarty Suly Eraku, M.Pd Dr. Eng. Sri Maryati, S.Si Prof. Dr. Moh. Karmin Baruadi, M.Hum	Pendidikan Konservasi Lingkungan Berbasis Kearifan Lokal Masyarakat di Daerah Pertanian Jagung Provinsi Gorontalo	PUPT/IDB	Rp 82,500,000	Baru
67	Dr. Harto Malik, M.Hum Dr. Muslimin, M.Pd Novi Rusnarty Usu, S.Pd, MA	Penerjemahan Lohidu Sebagai Ragam Pantun Gorontalo ke Dalam Bahasa Inggris Untuk Mendukung Pelestarian Sastra Daerah	PUPT/IDB	Rp 77,500,000	Baru
68	Mohammad Hidayat Koniyo, ST, M.Kom Dr. Sance A. Lamusu, M.Hum Lillyan Hadjaratie, S.Kom, M.Si Abd. Aziz Bouty, S.Kom., M.Kom	Aplikasi Template Karawo Berdasarkan Klasifikasi Motif Yang Sesuai Dengan Karakter dan Budaya Gorontalo	PUPT/IDB	Rp 77,500,000	Baru
69	Arip Mulyanto, S.Kom, M.Kom Prof. Dr. Supriyadi, M.Pd Mukhlisulfatih Latief, S.Kom, MT Manda Rohandi, S.Kom, M.Kom	Pengembangan Aplikasi Repositori Digital Budaya Gorontalo Dalam Upaya Melestarikan Budaya Lokal	PUPT/IDB	Rp 172,500,000	Lanjutan
70	Dr. Masri Kudrat Umar, M.Pd Dr.rer.nat. Mohamad Jahja, M.Si Tirtawaty Abdjul, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Model Pembelajaran Multikultural Terinternalisasi Budaya dan Lingkungan Gorontalo Pada Sekolah Dasar di Wilayah Pertambangan Rakyat Gorontalo Utara	PUPT/IDB	Rp 200,000,000	Lanjutan

NO	PENELITI	JUDUL PENELITIAN	SKIM	BIAYA	KET
71	Nonny Basalama, MA, Ph.D Karmila Machmud, MA, Ph.D	Peran Role Model Dalam Pembelajaran Bahasa Inggris Pada Konteks '*Foreign Language*': Suatu Penelitian Kualitatif Tentang Identitas & Budaya Dalam Pembangunan Karakter Bangsa	PUPT/IDB	Rp 150,000,000	Lanjutan
72	Dr. Lukman A.R. Laliyo, MM, M.Pd Dr. Elya Nusantari, M.Pd Citra Panigoro, ST, M.Si Dr. Sukirman Rahim, M.Si	Rekayasa Implementasi Teknologi Tepat Guna Melalui Pengembangan Model Pembelajaran Untuk Menumbuhkan Budaya Pemanfaatan Energi Terbarukan Pada Masyarakat Daerah Terpencil	PUPT/IDB	Rp 145,000,000	Lanjutan
73	Indriati Husain, SP, M.Si	Evaluasi Keragaman Genetik Putatif Mutan Jeruk Keprok Varietas SoE NTT Berdasarkan Analisis Morfologi dan Marka Molekuler ISSR	Disertasi Doktor	Rp 44,000,000	Baru
74	Abdul Haris Odja, S.Pd, M.Pd	Pengembangan Model Pembelajaran Berorientasi Kemandirian (Self Regulated Learning) Untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah dan Pemahaman Konsep Kalor	Disertasi Doktor	Rp 43,000,000	Baru

REKTOR,

Dr. Syamsu Qamar Badu, M.Pd
NIP. 196006031986031003

LAPORAN AKHIR

PENELITIAN HIBAH BERSAING

MODEL ANALISIS POTENSI ENERGI TERBARUKAN BERDASARKAN ALIRAN SUNGAI DALAM LINGKUNGAN DAS

Tahun ke 2 dari rencana 2 Tahun

Tim Pengusul:

1. **Dr. Sardi Salim, M.Pd 0005076805 (Ketua)**
2. **Ir. Rawiyah Husnan, MT 0025117408 (Anggota)**

UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO

Juli , 2015

HALAMAN PENGESAHAN

Judul	: MODEL ANALISIS POTENSI ENERGI TERBARUKANBERDASARKAN ALIRAN SUNGAI DALAM LINGKUNGAN DAS
Peneliti/Pelaksana	
Nama Lengkap	: DR. SARDI SALIM M.Pd
Perguruan Tinggi	: Universitas Negeri Gorontalo
NIDN	: 0005076805
Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
Program Studi	: Teknik Elektro
Nomor HP	: 081215509383
Alamat surel (e-mail)	: sardi@ung.ac.id
Anggota (1)	
Nama Lengkap	: Ir. RAWIYAH HUSNAN MT
NIDN	: 0027046408
Perguruan Tinggi	: Universitas Negeri Gorontalo
Institusi Mitra (jika ada)	
Nama Institusi Mitra	: -
Alamat	: -
Penanggung Jawab	: -
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 62.500.000,00
Biaya Keseluruhan	: Rp 75.000.000,00

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik (Pj)

(Arip Mulyanto, S.Kom., M.Kom)
NIP/NIK 197603232001121001

Gorontalo, 29 - 7 - 2015
Ketua,

(DR. SARDI SALIM M.Pd)
NIP/NIK 196807051997021001

RINGKASAN

Energi sumberdaya air dari suatu aliran sungai merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kebutuhan kehidupan manusia. Sebagai sumber energi terbarukan, potensi sumberdaya air umumnya digunakan sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. Luasnya wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) dan sulitnya medan untuk melakukan pengukuran di lapangan merupakan kendala dalam menentukan potensi energi dari sumber energi terbarukan tersebut. Pengukuran debit sungai secara langsung di lapangan hanya dapat merepresentasi hasil pada saat melakukan pengukuran. Perubahan yang terjadi sebagai akibat berubahnya sistem DAS dan curah hujan yang sering berubah sepanjang waktu, tidak dapat teramati. Pada penelitian Tahun I, telah diperoleh MODEL untuk menentukan nilai potensi energi terbarukan di aliran sungai. Penenelitian yang akan dilaksanakan adalah penelitian lanjutan Tahun II.

Tujuan penelitian adalah: 1) Menerapkan MODEL untuk menentukan potensi energi terbarukan pada masing-masing aliran sungai dalam wilayah DAS. 2) Menentukan besaran energi listrik berdasarkan energi terbarukan dari aliran sungai-sungai dalam wilayah DAS.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah implementasi MODEL analisis potensi energi terbarukan aliran sungai untuk menentukan nilai energi terbarukan aliran sungai-sungai lain dalam Wilayah DAS. Implementasi model dilakukan melalui proses simulasi dengan menyesuaikan parameter masing-masing subDAS dalam Wilayah DAS. Parameter subDAS yang akan disesuaikan adalah: Luas subDAS, *Curve Number* (CN), *Initial Abstraction* (Ia), *Time Lag* (TL), dan nilai *Base Flow*. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software HEC-HMS. Input data hujan menggunakan data hujan harian wilayah DAS Bone Gorontalo.

Hasil penelitian menunjukkan nilai energi terbarukan aliran sungai yang ada di 17 subDAS berdasarkan proses simulasi HEC-HMS menghasilkan nilai yang bervariasi. Nilai Debit Aliran terkecil adalah debit aliran Sungai Matango = 1,25 m^3/det dan terbesar adalah debit aliran Sungai Buano = 8 m^3/det. Besaran daya listrik yang dapat dibangkitkan pada masing-masing sungai tersebut adalah 2,07 KW di Sungai Matango dan 32,34 KW di Sungai Buano.

Luaran penelitian adalah MODEL analisis potensi energi terbarukan aliran sungai dan artikel penelitian yang termuat dalam jurnal nasional/international terakreditasi serta menjadi topik pembahasan dalam seminar nasional Energi Terbarukan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Kata kunci: Listrik, Energi, Terbarukan, Aliran, Sungai.

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke khadirat Allah, karena berkat rahmatNya kegiatan penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Laporan Kemajuan Penelitian ini merupakan laporan pelaksanaan kegiatan penelitian Desentralisasi Hibah Bersaing Tahun 2015 dimana progres pelaksanaan kegiatan sudah pada tahap 85%.

Penelitian telah menghasilkan rumusan Model Analisis Energi Terbarukan Aliran sungai-sungai dalam wilayah suatu DAS. Analisis Model dilaksanakan melalui proses simulasi dengan menerapkan hasil analisis yang telah dicapai sebelumnya (Tahun I). Pada penelitian sebelumnya telah diperoleh suatu teknik analisis potensi energi terbarukan aliran sungai yang diperoleh melalui proses pemodelan pada salah satu subDAS (subDAS Bula) yang ada dalam lingkup DAS Bone. Proses simulasi untuk menganalisis potensi energi terbarukan pada sub-sub DAS lainnya dilakukan dengan merubah parameter subDAS yakni luas subDAS, *Curve Number* (CN), *Initial Abstraction* (Ia), *Time Lag* (TL), dan nilai *Base Flow*, yang menjadi karakteristik dari subDAS yang akan dianalisis potensi energi terbarukannya. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software HEC-HMS. Input data hujan menggunakan data hujan harian yang diperoleh dari setasiun hujan yang terpasang di wilayah DAS Bone Gorontalo

Hasil akhir penelitian akan menunjukkan MODEL analisis energi terbarukan aliran sungai-sungai dalam lingkugan suatu DAS. Potensi energi terbarukan aliran sungai merupakan potensi rujukan untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air. Semoga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Tentunya bantuan dan dukung sangat diharapkan. untuk itu disampaikan terima kasih.

Juli 2015

Peneliti

DAFTAR ISI

hal

HALAMAN SAMPUL …… i
HALAMAN PENGESAHAN ii
RINGKASAN …….. iii
PRA KATA …….. iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN …….. xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Keaslian Penelitian 6

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Energi dan Pembangkit Tenaga Listrik 9
2.2 Energi dan Sumberdaya Alam Terbarukan 11
2.3 Pembangkit Listrik Mini/Mikro Hidro …… 12
2.4 Siklus Hidrologi 14
2.5 Daerah Aliran Sungai (DAS) ……..... 15
2.6 Hujan 20
2.6.1 Distribusi Hujan dalam Daerah Aliran Sungai …… 23
2.6.2 Proses hujan menjadi aliran sungai …….. 25
2.6.3 Hujan Efektif …….. 27
2.7 Simpanan Air Dalam Tanah ……. 27
2.8 Evaporasi dan Evapotranspirasi …….. 29
2.9 Infiltrasi 30

2.10 Limpasan (*overland flow*) …… 31
2.10.1 Karakteristik limpasan permukaan ……..……. 34
2.10.2 Koefisien limpasan ……. 35
2.11 Hidrograf ……. 37
2.11.1 Hidrograf aliran ……. 39
2.11.2 Hidrograf Sintetik …….. 40
2.11.3 Hidrograf banjir …….. 41
2.11.4 Pemisahan aliran permukaan (*surface runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*) dalam hidrograf aliran ……. 42
2.12 Analisis citra penginderaan jauh untuk penentuan karakteristik DAS 44
2.13 Pengaruh penggunaan lahan terhadap aliran …….. 47
2.14 Tutupan vegetasi …… 48
2.15 Pemodelan hidrologi aliran sungai 49
2.15.1 Model *Soil Concervation Service - Curve Number* (SCS-CN) …. 53
2.15.2 Model *Clark's Unit Hidrograph* ……. 55
2.15.3 Model *Exponential Recession* ……. 55
2.15.4 Model *Maskingum* ……. 56
2.16 Model hidrologi hujan-limpasan HEC-HMS 56
2.17 Validasi dan Kalibrasi ……. 59
2.18. Analisis potensi pembangkit listrik tenaga air (Mikro Hidro) ……. 61
2.18.1. Analisis debit andalan ……. 61
2.18.2 Energi air untuk pembangkit tenaga listrik …… 63
2.2 Kerangka Pemikiran Penelitian 65
2.3 Batasan Operasional 69

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian 73
3.2 Tahapan Penelitian ……..... 74
3.2.1 Studi Pustaka dan Dokumen Pendukung Penelitian ……. 74
3.2.2 Penentuan daerah penelitian ……. 74
3.2.3 Persiapan data hidrologi dan meteorologi, Peta dasar dan peta tematik, Alat dan bahan penelitian. ……. 75

3.2.3.1 Data hidrologi dan meteorologi …….. 75

3.2.3.2 Peta dasar dan peta tematik …….. 76

3.2.3.3 Alat dan bahan …… 76

3.2.4. Penentuan penutupan lahan/vegetasi berdasarkan interpretasi citra penginderaan jauh …… 78

3.2.5 Data tanah dan penentuan kelas hidrologi tanah ……... 80

3.2.6 Penentuan nilai *curve number* (CN) ……. 82

3.2.7 Morfometri DAS …….. 84

3.3 Tahap Analisis dan Pengolahan Data …….. 85

3.3.1 Analisis data hidrologi …….. 85

3.3.2. Analisis Karakteristik dan Morfometri DAS ……..... 88

3.3.3 Analisis Hidrograf Debit Aliran dengan HEC-HMS …….. 89

3.3.3.1 Estimasi volume *runoff* dengan Model *Soil Conservation Service - Curve Number* (SCS-CN) …….. 90

3.3.3.2. Estimasi *Direct runoff dengan Model Clark Unit Hidrograph* ….. 90

3.3.3.3. *Baseflow* dengan Model Resesi Eksponensial ……. 91

3.3.4 Simulasi model di DAS Bone ……. 92

3.3.5. Estimasi Potensi energi air untuk pembangkit tenaga listrik …..…. 93

3.3.5.1 Analisis debit andalan dan debit minimum sungai untuk pembangkit tenaga listrik …….` 93

3.3.5.2 Tinggi jatuh air (*Head*) …….. 95

3.3.5.3 Analisis potensi air untuk pembangkit tenaga listrik ……. 97

BAB IV KONDISI DAERAH PENELITIAN

4.1. Kondisi Topografi, Geologi dan Geomorfologi …… 100

4.1.1. Kondisi Topografi …….. 100

4.1.2 Kondisi Geologi …….. 104

4.1.3 Kondisi Geomorforfologi ……. 108

4.2. Kondisi tutupan vegetasi ……. 110

4.3. Kondisi penggunaan lahan …… 112

4.4. Kondisi tanah ……. 115

4.5. Kondisi Hidrologi ……. 119

4.5.1 Kondisi Hujan ……. 119
4.5.2 Kondisi Aliran Sungai ……. 121

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik dan Morfometri DAS ……..... 122
5.2 Penggunaan lahan di subDAS Bula …… 129
5.3 Tutupan vegetasi ……. 129
5.4 Klasifikasi Tanah dan Penentuan Kelompok Hidrologi Tanah (HSG) 132
5.4 Analisis Hujan Efektif untuk Memperoleh Data *Baseflow*, dan Data Hidrograf Limpasan Langsung (HLL) 135
5.5 Analisis Model Hidrograf Limpasan dengan HEC-HMS …… 137
5.6. Simulasi Model untuk Pendugaan Variabilitas Limpasan pada subDAS Lain di DAS Bone …… 138
5.7. Analisis Potensi Aliran Sungai untuk Sumberdaya Listrik ……. 144
5.7.1 Analisis ketinggian jatuh air (*head*) …… 145

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan …….. 147
6.2 Saran …….. 148

DAFTAR PUSTAKA 150
LAMPIRAN …….. 155

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keadaan Hujan dan Intensitas Hujan 22

Tabel 2.2 Karakter dari kelas lereng terhadap peruntukan kesesuaian lahan 45

Tabel 2.3. Klasifikasi lereng 46

Tabel 2.4. Pedoman penentuan kondisi kelembaban tanah 51

Tabel 2.5. Klasifikasi pemodelan hujan-limpasan beserta contohnya 52

Tabel 2.6 Fungsi objektif dalam *software* HEC-HMS 61

Tabel 3.1. Data yang dibutuhkan dalam penelitian 75

Tabel 3.2, Peta dasar dan peta tematik yang dibutuhkan untuk analisis penelitian 76

Tabel 3.3.a Peralatan yang digunakan dalam penelitian 77

Tabel 3.3.b. Bahan yang digunakan dalam penelitian 78

Tabel 3.4. Klasifikasi tutupan vegetasi 79

Tabel 3.5 Klasifikasi Hidrologi Tanah Berdasarkan tekstur tanah 80

Tabel 3.6. Kelompok Hidrologi Tanah berdasarkan SCS-CN 81

Tabel 3.7 Nilai CN berdasarkan kondisi penggunaan lahan dan kelas Hidrologi Tanah 83

Tabel 5.1, Nilai Parameter SubDAS Bula 126

Tabel 5.2, Tutupan Lahan/Vegetasi di wilayah subDAS Bula 130

Tebel 5.3, Klasifikasi HSG tanah di subDAS Bula berdasarkan McCuen (1989) 133

Tabel 5.4, Klasifikasi CN di wilayah DAS Bone berdasarkan USDA NRCS 134

Tabel 5.5, Perhitungan angka CN di subDAS Bula 135

Tabel 5.6 Parameter basin sebagai input HEC-HMS 137

Tabel 5.7, Debit minimum berdasarkan waktu kejadian 90% terpenuhi sebagai aliran Sungai Bula 140

Tebel 5.8, Nilai Parameter subDAS di DAS Bone Berdasarkan proses HecGeo-HMS yang menjadi extensi ArcGIS 10 142

Tabel 5.9, Debit aliran Sungai Wulo berdasarkan waktu kejadian 144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Sebaran Potensi Energi Listrik di Gorontalo 2

Gambar 2.1. Foto bangunan pembangkit listrik Mikro Hidro 13

Gambar 2.2. Daur Hidrologi 15

Gambar 2.3 Berbagai macam bentuk DAS 17

Gambar 2.4 Pengukuran huja rata-rata aljabar 24

Gambar 2.5 Pengukuran hujan rata-rata *polygon thiesen* 24

Gambar 2.6 Pengukuran hujan rata-rata *isohiet* 25

Gambar 2.7 Proses hujan menjadi aliran pada suatu DAS 26

Gambar 2.8 Kurva hubungan antara laju infiltrasi dan waktu 30

Gambar 2.9, Tanggapan DAS terhadap masukan hujan 37

Gambar 2.10, Hidrograf bendasarkan bentuk DAS 38

Gambar 2.11 Bentuk dan Komponen hidrograf 40

Gambar 2.12 *Straight Line Method* 42

Gambar 2.13 *Fixed Based Line Method* 43

Gambar 2.14 *Variable Slope Method* 44

Gambar 2.15. Skema Penggunaan Program HEC-HMS 58

Gambar 2.16. Skema prosedur kalibrasi 60

Gambar 2.17 Contoh Grafik *Flow Duration Curve* (FDC) 62

Gambar 2.18 Kerangka Pemikiran 68

Gambar 3.1. USDA FIA *Canopy Cover Estimation Chart* 79

Gambar 3.2. Alur Pembuatan CN 82

Gambar 3.3. Kurva lengkung TMA-Debit 88

Gambar 3.4. Alur proses karakteristik SubDAS dalam Hec-GeoHMS 88

Gambar 3.5. Alur Pemodelan HEC-HMS 89

Gambar 3.6, Penentuan debit minimum 90% terpenuhi 95

Gambar 3.7, Saluran air pembangkit listrik mikro hidro 96

Gambar 3.8, Penentuan *Head* berdasarkan asumsi jarak ideal dari titik pengamatan sampai ke bangunan PLTMH 97

Gamber 3.9. Diagram Alir Kerangka Penelitian 99

Gambar 4.1.a. Peta DAS Bone Provinsi Gorontalo 102

Gambar 4.2. Peta Lereng DAS Bone Gorontalo 103
Gambar 4.3 Peta Geologi DAS Bone Gorontalo 107
Gambar 4.4. Peta Bentuk Lahan di DAS Bone 109
Gambar 4.5, Peta Tutupan Vegetasi di DAS Bone Gorontalo 111
Gambar 4.6, Peta Penggunaan Lahan di DAS Bone Gorontalo 114
Gambar 4.7, Peta Tanah DAS Bone Gorontalo 118
Gambar 4.8, Peta Hujan di DAS Bone Gorontalo 120
Gambar 4.9, Grafik debit rata-rata harian Sungai Bone 121
Gambar 5.1, Fill Sink dalam proses HecGeo-HMS 122
Gambar 5.2, *Flow Direction* 123
Gambar 5.3, *Flow Acumulation* 123
Gambar 5.4, *Stream Definition* 124
Gambar 5.5, *Stream Segmentation* 124
Gambar 5.6 *Cathmen Delination* 125
Gambar 5.7, *Catchment Polygon Processing* 125
Gambar 5.8, *Drainage Line Processing* 126
Gambar 5.9, SubDAS Bula dengan titik AWLR sebagai outlet subDAS 128
Gambar 5.11.a, Foto vegetasi hutan di wilayah subDAS Bula 130
Gambar 5.11.b, Foto vegetasi kebun di wilayah subDAS Bula 130
Gambar 5.11.c, Foto vegetasi kebun/pertanian di subDAS Bula 131
Gambar 5.11.d, Foto vegetasi tegalan di wilayah subDAS Bula 131
Gambar 5.11,e, Foto lapangan di subDAS Bula 131
Gambar 5.11.f, Foto pemukiman di subDAS Bula 132
Gambar 5.12, Komponen hujan-limpasan yang direpresentasikan Model HEC-HMS 136
Gambar 5.13, Hidrograf hasil proses HEC-HMS berdasarkan input hujan harian Tahun 2014, di Sungai Bula 138
Gambar 5.14, Grafik FDC untuk memperoleh debit andalan Sungai Bula 139
Gambar 5.15, Grafik Hidrograf 90% terpenuhi sebagai debit aliran Sungai Bula 139
Gambar 5.16, Hidrograf debit aliran Sungai Wulo subDAS Wulo 143
Gambar 5.17, Debit andalan 90% Sungai Wulo subDAS Wulo 143
Gambar 5.18, Grafik hidrograf debit aliran Sungai Wulo subDAS Wulo 90% terpenuhi selang bulan Januari-Desember Tahun 2014 144
Gambar 5.19, Penentuan *Head* pembangkit listrik mikro hidro 146

DAFTAR LAMPIRAN

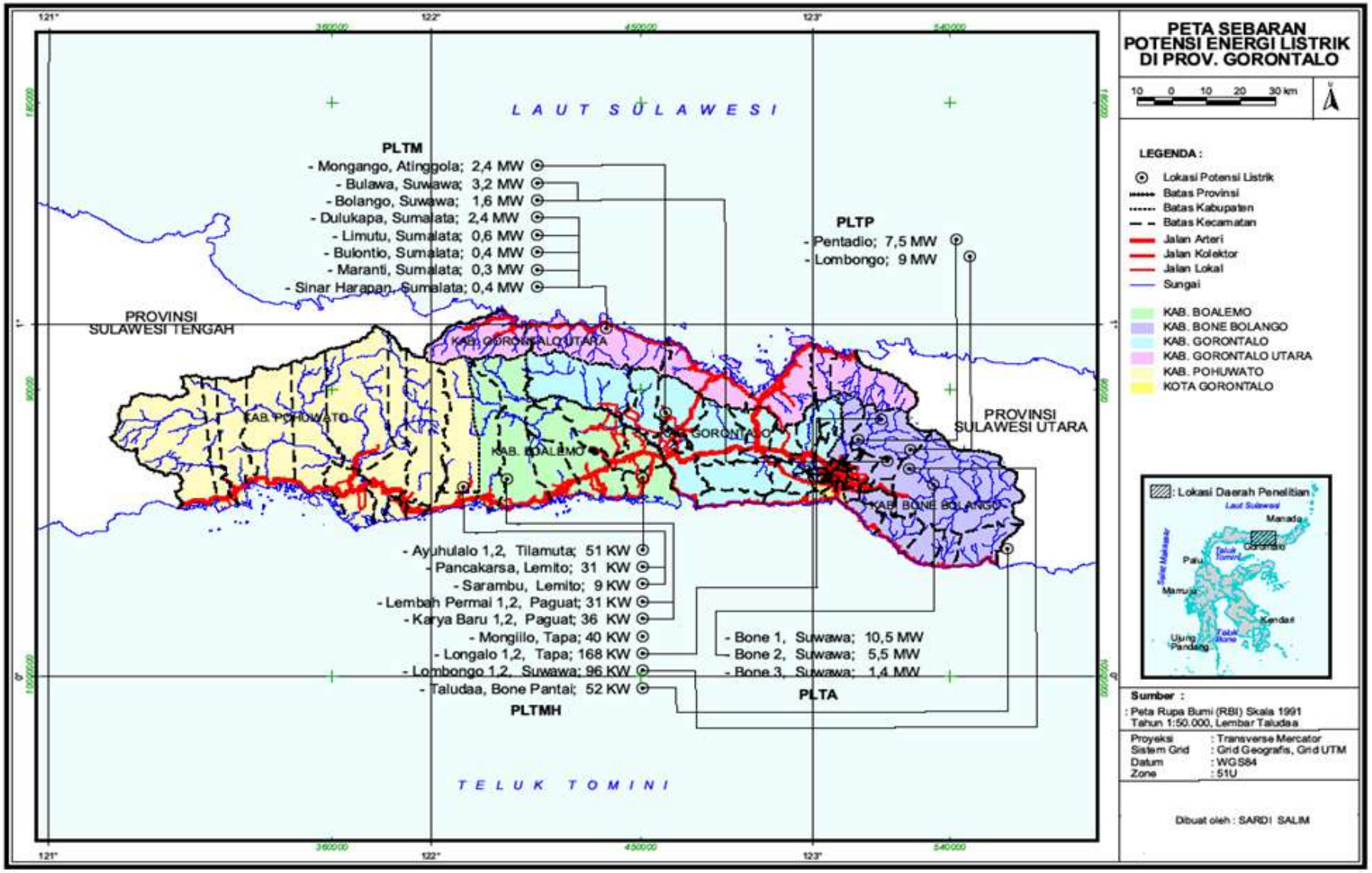
Lampiran 1. Draft Artikel Ilmiah ……. 156
Lampiran 2. MODEL Produk Penelitian ……. 171

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Potensi sumberdaya alam berupa tenaga air, panas bumi, angin/bayu dan sumberdaya alam lainnya yang ada di Provinsi Gorontalo merupakan energi potensial yang dapat menunjang ketersediaan tenaga listrik di Gorontalo. Berdasarkan kajian Tim Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) Provinsi Gorontalo, di Gorontalo memiliki potensi sumberdaya alam yang dapat digunakan sebagai energi pembangkit tenaga listrik. Tenaga listrik yang dapat dihasilkan berdasarkan potensi energi sumberdaya alam tersebar di seluruh wilayah Gorontalo. Sebaran pembangkit listrik tersebut berupa: Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) di Kabupaten Bone Bolango, Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM) di Kabupaten Goronta Utara dan Kabupaten Bone Bolango, Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) di Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Bone Bolango, Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) di Kabupaten Gorontalo dan Kabupaten Bone Bolango. Peta sebaran potensi pembangkit tenaga listrik di Gorontalo disajikan pada Gambar 1.1.

Di daerah terpencil dalam suatu wilayah, banyak masyarakat belum dapat menikmati listrik yang dipasok dari jaringan penyedia energi listrik (PLN), untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan keperluan rumah tangga lainnya. Masyarakat sebagian besar menggantungkan harapan adanya jaringan listrik dari pemerintah yang dipasang di wilayah tempat tinggalnya. Di sisi lain pembangunan jaringan listrik sangat tergantung pada kondisi medan di wilayah tersebut. Sulitnya medan untuk pemasangan jaringan listrik merupakan alasan utama mengapa di daerah terpencil belum bisa menikmati listrik untuk menunjang keperluan kehidupannya. Pada medan yang sulit membutuhkan teknik pemasangan yang cukup rumit dan pembiayaan yang sangat besar.



Gambar 1.1 Peta sebaran potensi energi listrik di Gorontalo (Sumber: RUKD, PLN Gorontalo 2010)

Sumberdaya alam berupa sumberdaya air (sungai) merupakan potensi energi yang belum banyak digunakan untuk menjadi energi pembangkit tenaga listrik. Energi air merupakan energi yang sangat potensial dalam menghasilkan energi listrik yang besar, dibanding dengan menggunakan energi mesin yang menggunakan minyak bensin/solar. Walaupun untuk pembangunannya memerlukan pembiayaan yang besar, namun dalam pengoperasiannya hanya membutuhkan biaya yang relatif kecil, dan produksi energi listrik yang dihasilkan cukup besar.

Dalam menentukan potensi energi aliran sungai dapat dilakukan dengan melakukan observasi potensi aliran di lapangan untuk mengetahui bagaimana dan dimana potensi aliran sungai yang tepat untuk pembangunan pembangkit tenaga listrik. Volume dan debit aliran sungai dapat diukur secara langsung di lapangan, namun hasil ukur hanya merepresentasi potensi aliran pada saat melakukan pengukuran. Perubahan yang terjadi akibat adanya hujan yang sering berubah-ubah setiap saat dan perubahan karakteristik DAS sebagai akibat perubahan penggunaan lahan secara langsung akan mempengaruhi nilai volume dan debit aliran sungai. Perubahan nilai volume dan debit aliran sungai sebagai akibat perubahan yang terjadi pada kondisi alam akan sulit teramati secara langsung. Oleh karenanya dibutuhkan cara tertentu melalui suatu teknik pemodelan aliran sungai.

Pembangkit listrik tenaga air yang ekonomis adalah Pembangkit Listrik Mikro Hidro atau Mini Hidro. Pembangunan pembangkit listrik tersebut hanya memerlukan pembiayaan yang kecil dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik terutama bagi masyarakat sekitar yang biasanya berada di daerah terpencil yang belum teraliri listrik. Energi penggerak pembangkit tenaga listriknya cukup dengan energi air dari sungai yang kecil (anak sungai), dimana aliran sungai-sungai tersebut banyak melintasi daerah-daerah terpencil.

Pembangunan pembangkit listrik tenaga air sepenuhnya tergantung dari bagaimana potensi volume debit aliran air sungai dan karakteristik wilayah DAS yang mempengaruhi keberadaan aliran sungai. Sungai yang merupakan bagian dari sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki korelasi yang saling

mempengaruhi antara satu sama lain dalam sistem DAS. Keberadaan air sungai dipengaruhi langsung oleh unsur air tanah yang dihasilkan dari hujan yang jatuh dalam daerah tangkapan air (*catchmen area*). Unsur-unsur yang saling berkaitan dalam suatu sistem DAS untuk menghasilkan aliran air sungai adalah berupa curah hujan, geomorfologi DAS, morfometri sistem sungai, kondisi tanah, penggunaan dan penutupan lahan/vegetasi, serta unsur manusia sebagai pengguna air di daerah tersebut.

Kondisi sungai yang dipengaruhi oleh karakteristik suatu DAS dan intensitas hujan yang jatuh diwilayah DAS sangat mempengaruhi besarnya kapasitas pembangkitan daya/energi listrik di tempat tersebut. Pembangkit tenaga listrik Mikro/Mini Hidro atau Pembangkit Listrik Tenaga Air pembangunannya tergantung seberapa besar volume dan debit aliran sungai. Semakin besar volume dan debit aliran sungai, maka semakin besar daya/energi listrik yang dapat dibangkitkan.

Berdasarkan latar belakang pemikiran tersebut, penulis melakukan suatu penelitian yang mengkaji potensi energi terbarukan aliran sungai sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik dengan judul *"Model Analisis Potensi Energi Terbarukan Aliran Sungai Dalam Wilayah DAS"*

1.2. Rumusan Masalah

Ketersediaan air pada suatu DAS ditentukan oleh berbagai hal yang mempengaruhi daur hidrologi pada DAS tersebut. DAS Bone merupakan salah satu DAS yang ada di Provinsi Gorontalo yang memiliki kurang lebih 25 subDAS di DAS tersebut. Luasnya wilayah DAS dengan sistem aliran sungai yang komples serta sulitnya medan dalam melakukan pengukuran di lapangan membutuhkan kajian spesifik untuk memperoleh potensi energi aliran sungai. Banyaknya komponen yang mempengaruhi terjadinya aliran sungai, memerlukan pola kajian berdasarkan komponen hujan sebagai input dan kajian sistem hidrologi berdasarkan parameter-parameter dalam sistem DAS. Model hujan-limpasan merupakan teknik kajian untuk menganalisis limpasan dalam wilayah

DAS berdasarkan karakteristik DAS dan input hujan yang jatuh di wilayah DAS tersebut.

Kajian potensi aliran sungai untuk pembangkit tenaga listrik dilakukan berdasarkan nilai volume dan debit aliran di masing-masing subDAS yang diperoleh melalui analisis model hidrologi yang diterapkan. Potensi volume dan debit aliran sungai harus tersedia sepanjang waktu untuk menghasilkan energi listrik secara kontinu. Energi pembangkit tenaga listrik dianalisis berdasarkan potensi debit aliran sungai dan ketinggian jatuh air ideal yang diperoleh secara *natural* di lapangan melalui interpretasi citra.

Berdasarkan hal tersebut di atas, dapat dirumusan masalah penelitian yang juga menjadi pertanyaan penelitian yakni sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan potensi energi terbarukan pada aliran sungai-sungai yang ada dalam wilayah DAS.
2. Seberapa besar energi listrik yang dapat diperoleh berdasarkan energi terbarukan dari aliran sungai-sungai dalam wilayah DAS

1.3. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menerapkan MODEL analisis untuk menentukan potensi energi terbarukan pada aliran sungai-sungai yang ada dalam wilayah DAS.
2. Menentukan besaran energi listrik yang dapat diperoleh berdasarkan energi terbarukan di aliran sungai-sungai dalam wilayah DAS.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah:

1. Memberikan dasar kajian pengembangan sumberdaya air sungai sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik melalui model analisis hidrodinamik yang diterapkan, dalam wilayah suatu DAS.
2. Hasil analisis dapat menjadi acuan dalam pengelolaan sumberdaya air sungai dalam pengembangan pola tata ruang suatu daerah.

3. Menjadi dasar kajian penelitian-penelitian selanjutnya dalam mengkaji potensi energi aliran air sungai.

1.5 Keaslian Penelitian

Beberapa panelitian lain yang telah dilaksanakan sebelumnya yang mengkaji potensi energi listrik berdasarkan aliran sungai adalah sebagai berikut :

1. Survei potensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Kuta Malaka Kabupaten Aceh Besar Nanggroe Aceh Darussalam. Mengkaji potensi tenaga air sebagai dasar pembangunan pembangkit listrik mikro hidro. Hasil penelitian menetapkan ada tiga lokasi yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai lokasi PLTMH dengan *head* efektif 5 sampai 16 meter dan daya keluaran 3,7 sampai 9,1 KW. Penelitian tersebut berbeda dengan penelitian yang dilaksanakan dari sisi metode penentuan potensi aliran air sungai untuk PLTMH. Metode survei dan pengukuran langsung hanya memberikan hasil pada saat melakukan pengukuran dan tidak dapat dilakukan pada aliran sungai dalam wilayah DAS yang luas dan sulit terjangkau. Analisis pemodelan potensi aliran sungai yang digunakan dalam penelitian yang kami lakukan dapat menghasilkan potensi aliran sungai sepanjang waktu dan dapat diterapkan pada wilayah DAS yang luas (spasio temporal).
2. Analisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap perubahan karaktersitik hidrograf banjir menggunakan *software* HEC-HMS versi 2,2. Tahun 2004, oleh Taufik Adi Wijaya. Mengkaji perubahan hidrograf debit aliran akibat terjadinya perubahan penggunaan lahan di DAS Progo. Hasil penelitian menunjukkan nilai yang signifikan pada peningkatan volume dan debit banjir sebagai akibat perubahan penggunaan lahan. Penelitian ini sangat berbeda dengan penelitian yang dilakukan karena hasil penelitian tersebut mengkaji karakteristik debit banjir berdasarkan perubahan penggunaan lahan dalam suatu wilayah DAS. Penelitian yang dilakukan secara implisit juga menggunakan analisis debit aliran dengan *software* HEC-HMS, namun analisis lebih diarahkan pada pendugaan debit aliran sungai sebagai potensi energi untuk pembangkit tenaga listrik

3. Hubungan hujan dan limpasan pada berbagai dinamika spasial penggunaan lahan di DAS Kreo Jawa Tengah. Tahun 2010, oleh Dewi Liesnoor Setyowati. Mengkaji limpasan sebagai fungsi hujan dan dinamika spasial penggunaan lahan. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pada hidrograf limpasan berdasarkan karakteristik hujan dengan dinamika spasial penggunaan lahan. Penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan karena hasil penelitian tersebut mengkaji hubungan hujan dengan limpasan berdasarkan tipe perubahan penggunaan lahan dalam suatu wilayah DAS. Penelitian yang dilakukan secara implisit juga menggunakan analisis limpasan berdasarkan hujan sesaat dan hujan wilayah dalam suatu DAS, namun analisis yang kami lakukan lebih diarahkan pada pendugaan debit aliran sungai sebagai potensi energi untuk pembangkit tenaga listrik secara spasio temporal.
4. Analisis hidrograf banjir rancangan terhadap perubahan penggunaan lahan dalam berbagai kala ulang, metode hujan-limpasan dengan HecGeo-HMS dan HEC-HMS. Tahun 2010, oleh Tommy Andryan Tivianton. Mengkaji hidrograf banjir berdasarkan hujan rancangan dan prubahan penggunaan lahan di DAS Garang Jawa Tengah. Hasil penelitian menunjukkan perubahan penggunaan lahan akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap debit puncak dan volume *outflow* pada kondisi kostan dengan mengunci parameter *Curve Number* pada saat kondisi yang telah ditentukan. Penelitian ini sangat berbeda dengan penelitian yang dilakukan karena hasil penelitian tersebut menganalisis hidrograf banjir berdasarkan perubahan penggunaan lahan dalam suatu wilayah DAS. Penelitian yang dilakukan secara implisit juga menggunakan analisis hidrograf debit aliran dengan *software* HEC-HMS, namun analisis lebih diarahkan pada pendugaan debit aliran sungai sebagai potensi energi untuk pembangkit tenaga listrik

Kajian penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti di atas, secara prinsip berbeda dengan penelitian yang dilakukan, yaitu membuat model kajian potensi sumberdaya air sungai berdasarkan karakteristik DAS sebagai energi pembangkit tenaga listrik. Dari beberapa penelitian tersebut, hanya

sebagian kecil kajiannya berhubungan dengan penelitian yang dilaksanakan. Kajian yang berhubungan menyangkut ketersediaan dan rencana kebutuhan tenaga listrik di Gorontalo serta analisis hujan menjadi limpasan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi dan Pembangkit Tenaga Listrik

Energi listrik di era modern terutama diperkotaan di seluruh dunia, sudah merupakan kebutuhan yang vital dan penting dalam memenuhi kehidupan sehari-hari tanpa energi listrik, gerak kehidupan seakan-akan terhanti. Betapa pentingnya energi listrik untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan perkembangan teknologi di semua aspek kehidupan dan bertambahnya populasi manusia di dunia, namun sebesar itu pula problem dan dampak negatif yang ditimbulkan merupakan kendala yang harus dihadapi dan dipertimbangkan serta tetap mencari solusi dari dampak negatif tersebut.

Berbagai macam sistem pembangkit listrik di Indonesia yang dikenal hingga saat ini antara lain:

1. Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD)
2. P embangkit listrik tenaga air (PLTA)
3. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)
4. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH)
5. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) hingga saat ini penggunaannya masih belum diterima karena kekhawatiran akan dampak negatif yang ditimbulkan. Dampak negatif lain sebagai akibat penggunaan teknologi ini adalah bila terjadi kebocoran radio aktif, dapat membahayakan kehidupan manusia (Arismunandar dan Kuwahara, 1991).

Di Indonesia pembangkit listrik tenaga surya belum banyak dikembangkan karena per-unitnya harus menggunakan perangkat sel-sel surya yang besar dan mengunakan baterai yang berfungsi sebagai penyimpan dengan kapasitas terbatas sehingga pembangkit listrik tenaga surya hanya digunakan pada skala kecil untuk rumah-rumah kecil atau untuk di kapal kapal laut. Pembangkit listrik lainnya yaitu: pembangkit listrik tenaga angin, ombak, arus laut, panas bumi, gas dan

proses kimia yang bisa menghasilkan energi yang dapat diubah menjadi energi mekanik dan dapat memutar turbin serta menjalankan generator (Agung, 2008).

Permintaan akan kebutuhan energi listrik masyarakat yang semakin meningkat menyebabkan kapasitas/kemampuan pembangkit listrik tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Langkah yang kemudian diambil adalah dengan pemadaman listrik secara bergilir atau melakukan interkoneksi antara beberapa pembangkit listrik dengan pembiayaan yang cukup besar. Hal tersebut mengakibatkan pembagunan ekonomi menjadi terhambat, karena banyak industri yang tidak dapat beroperasi dengan baik. Para investor enggan melakukan investasi di bidang industri, karena ketidak tersediaannya energi listrik yang cukup untuk menjalankan proses produksi industri.

Dewasa ini diversifikasi pembangkit listrik yang menggunakan energi minyak/solar ke energi alam (terbarukan) telah dikembangkan. Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi alam/air dan mampu menghasilkan energi listrik yang cukup besar adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Kendala yang secara langsung ditemui dalam pembangunan PLTA adalah biaya pembangunan yang tinggi. PLTA juga mempunyai kelemahan-kelemahan dalam melayani penguna listrik dalan jumlah besar, antara lain (Arismunandar dan Kuwahara, 1991):

1. Konsumen pengguna listrik dalam jumlah besar dan terlalu jauh dari pusat pembangkit membutuhkan sarana jaringan tower transmisi tegangang tinggi yang panjang juga memerlukan sarana trafo peningkat tengangan yang banyak.
2. Dari sisi keamanan maupun keselamatan terhadap sanara dan perlengkapan transmisi harus mendapat perhatian khusus.
3. Bila kita mengalami musim kemarau panjang PLTA yang mengunakan tenaga air dari danau alam dan danau buatan maka cadangan air akan sangat berkurang dan berdampak pada penurunan kuantitas produksi daya listrik yang disalurkan ke konsuman. Maka hal ini yang dirugikan adalah konsuman baik rumah tangga maupun pihak industri.

4. Sumber pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang menggunakan air terjun tidak selalu berada dilokasi yang dikehendaki, selain debit airnya kecil juga berada jauh dari kota sehingga pembangunananya membutuhkan biaya yang sangat besar.

2.2. Energi dan sumber daya alam terbarukan

Energi ialah kemampuan melakukan kerja/usaha selama (periode) waktu tertentu. Secara umum energi dapat dirumuskan sebagai berikut (Utomo, 2007):

- Fisika $E = F \times X$; E adalah Energi (Joule)
  F adalah gaya (Newton),
  X adalah jarak (meter)
- Elektrik $E = P \times t$; P = daya (Watt), t adalah waktu (Jam)

Energi dibedakan menjadi 2 macam yaitu energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial merupakan energi yang tersimpan dalam suatu massa tertentu terdiri atas energi mekanikal, energi medan listrik, energi medan magnet, energi termal, energi gas dan lain-lain. Energi Kinetik merupakan energi yang terjadi karena gerak mekanik dari suatu massa dengan kecepatan tertentu (Utomo, 2007).

Berdasarkan klasifikasi yang didasarkan pada rasio (perbandingan) antara waktu yang diperlukan untuk siklus keberadan suatu sumber daya energi T_E, dengan usia generasi kehidupan (manusia) T_G, maka energi dapat dibedakan menjadi 3 yakni (Utomo, 2007):

1. Energi tak terbarukan (*non rewable energi*) bila:

   $TE/TG \cong \infty$; TE adalah sumberdaya energi
   TG adalah kehidupan sepanjang masa

   Contoh : energi fosil (minyak dan gas bumi, batubara).
2. Energi terbarukan (*renewable energi*), bila:

   $TE/TG < 1$

   Contoh : energi air, energi biomassa, panas bumi dsb.
3. Energi baru dan terbarukan (*new energi*), bila:

   $TE/TG \cong 0$

   Contoh : energi angin, energi surya

Jenis-jenis sumber energi baru dan terbarukan (Energi air terjun, Energi air kelautan) adalah:

- Energi ombak dan arus laut – mekanik.
- Energi gelombang laut – mekanik.
- Energi pasang surut – mekanik.
- Energi panas laut – termal,

Jenis energi terbarukan lainnya adalah seperti: energi panas bumi, energi surya, energi angin, energi biomassa, dan energi hidrogen.

2.3. Pembangkit Listrik Mikro Hidro

Pembangkit listrik mikrohidro adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi air (aliran air anak sungai) sebagai energi penggerak generator pembangkit listriknya. Kondisi air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumberdaya (*resources*) penghasil listrik memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari sistem saluran airnya. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga listrik (Ketut, 2009) .

Pembangkit listrik mikrohidro kapasitas dan ketinggian aliran mengacu pada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*). Beda ketinggian tempat dari titik pengamatan debit aliran sampai ke bangunan PLTMH dikenal dengan istilah *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *clean resources* karena pembangkit listrik ini mengunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Dalam praktek penggunaannya pembangkit mikro hidro sama dengan mini hidro. Yang membedakan adalah daya output yang dihasilkan. Mikrohidro daya *output* adalah 100 – 500 kilo watt, dan mini hidro *output* daya listriknya adalah 500 – 1000 kilo watt (Arismunandar dan Kuwahara, 2000).

Macaringue (2009), menunjukkan bahwa persyaratan utama yang harus dipertimbangkan ketika membangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro adalah:

1. Curah hujan dan limpasan yang tersedia sepanjang waktu.
2. Memiliki ketinggian jatuh air (*head*)

3. Saluran air yang akan menjadi energi penggerak turbin
4. Power house sebagai rumah turbin dan peralatan pembangkit listrik lainnya
5. Saluran pembuangan air.

Secara teknis mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu: aliran air (merupakan sumber energi penggerak); turbin (menghasilkan energi pemutar generator); dan generator (menghasilkan energi listrik). Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu (sebagai *power house*) menuju sistem turbin. Turbin berputar menggerakkan generator dan generator akan menghasilkan energi listrik sesuai kapasitasnya. Listrik yang dihasilkan disalurkan ke pengguna dengan terlebih dahulu diatur pada panel control pembangkit listrik.

Kebanyakan PLTMH dibangun dengan sistim aliran air sungai (*runoff river*), dimana air sungai dialirkan pada saluran yang dibuat dengan konstruksi tertentu untuk menghasilkan energi aliran air yang besar untuk memutar turbin. Biaya pembangunan *runoff river* lebih ekonomis dibandingkan dengan sistim penampungan air (*reservoir*) yang memerlukan bedungan dan area genangan yang luas.

Salah satu contoh bangunan Pembangkit Listrik Mikro Hidro di Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah disajikan pada Gambar 2.1.

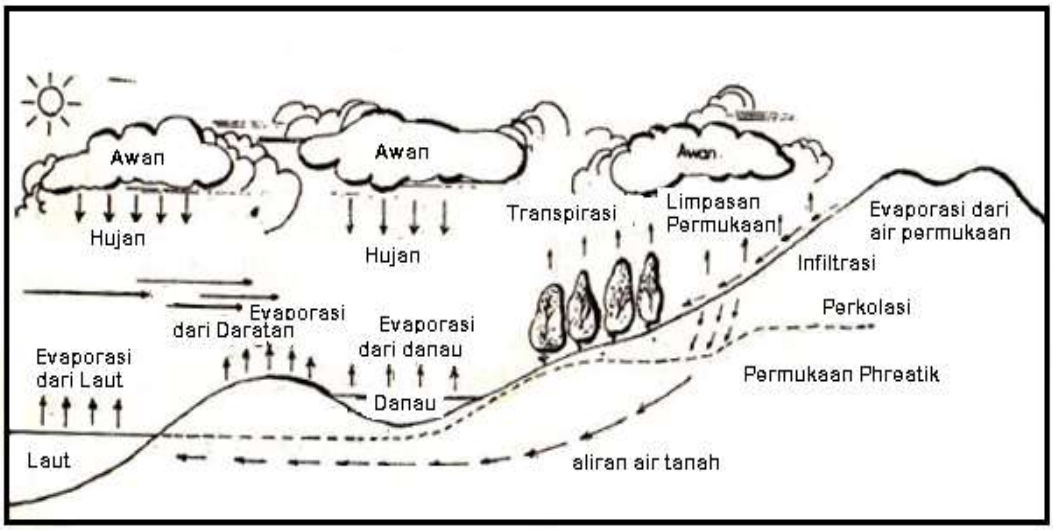
Gambar 2.1. Bangunan pembangkit listrik mikro hidro
Sumber: www.bisnis-kti.com, (2014)

2.4. Siklus hidrologi

Secara keseluruhan banyaknya air di planet bumi relatif tetap dari masa ke masa. Air di bumi mengalami suatu siklus melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung terus-menerus. Di mana kita tidak tahu kapan dan dari mana berawalnya dan kapan pula akan berakhir. Serangkaian peristiwa tersebut dinamakan siklus hidrologi (Sri-Harto, 1993).

Siklus hidrologi adalah suatu rangkaian proses yang terjadi dengan air yang terdiri dari penguapan, presipitasi, infiltrasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut. Penguapan dari daratan terdiri dari evaporasi dan transpirasi. Evaporasi merupakan proses menguapnya air dari permukaan tanah,sedangkan transpirasi adalah proses menguapnya air dari tanaman. Uap yang dihasilkan mengalami kondensasi dan dipadatkan membentuk awan-awan yang nantinya dapat kembali menjadi air dan turun sebagai presipitasi. Sebelum tiba di permukaan bumi presipitasi tersebut sebagian langsung menguap ke udara, sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan sebagian lagi mencapai permukaan tanah. Presipitasi yang tertahan oleh tumbuh-tumbuhan sebagian akan diuapkan dan sebagian lagi mengalir melalui daun (*trough flow*) mengalir melalui dahan (*steam flow*) dan akhirnya sampai ke permukaan tanah (Sri-Harto, 1993).

Air yang sampai ke permukaan tanah sebagian akan terinfiltrasi dan sebagian lagi mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ketempat yang lebih rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya masuk ke laut. Dalam perjalanan menuju ke laut sebagian akan mengalami penguapan. Air yang masuk ke dalam tanah sebagian akan keluar lagi menuju sungai yang disebut dengan aliran intra (*interflow*). Sebagian lagi akan terus turun dan masuk lagi kedalam air tanah yang keluar sedikit demi sedikit dan masuk ke dalam sungai sebagai aliran bawah tanah (*groundwater flow*), dan begitu seterusnya. Proses mengenai siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Daur Hidrologi (Sumber: Soemarto,1999)

Karena siklus hidrologi merupakan sutu sistem tertutup, maka air yang masuk selalu sama dengan yang keluar. Hal ini dikenal dengan istilah neraca air. (Soemarto, 1999)

2.5. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS), dalam istilah asing disebut *catchmen area*, *river basin*, atau *watershed*. DAS adalah suatu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggung bukit yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkan hujan yang jatuh di atasnya baik dalam bentuk aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan aliran bawah tanah ke sungai dan akhirnya bermuara ke danau atau laut. Wilayah daratan tersebut dinamakan Daerah Tangkapan Air (DTA atau *catchmen* area) yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam (Asdak, 2007).

DAS dapat diumpamakan sebagai suatu cekungan yang miring dari hulu ke hilir, sehingga semua air hujan yang jatuh pada batas topografi akan mengalir ke sungai. Wilayah DAS dibedakan menjadi tiga, yaitu DAS kecil (luas kurang dari 250 ha), DAS sedang (luas 250 – 500.000 ha), dan DAS besar (lebih dari

500.000 ha) (Gorgens, 1983). Dalam pendefinisian DAS pemahaman akan konsep daur hidrologi sangat diperlukan terutama untuk melihat masukan berupa curah hujan yang selanjutnya didistribusikan melalui beberapa cara seperti diperlihatkan pada gambar daur hidrologi di atas.

Konsep daur hidrologi DAS menjelaskan bahwa air hujan langsung sampai ke permukaan tanah untuk kemudian terbagi menjadi air larian, evaporasi dan air infiltrasi, yang kemudian akan mengalir ke sungai sebagai debit aliran (Ponce, 1989). DAS yang sangat luas bias terdiri dari beberapa sub DAS, dan sub DAS dapat terdiri dari beberapa sub-sub DAS, tergantung banyaknya anak sungai yang ada, yang merupakan bagian dari suatu sistem sungai utama. DAS merupakan ekosistem yang terdiri dari beberapa macam komponen dan terjadi kesinambungan dinamik antara komponen yang merupakan masukan (*input*) dan komponen yang merupakan keluaran (*output*), di mana keadaan atau pengaruh yang berlaku pada salah satu bagian di dalamnya akan mempengaruhi wilayah secara keseluruhan (Chow *et al*., 1988).

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1978), berdasarkan perbedaan debit banjir yang terjadi, bentuk DAS dapat dibedakan menjadi tiga bentuk, yaitu:

1). DAS bentuk bulu burung

Suatu daerah pengaliran yang mempunyai jalur daerah di kiri kanan sungai utama, dimana anak-anak sungai mengalir ke sungai utama. Daerah pengaliran bentuk bulu burung mempunyai debit banjir yang kecil, oleh karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai itu berbeda-beda. Sebaliknya jika terjadi banjir, akan berlangsung dengan waktu yang agak lama.

2). DAS bentuk radial

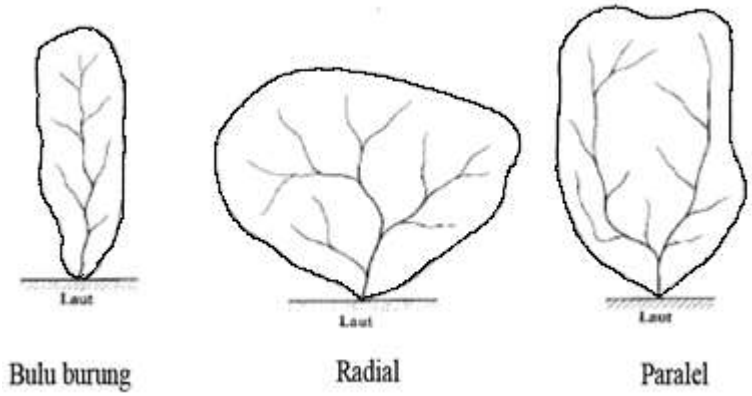
Daerah pengaliran yang berbentuk kipas atau lingkaran dan dimana anak-anak sungainya mengkonsentrasi kesutau titik secara radial. Daerah pengaliran semacam ini mempunyai banjir yang besar di dekat titik pertemuan anak-anak sungai.

3). DAS bentuk paralel

Daerah pengaliran ini mempunyai corak, dimana dua jalur daerah

pengaliran yang bersatu di bagian hilir. Banjir akan terjadi di sebelah hilir titik pertemuan sungai.

Ketiga bentuk DAS tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Berbagai macam bentuk DAS
Sumber: Sosrodarsono dan Takeda (1978).

DAS adalah kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografi (berupa igir) yang menangkap hujan, menyimpan, dan mengalirkan air hujan melalui system sungai dan keluar kawasan tertentu melalui titik pelepasan sungai atau *single outlet*.

Morfometri (bentuk dan ukuran) DAS, sangat berpengaruh terhadap bentuk hidrograf aliran. Identifikasi morfometri DAS yang penting untuk menghasilkan hidrograf aliran adalah menyangkut (Asriningtyas, 2007):

1. Luas DAS

DAS dibatasi oleh igir pegunungan yang berfungsi sebagai batas (*river divide*) dan akhirnya mengalirkan air hujan yang bertemu pada satu outlet. Akibatnya, semakin luas suatu DAS, hasil akhir (*water yield*) yang diperoleh akan semakin besar, karena hujan yang ditangkap juga semakin banyak.

2. Titik berat (*center of grafity)*

Titik pusat DAS atau titik pusat gaya berat (*center of grafity*) merupakan titik imajiner yang dianggap sebagai pusat DAS. Penentuan titik ini diperlukan untuk penghitungan model hidrologi suatu DAS, misalnya dengan metoda HSS Gama I. Penentuan titik berat dapat dilakukan dengan cara manual dan digital. Penentuan dengan cara manual yaitu dengan menggunakan grid (hampir sama

dengan menghitung luas DAS). Pada kertas grid sumbu Y merupakan grid vertikal dan sumbu X merupakan grid horizontal. Titik berat DAS adalah rata-rata jumlah perkalian antara sumbu X dengan jumlah noktah pada tiap jalur sumbu (dan juga sumbu y), yang termasuk ke dalam area DAS dibagi jumlah noktah, dengan menggunakan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum (x_i . n_{x_i})}{\sum n} \qquad \bar{y} = \frac{\sum (x_i . n_{y_i})}{\sum n}$$

keterangan:

n = jumlah titik grid dalam DAS

n_{xi} = jumlah titik potong menurut sumbu x dalam DAS

n_{yi} = jumlah titik potong menurut sumbu y dalam DAS

i = nomor grid (1,2,3 …dst)

3. Panjang sungai utama (L) dan panjang sungai sampai pada titik berat (Lca)

   Panjang sungai utama diukur mulai dari outlet sungai ke ujung DAS di hulunya. Apabila terdapat perpotongan sungai maka digunakan cara horton yaitu:

   a. Apabila sudut yang terbentuk sama, maka sungai utama adalah sungai yang paling panjang.
   b. Apabila sudut yang terbentuk tidak sama, maka sungai utama adalah yang memiliki sudut terkecil.
   c. Panjang sungai sampai pada titik berat (Lca) adalah panjang sungai yang diukur mulai dari titik outlet menyusuri sungai utama sampai ke titik berat (*center of grafity*).

4. Kemiringan Sungai

   Kemiringan sungai dapat dihitung dengan menggunakan cara *average slope* dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{H}{L}$$

dalam hal ini:

S = kemiringan sungai

L = Panjang sungai Utama

H = beda tinggi antara outlet DAS dengan hulu DAS.

5. Kemiringan DAS

Kemiringan DAS rata-rata (*basin slope*) ditetapkan dengan analisa garis kontur. Pada daerah/wilayah yang mempunyai total panjang garis kontur makin panjang maka kemiringan DAS akan lebih besar dari pada total panjang garis kontur yang pendek. Kemiringan DAS dihitung dengan persamaan (Chow *et al*., 1988):

$$S_b = mh/A,$$

Keterangan:
S_b = *basin slope*
m = total panjang garis kontur (meter)
h = kontur interval (meter)
A = Luas DAS (m^2)

6. Luas DAS daerah hulu (A_u), Lebar garis pada 0,75 L (W_u) dan Lebar garis pada 0,25 L (W_l).

Daerah DAS hulu ditentukan dengan membuat garis lurus yang tegak lurus dengan sungai utama serat melewati titik berat DAS sehingga DAS terbagi menjadi dua bagian yaitu wilayah hulu dan wilayah hilir. W_u diukur mulai dari outlet DAS sampai dengan panjang 0,75 kali dari keseluruhan panjang sungai utama, sedangkan W_i diukur 0,25 kali dari keseluruhan panjang sungai utama.

7. Panjang sungai orde 1 (L_1)

Adalah menghitung panjang semua sungai yang dikatagorikan sebagai sungai orde 1. Sungai orde 1 adalah sungai paling ujung dan tidak memiliki percabangan lagi.

8. Panjang semua sungai (L_i)

Adalah menghitung panjang seluruh sungai yang ada pada cakupan DAS, baik yang merupakan orde 1, orde 2 dan seterusnya.

9. Jumlah sungai orde 1 (ST_1)

Merupakan jumlah seluruh sungai yang termasuk katagori orde 1.

10. Jumlah semua sungai (St_i)

Merupakan jumlah seluruh sungai yang ada dalam cakupan wilayah suatu DAS.

Sungai mempunyai fungsi untuk mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirnya ke laut. Daerah pengaliran merupakan suatu wilayah dimana terdapat sungai utama dan anak-anak sungai mengalirkan airnya ke sungai tersebut. Luas daerah pengaliran dapat diperkirakan melalui peta topografi. Luas daerah pengaliran berpengaruh terhadap besarnya debit yang terjadi. Semakin besar daerah pengaliran maka debit pengaliran akan semakin besar.

2.6. Hujan

Hujan terjadi sebagai akibat adanya massa udara yang menjadi dingin, mencapai suhu di bawah titik embunnya dan terdapat inti higroskopik yang dapat memulai pembentukan melekul air. Apabila massa udara terangkat ke atas dan menjadi dingin karena ekspansi adiabatic, dan mencapai ketinggian yang memungkinkan terjadinya kondensasi, maka akan terbentuk awan. Hujan hanya akan terjadi apabila molekul-molekul air hujan sudah mencapai ukuran sekitar 1-10 mikron (Barry, 1971 dalam Sri-Harto, 2000).

Tipe hujan dibedakan menurut cara naiknya udara ke atas yakni sebagai berikut (Triatmojo, 2010):

1. Hujan konvektif

   Merupakan hujan yang terjadi akibat pemanasan intensif udara yang berada di dekat pemukaan tanah yang menyebabkan massa udara berkurang sehingga udara basah naik ke atas dan mengalami pendinginan/kondensasi menjadi butiran air yang turun ke bumi sebagai hujan. Hujan konvektif bersifat setempat, mempunyai intensitas tinggi dan durasi yang singkat.

2. Hujan siklonik

   Merupakan hujan yang terjadi akibat massa udara panas yang relatif ringan bertemu dengan massa udara yang relatif berat, maka udara tersebut akan bergerak di atas udara dingin. Udara yang bergerak ke atas mengalami pendinginan/kondensasi menjadi butiran air dan turun ke bumi sebagai hujan. Hujan siklonik mempunyai sifat tidak terlalu lebat dan berlangsung dalam waktu lebih lama.

3. Hujan orografis

Merupakan hujan yang terjadi akibat udara lembab yang tertiup angin melintasi daerah pegunungan bergerak naik ke atas membentuk awan dan mengalami pendinginan/kondensasi menjadi butiran air, turun ke bumi sebagai hujan. Sisi gunung yang dilalui udara tersebut banyak mendapatkan hujan atau biasa disebut daerah lereng hujan. Sisi lain yang dilalui udara kering/uap air biasanya hujannya lebih sedikit atau disebut lereng bayangan hujan. Hujan orografis mempunyai sifat berubah ubah tergantung arah angin dan tekanan udara. Hujan yang terjadi di daerah pegunungan (hulu DAS) merupakan pemasok air tanah, danau, dan sungai.

Secara konseptual ditunjukkan bahwa hujan jatuh pada permukaan vegetasi, permukaan tanah dan badan air (sungai dan danau) suatu DAS. Pada sistem hidrologi alami, banyak air hujan kembali ke atmosfir melalui evaporasi dari vegetasi, permukaan tanah, badan air, serta melalui transpirasi dari vegetasi. Selama kejadian hujan lebat, proses evaporasi dan transpirasi terbatas. Sebagian hujan yang jatuh pada vegetasi melalui dedaunan, batang ranting dan batang pohon menuju ke permukaan tanah, dimana air ini bergabung dengan air hujan yang jatuh secara langsung pada permukaan tanah. Di permukaan tanah, air bisa tertahan tergantung pada tipe tanah, penutup tanah, kelembapan sebelumnya dan karakteristik DAS lainnya, serta sebagian terinfiltrasi ke dalam tanah (Barry, 1971 dalam Sri-Harto, 2000).

Air yang terinfiltrasi disimpan sementara pada lapisan tanah atas, dan sebagian lagi masuk (terperkolasi) pada bagian tanah yang lebih dalam dan tersimpan sebagai air artesis. Air yang tersimpan akan naik lagi ke permukaan akibat gaya kapilaritas, bergerak secara horizontal sebagai *interflow* hanya di bawah lapisan permukaan tanah. Air yang bergerak menjadi aliran antara menuju ke sungai. Air pada akuifer bergerak secara lambat dan menuju ke sungai sebagai *baseflow*. Air yang tidak tertahan atau terinfiltrasi bergerak sebagai *overlandflow* menuju ke sungai. Sungai merupakan titik gabungan aliran air atau limpasan (*runoff*). Hasil aliran sungai adalah total seluruh aliran keluaran suatu DAS

(Sujono, 1999).

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam suatu sistem hidrologi. Hujan yang jatuh pada suatu tempat mempunyai karakteristik tertentu yang meliputi: sebaran keruangan, intensitas hujan, lama hujan dan kualitas air hujan (Hadi, 2003). Hujan yang jatuh di permukaan bumi merupakan curah hujan dinyatakan sebagai ketebalan air hujan (biasanya dalam satuan mm), dianggap terdistribusi secara merata pada seluruh daerah tangkapan air. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu (dalam satuan mm/jam atau mm/hari) yang sering disebut hujan jam-jaman atau hujan harian (Triatmojo, 2010).

Curah hujan tidak bertambah seiring dengan waktu. Semakin lama durasi hujan semakin kecil karena berkurangnya hujan yang jatuh ke bumi. Keadaan hujan berdasarkan intensitas hujan di bagi atas beberapa bagian seperti digambarkan oleh Sosrodarsono dan Takeda (1978) pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Keadaan Hujan dan Intensitas Hujan

Keadaan Hujan	Intensitas Hujan (mm/jam)	
	1 Jam	24 Jam
Hujan sangat ringan	< 1	< 5
Hujan ringan	1-5	5-20
Hujan normal	5-10	20-50
Hujan lebat	10-20	50-100
Hujan sangat lebat	>20	> 100

Sumber: Sosrodarsono dan Takeda (1978)

Intensitas hujan, lama hujan dan penyebarannya akan mempengaruhi banyaknya air yang tertimbun dalam simpanan DAS (*catchment area*), mempengaruhi infiltrasi dan limpasan, yang semuanya akan berpengaruh terhadap erosi dan sumberdaya air secara keseluruhan. Penyebaran hujan pada suatu daerah dapat dipantau dengan pemasangan sukat hujan yang tersebar mewakili daerah yang dikaji. Sebaran hujan mempunyai karakteristik tertentu, yaitu cenderung

mempunyai sebaran yang mengelompok (*clustered*). Oleh karena itu kajian mengenai sebaran hujan tergantung pada luasan daerah. Makin kecil luasan daerah kajian, makin homogen sebaran hujannya (Neal *et al*., 1992).

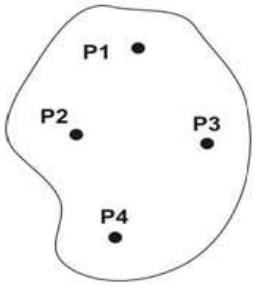
2.6.1. Distribusi curah hujan dalam Daerah Aliran Sungai

Pada umumnya pusat dari curah hujan itu tidak diam, namun bergerak karena adanya proses alamiah pada proses hujan. Jika suatu durasi hujan lebat bergerak sepanjang sistem aliran sungai akan sangat berpengaruh pada lamanya limpasan permukaan dan juga lokasi terjadinya limpasan permukaan. Hal ini menyebabkan limpasan permukaan tidak akan terjadi pada satu titik saja, sama halnya dengan daerah genangan. Jika distribusi curah hujan berubah untuk selang waktu tertentu, akan menyebabkan perubahan letak dari daerah yang memiliki limpasan permukaan besar, dan akan mengakibatkan perubahan tempat terjadinya genangan sesuai dengan distribusi curah hujan tersebut terjadi. Masing-masing daerah kemiringan ini akan memberikan kontribusi yang berbeda terhadap nilai koefisien limpasan permukaan (C), dan akhirnya akan berpengaruh terhadap jumlah limpasan permukaan yang terjadi di daerah tersebut (Sosrodarsono dan Takeda, 1978).

Curah hujan wilayah/daerah merupakan curah hujan rata-rata pada daerah yang bersangkutan yang diperlukan untuk menyusun suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir. Cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah dengan cara (Sosrodarsono dan Takeda, 1978): (1) Cara rata-rata aljabar, (2) Cara poligon thiessen, dan (3) Cara isohiet.

1. Cara Rata-rata Aljabar

Cara ini merupakan cara yang paling sederhana yaitu hanya dengan membagi rata pengukuran pada semua stasiun hujan dengan jumlah stasiun dalam wilayah tersebut. Sesuai dengan kesederhanaannya maka cara ini hanya disarankan digunakan untuk wilayah yang relatif mendatar dan memiliki sifat hujan yang relatif homogen dan tidak terlalu kasar seperti disajikan pada Gambar 2.4.



$$\bar{P} = \frac{P1 + P2 + P3 + P4}{4}$$

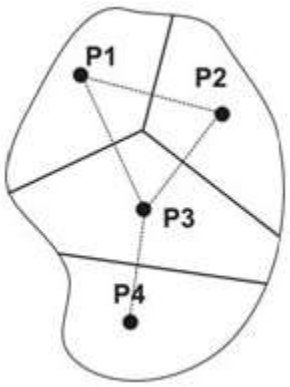
Keterangan:

$\bar{P}$ = hujan rata-rata

P1, P2, P3, P4 = tebal hujan setasiun 1, 2, 3 dan 4

Gambar 2.4, Pengukuran hujan rata-rata Aljabar

Cara ini selain memperhatikan tebal hujan dan jumlah stasiun, juga memperkirakan luas wilayah yang diwakili oleh masing-masing stasiun untuk digunakan sebagai salah satu faktor dalam menghitung hujan rata-rata daerah yang bersangkutan. Poligon dibuat dengan cara menghubungkan garis-garis berat diagonal terpendek dari para stasiun hujan yang ada seperti disajikan pada Gambar 2.5.



$$\bar{P} = \frac{1A1 + P2A2 + P3A3 + P4A}{A1 + A2 + A3 + A4}$$

Keterangan:

$\bar{P}$ = hujan rata-rata

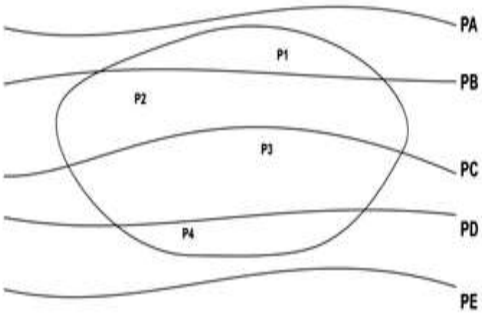
P1, P2, P3, P4 = tebal hujan setasiun 1, 2, 3 dan 4

A1, A2, A3, A4 = luas wilayah yang diwakili oleh stasiun 1,2,3,4.

Gambar 2.5, Pengukuran hujan rata-rata *Poligon Thiesen*

3. Cara Isohiet

Isohiet adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai tinggi hujan yang sama. Metode ini menggunakan isohiet sebagai garis-garis yang membagi daerah aliran sungai menjadi daerah-daerah yang diwakili oleh stasiun-stasiun yang bersangkutan, yang luasnya dipakai sebagai faktor koreksi dalam perhitungan hujan rata-rata seperti Gambar 2.6.



$$P1 = \frac{PA + PB}{2} \qquad P2 = \frac{PB + PC}{2}$$

$$P3 = \frac{PC + PD}{2} \qquad P4 = \frac{PD + PE}{2}$$

$$\bar{P} = \frac{P1A1 + P2A2 + P3A3 + P4A}{A1 + A2 + A3 + A4}$$

Ket.
PA, PB, PC, PD = Tebal hujan pada isohiet A,B,C,D

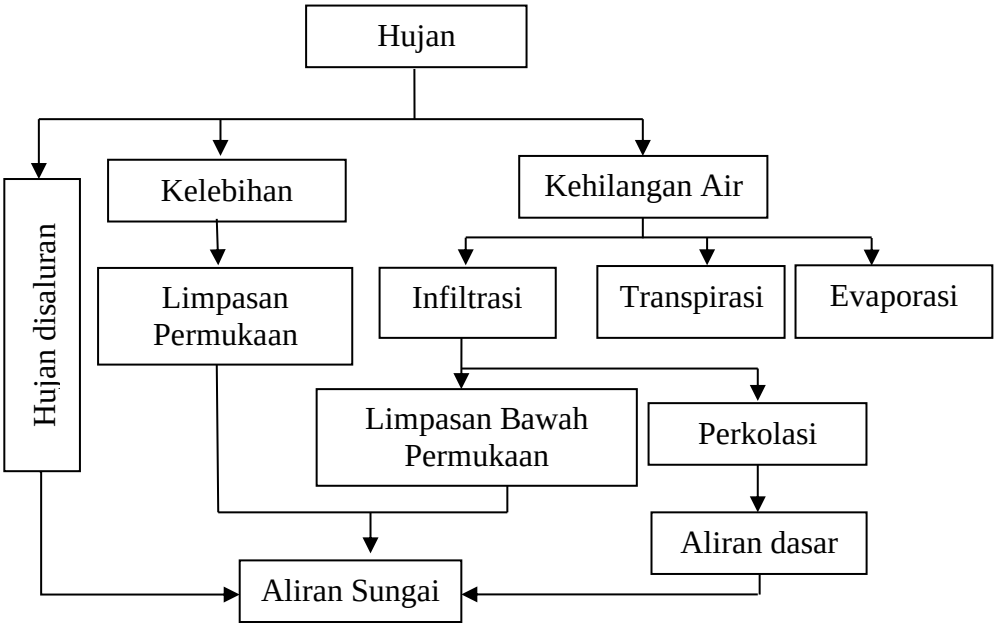
Gambar 2.6, Pengukuran hujan rata-rata isohiet

2.6.2. Proses hujan menjadi aliran sungai

Secara konseptual hujan jatuh pada permukaan tanah, vegetasi, badan air (sungai dan danau) pada suatu DAS. Pada sistem hidrologi alami banyak juga hujan yg jatuh ke bumi kembali lagi ke atmosfer melalui evaporasi dari vegetasi, permukaan tanah, badan air atau melalui transpirasi dari vegetasi. Selama kejadian hujan lebat, proses evaporasi dan transpirasi terbatas.

Sebagian air yang jatuh pada vegetasi melalui dedaunan atau batang, ranting menuju permukaan tanah dan akan bergabung dengan air hujan yang jatuh ke permukaan tanah. Air akan masuk ke dalam lapisan tanah atas (infiltrasi) dan masuk ke lapisan bagian bawah (perkolasi), atau menjadi aliran langsung di atas tanah (*runoff*). Air yang terinfiltrasi akan mengalir sebagai *interflow* atau sebagai *overlandflow* karena adanya gaya kapilaritas dan bergerak ke sungai atau badan air lainnya. Air yang terperkolasi akan mengalir ke akuifer air bawah tanah dan sebagian secara lambat mengalir sebagai *baseflow* ke sungai.

Sungai merupakan titik gabungan limpasan hujan yang jatuh secara langsung pada badan air, aliran antara, dan aliran dasar. Hasil aliran sungai adalah total aliran keluaran suatu DAS (Seyhan, 1997). setiap model hidrologi hendaknya mampu mengikuti seluruh proses pengubahan hujan menjadi aliran dalam daur hidrologi atau proses hujan menjadi aliran pada suatu DAS seperti disajikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses hujan menjadi aliran pada suatu DAS
(Seyhan, 1997, dengan modifikasi).

2.6.3. Hujan efektif

Hujan efektif adalah bagian dari hujan yang menjadi limpasan langsung (*direct runoff*) pada permukaan tanah. Hujan efektif ini adalah sama dengan hujan total yang jatuh di permukaan tanah dikurangi dengan kehilangan air. Kehilangan air yang juga sering sebagai abstraksi (*abstraction*) meliputi air yang hilang karena terinfiltrasi, tertahan di dalam cekukan-cekukan permukaan (*depression storage*), dan karena penguapan. Untuk hujan deras yang terjadi dalam waktu singkat, maka penguapan dapat diabaikan (Ponce, 1989). Hujan lebih besar dari 10 mm sudah merupakan hujan deras, sehingga terdapat kemungkinan mengakibatkan banjir (Soemarto, 1999).

Hujan yang jatuh di permukaan tanah merupakan fungsi waktu yang biasanya dinyatakan dalam bentuk histogram. Histogram hujan efektif diperoleh dengan mengurangkan kehilangan air terhadap histogram hujan total. Histogram hujan efektif sangat penting dalam analisis hubungan hujan limpasan, dan untuk mendapatkan hujan efektif perlu dicari besarnya kehilangan air (Triatmojo, 2010).

Salah satu cara untuk mencari kehilangan air guna menghitung aliran langsung adalah dengan menggunakan metode Φ indeks. Nilai Φ indeks adalah laju kehilangan air yang disebabkan karena infiltrasi, tampungan permukaan dan penguapan.

$$\Phi_{\text{indeks}} = \frac{F}{Tr} = \frac{P-Q}{Tr} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.12)$$

dengan F = Infiltrasi total
P = Hujan total
Q = Aliran permukaan total
Tr = Waktu terjadinya hujan

2.7. Simpanan air dalam tanah

Secara umum, tanah yang berkembang telah menjadi beberapa lapisan. Lapisan tanah disebut horizon, dan hanya dapat terlihat di lapisan tanah yang tersingkap. Secara umum terdapat empat lapisan horizon dalam profil tanah. Ketebalan lapisan berfariasi tergantung lokasi dan kondisi. Dalam kondisi 'terganggu' tidak semua horizon akan ada. Di bagian atas adalah horizon 'O' yang terdiri dari bahan organik seperti serasah dedaunan di permukaan atas. Sementara pada kedalaman lebih rendah semua tanda-tanda stuktur vegetasi telah hancur oleh dekompesasi. Bahan organik yang membusuk atau humus dapat memperkaya tanah dengan nutrient (nitrogen, kalium) dan mendukung terbentuknya struktur tanah (pengukatan partikel) sehingga meningkatkan retensi kelembaban tanah. Lapisan ini memberikan pengaruh besar terhadap limpasan permukaan (*surface runoff*), perkolasi dan evaporasi (Soerianegara, 1978).

Di bawah lapisan O terdapat humus atau horizon 'A' yang menandai awal dari tanah mineral. Horizon A adalah lapisan tipis (biasanya kurang dari 30 cm) terdapat akar yang paling banyak dan banyak aktivitas biologis. Di bawah horizon A adalah horizon 'B' atau disebut sub-tanah. Horizon B biasanya berwarna terang, padat dan mengandung sedikit bahan organik. Horizon sub-sub tanah adalah zona akumulasi yang terbentuk karena sebagian besar bahan pencucian dari humus menumpuk di sini. Lapisan ini dapat bervariasi dalam ketebalan dari beberapa centimeter hingga satu meter atau lebih. Horizon 'C' terletak di bawah

horizon sub-tanah dan disebut bahan induk. Bahan induk adalah bahan asli dari tanah yang telah berkembang. Horizon induk memiliki komposisi berupa pasir, kerikil, batu besar dalam berbagai ukuran. Horizon C memiliki ciri khas pengatusan buruk. Horizon bawah lapisan bahan induk atau terbawah adalah horizon 'D' yang disebut sebagai *badrock*. Horizon D dapat ditemukan pada singkapan profil tanah di daerah pegunungan. Karakteristik horizon D adalah drainase yang buruk bahkan ada yang kedap air (*impermeable*) (Sutanto, 2005).

Jumlah air maksimum yang dapat disimpan dalam tanah ditentukan oleh porositas (persentase volume tanah yang berupa pori-pori terhadap volume totalnya). Dalam kondisi kandungan maksimum ini tanah disebut dalam keadaan jenuh, sehingga kadar kelembaban air jenuh sama dengan porositas. Apabila air mengalir keluar dari profil tanah, maka pori-pori tanah sedikit demi sedikit mulai kosong, tetapi terdapat sejumlah air yang tidak dapat keluar, sebab butir-butir air dipengaruhi adanya gaya kapiler dari pori-pori yang terdekat. Kecepatan drainase tanah akan menurun dengan cepat sebagaimana kebasahan tanah berkurang (Martha dan Adidarma, 1999).

Jenis tanah merupakan faktor yang memberikan kontribusi cukup besar dalam penentuan koefisien limpasan permukaan (C). Menurut Hakim dkk., (1986) jenis tekstur tanah dapat digolongkan berdasarkan kandungan pasir, debu dan tanah liat dimana deskripsi untuk masing-masingnya adalah:

1. Tanah berpasir adalah tanah dimana kandungan pasirnya 70% dan dalam keadaan lembab akan terasa kasar dan tidak lekat.
2. Tanah berlempung adalah tanah dimana kandungan debu dan tanah liatnya relatif sama.
3. Tanah liat adalah tanah yang kandungan tanah liatnya antara 35% dan 40%.

2.8. Evaporasi dan evapotranspirasi

Evaporasi atau penguapan merupakan faktor penting dalam studi tentang perhitungan sumberdaya air. Evaporasi sangat mempengaruhi suatu debit sungai,

besar kapasitas waduk, besar kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan konsumtif untuk tanaman, analisis ketersediaan air dan lain sebagainya. Air akan menguap dari semua kondisi tanah, baik air di tanah terbuka atau tertutup oleh tanaman dan pepohonan, maupun tanah dengan permukaan tidak tembus air seperti atap rumah, jalan raya dan saat di aliran sungai. Laju evaporasi akan berubah-ubah menurut warna dan sifat pantulan permukaan. Hal ini berbeda untuk permukaan yang langsung tersinari oleh matahari dan yang terlindung dari sinar matahari (Soemarto, 1999).

Evapotranspirasi merupakan proses evaporasi dan transpirasi yang berkaitan dengan apa yang terjadi pada tanah yang tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Proses transpirasi berjalan terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari. Pada malam hari pori-pori daun yang disebut stomata menutup, yang menyebabkan terhentinya proses transpirasi dengan drastis. Proses evaporasi dapat berjalan terus selama ada masukan energi panas. Oleh karena itu bagian terbesar jumlah evaporasi diperoleh pada saat siang hari.

Faktor penting lain adalah adanya air yang cukup banyak. Jika jumlah air terlalu banyak dari yang dibutuhkan oleh tanaman maka jumlah air yang di traspirasikan akan lebih besar dibandingkan dengan apabila tersedianya air di bawah kebutuhan (Soemarto, 1999).

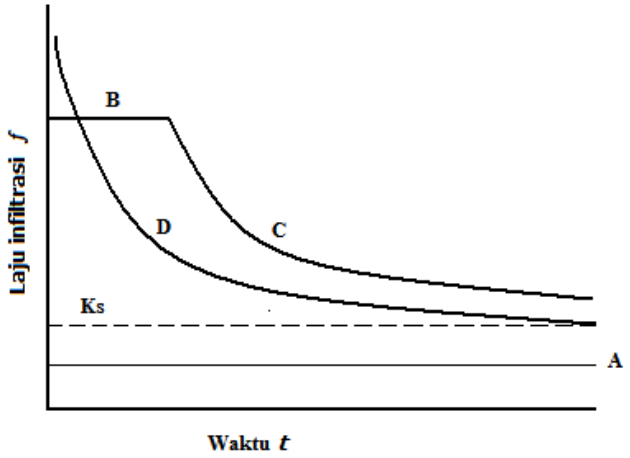
2.9. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses bergeraknya air meresap ke dalam solum tanah, karena pengaruh tenaga grafitasi bumi dan sifat kenaikan-merambut tanah. Besarnya laju infiltrasi sangat mempengaruhi lamanya aliran permukaan mencapai sistem sungai. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh faktor-faktor: tipe penutup lahan, topografi permukaan tanah, temperatur tanah, intensitas hujan, karakteristik fisik dan kimiawi tanah, dan kualitas air (Seyhan, 1997).

Pemodelan-pemodelan infiltrasi yang banyak digunakan dan telah dikembangkan, seperti model Horton (1930), model Green-Ampt (1911),(1973), dan (1978), Philip (1954), model Stanford Watershed (1966), dan masih banyak

model-model yang merupakan kombinasi dan modifikasi model yang telah ada. Oleh karena itu harus dilakukan pemilihan model infiltrasi yang sesuai untuk diterapkan secara praktis pada satuan-satuan pemetaan dalam daerah kajian.

Bedient dan Huber (1992), menggambarkan karakteristik infiltrasi dengan kurva hubungan laju infiltrasi dengan waktu saat mulai perhitungan infiltrasi. Gambar kurva diberikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8, Kurva hubungan antara laju infiltrasi dan waktu
(Sumber: Mein dan Larson, 1973)

Bila laju hujan yang jatuh lebih kecil dibandingkan nilai Ks, maka laju infiltrasi sebagai fungsi waktu digambarkan kurva A. Bila laju hujan lebih besar dari Ks namun masih lebih kecil dari nilai kapasitas infiltrasi (*fp*), maka laju infiltrasi digambarkan sebagai kurva B. Bila laju hujan yang jatuh lebih besar di banding nilai kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi digambarkan kurva C dan D. Perbedaan C dan D disebabkan karena perbedaan intensitas hujan awal.

2.10. Limpasan (*overland flow*)

Limpasan (*overland)* adalah semua air yang mengalir lewat suatu sungai bergerak meninggalkan daerah tangkapan air (DAS), tanpa memperhatikan asal/jalan yang ditempuh sebelum mencapai saluran (*surface atau subsurface*) karena terjadinya air limpasan ini merupakan gabungan dari aliran air permukaan (*surface flow*) dan aliran airtanah pada waktu muka airtanah tinggi atau

merupakan gabungan dari aliran air permukaan dan aliran bawah permukaan (*subsurface flow*) pada waktu muka airtanah rendah (Mustofa, 2005).

Terdapat dua komponen utama yang menyusun aliran sungai yaitu aliran langsung dan aliran tidak langsung. Pada keadaan banjir aliran langsung memberikan kontribusi yang sangat besar dibandingkan dengan aliran airtanah. Respon hidrologi suatu (DAS), karekteristik aliran langsung perlu dikaji lebih mendalam. Sosrodarsono dan Takeda (1977), menyatakan bahwa aliran sungai tergantung dari berbagai faktor secara bersama. Faktor–faktor yang mempengaruhi limpasan terbagi dalam dua kelompok yaitu elemen–elemen meteorologi yang diwakili oleh curah hujan dan elemen–elemen daerah pengaliran yang menyatakan sifat–sifat fisik daerah pengaliran. Faktor–faktor yang termasuk kelompok elemen–elemen meteorologi adalah jenis persipitasi, intensitas curah hujan, lamanya curah hujan, distribusi curah hujan dalam daerah pengaliran, arah pergerakan curah hujan, curah hujan terlebih dahulu dan kelembaban tanah. Sedangkan faktor yang termasuk elemen daerah pengaliran adalah kondisi pengunaan tanah (*land use*), daerah pengaliran, kondisi topografi dalam daerah pengaliran dan jenis tanah.

Komponen–komponen yang merupakan sumber–sumber penyebab pengaliran di dalam sungai terdiri atas (Subarkah, 1980):

1. Aliran permukaan (*surface runoff*) berasal dari air hujan yang mencapai sungai. Jadi aliran permukaan ialah besarnya hujan dikurangi infiltrasi, intersepsi, evaporasi dan yang tertahan dibagian-bagian ledokan.
2. Aliran bawah permukaan tanah (*subsurface flow, interflow*) sebagian dari air hujan yang meresep ke dalam tanah bergerak ke arah horisontal melalui rongga–rongga di dalam tanah lapisan atas sampai memotong suatu saluran atau kembali ke luar permukaan tanah lagi di tempat-tempat yang lebih rendah. Komponen ini disebut aliran bawah permukaan tanah. Besarnya tergantung pada susunan tanahnya.
3. Aliran air tanah (*groundwater flow*), banyaknya air hujan yang meresap ke dalam tanah dan mencapai airtanah tergantung pada susunan tanahnya. Pengalirannya di dalam tanah (perkolasi) untuk mencapai saluran atau

sungai sulit dan lama sampai berbulan-bulan bahkan sampai beberapa tahun. Karena itu tidak banyak pengaruhnya pada banjir di sungai.

4. Hujan di permukaan sungainya sendiri, danau, rawa atau lain sebagainya banyaknya air hujan yang langsung masuk ke dalam sungai dapat dihitung dengan mengalikan curah hujan rata-rata dan persentase dari luas permukaan air yang berpengaruh dengan sistem pengalirannya. Persentase luas permukaan air itu berubah-ubah, tergantung pada waktu dan tinggi air sungai

Dasanto (2006), menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan digolongkan menjadi lima, yaitu faktor yang mempengaruhi volume total limpasan, faktor yang mempengaruhi distribusi waktu limpasan, faktor meteorologi, faktor DAS dan faktor manusia.

Faktor yang mempengaruhi volume total limpasan adalah banyaknya presipitasi, banyaknya evapotranspirasi, ukuran DAS dan tinggi tempat rata-rata daerah aliran sungai. Faktor yang mempengaruhi distribusi waktu limpasan adalah intensitas dan durasi presipitasi, distribusi kawasan dan arah gerak hujan. Faktor meteorologi yang mempengaruhi diantaranya adalah radiasi matahari, suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan tekanan atmosfer. Faktor DAS diantaranya adalah topografi yang meliputi bentuk daerah aliran sungai, kemiringan daerah aliran sungai, aspek daerah aliran sungai, geologi (permeabilitas dan kapasitas akifer), tipe tanah, vegetasi, jaringan drainase (tatanan sungai dan kerapatan drainase). Faktor Manusia meliputi struktur hidrolik, teknik pertanian, dan urbanisasi.

Intensitas hujan akan mempengaruhi laju dan volume *runoff*. Pada hujan dengan intensitas tinggi, kapasitas infiltrasi akan terlampaui denga beda yang cukup besar dibandingkan dengan hujan yang kurang intensif. Dengan demikian, total volume *runoff* akan lebih besar pada hujan intensif dibandingkan dengan hujan yang kurang intensif meskipun curah hujan total untuk kedua hujan tersebut sama besarnya. Namun demikian, hujan dengan intensitas tinggi dapat

menurunkan infiltrasi akibat kerusakan struktur permukaan tanah (pemadatan) yang ditimbulkan oleh tenaga kinetis hujan dan *runoff* yang dihasilkan.

Laju dan volume *runoff* suatu DAS dipengaruhi oleh penyebaran dan intensitas curah hujan di DAS yang bersangkutan. Umumnya, laju run off dan volume terbesar terjadi ketika seluruh DAS tersebut ikut berperan. Dengan kata lain, hujan turun merata di seluruh wilayah DAS yang bersangkutan. Pengaruh DAS terhadap run off adalah melalui bentuk dan ukuran (morfometri) DAS, topografi, geologi, dan tataguna lahan (jenis dan kerapatan vegetasi). Semakin besar ukuran DAS, semakin besar *runoff* dan volume *runoff*. Tetapi, baik laju maupun volume *runoff* per satuan wilayah dalam DAS tersebut turun apabila luas daerah tangkapan air (*catchment area*) bertambah besar. Beberapa pengaruh morfometri DAS, dalam hal ini terdiri atas luas, kemiringan lereng, bentuk dan kerapatan drainase DAS, terhadap besaran dan timing dari hidrograf aliran yang dihasilkan.

Kerapatan daerah aliran (*drainase*) juga merupakan faktor penting dalam menentukan kecepatan air larian. Kerapatan *drainase* adalah jumlah dari semua saluran air/sungai (km) dibagi luas DAS (km^2). Semakin tinggi kerapatan daerah aliran, semakin besar kecepatan air larian untuk curah hujan yang sama. Oleh karenanya, dengan kerapatan daerah aliran tinggi, debit puncak akan tercapai dalam waktu yang lebih cepat.

Kepadatan alur sungai, dapat digunakan sebagai parameter yang mencerminkan panjang alur sungai per satuan luas, yang dapat digunakan sebagai petunjuk kondisi pengatusan suatu DAS. Selain itu dapat digunakan sebagai pengukur tingkat erosi dan kekasaran batuan secara relatif. Sebagai contohDAS dengan tingkat kerapatan alur sungai tinggi maka tingkat erosi DAS tersebut tinggi dan kekasaran batuan rendah.

Pengaruh vegetasi dan cara bercocok tanam terhadap air larian dapat diterangkan bahwa vegetasi dapat memperlambat jalannya air larian dan memperbesar jumlah air yang tertahan di atas permukaan tanah (*surface detention*), dan dengan demikian, menurunkan laju air larian. Berkurangnya laju

dan volume air larian berkaitan dengan perubahan (penurunan) nilai koefisien air larian.

Berdasaarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam skala DAS, pola drainase nampaknya mempunyai peranan lebih menentukan daripada kerapatan drainase dalam mempengaruhi besarnya debit puncak dan lama waktu berlangsungnya debit puncak tersebut (Black, 1991 dalam Asdak, 2007).

2.10.1 Karakteristik limpasan permukaan

Limpasan dapat terdistribusikan menjadi limpasan permukaan (*surface runoff*), limpasan bawah permukaan (*subsurface runoff*), dan aliran air tanah (*groundwater flow*) (Seyhan, 1977; Chow, *et al.*, 1964). Limpasan permukaan merupakan air yang mencapai sungai melalui permukaan tanah, berasal dari curah hujan dikurangi infiltrasi, genangan, dan air yang tertahan. Limpasan permukaan mengalir ke sungai dengan volume paling besar dan kecepatan tinggi, merupakan bagian yang penting dari puncak banjir suatu sungai. Limpasan bawah permukaan merupakan limpasan yang dekan dan menyatu dengan limpasan permukaan, mengalir dalam waktu yang cukup cepat, dipengaruhi oleh struktur dan kelembaban tanah. *Baseflow* merupakan air yang meresap ke dalam tanah, mencapai permukaan air tanah dan bergerak menuju sungai dalam rentang waktu yang lama, dapat digunakan sebagai cadangan air pada musim kemarau (Setyowati, 2010).

Limpasan yang terjadi pada suatu DAS dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang mampu mempengaruhi kondisi limpasan antara lain iklim, morfometri DAS, tanah, dan penggunaan lahan. Faktor iklim meliputi jumlah hujan, intensitas hujan, lama hujan, dan distribusi hujan. Morfometri DAS meliputi luas DAS, kemiringan, kerapatan aliran, panjang sungai utama, dan bentuk DAS. Keberadaan tanah dan penggunaan lahan terdiri dari tipe tanah, permeabilitas, kelembaban, kapasitas infiltrasi, dan vegetasi penutup lahan (Seyhan, 1977). Setiap faktor mempunyai peranan yang berbeda terhadap pembentukan limpasan, meskipun limpasan yang terjadi adalah hasil dari proses yang terjadi di dalam DAS.

Perjalanan air yang mengalir dari hulu ke hilir sungai memerlukan waktu yang disebut waktu konsentrasi (*time concentration*). Waktu konsentrasi (Tc) adalah waktu perjalanan yang diperlukan oleh air dari tempat yang paling jauh (hulu sungai) sampai ke titik pengamatan aliran air (hilir sungai atau *outlet*). Hal ini terjadi ketika tanah sepanjang kedua titik tersebut telah jenuh dan semua cekukan bumi lainnya telah terisi oleh air hujan. Diasumsikan bahwa bila lama waktu hujan sama dengan Tc berarti seluruh bagian DAS telah ikut berperan untuk terjadinya limpasan air yang sampai ke titik pengamatan (Soemarto, 1999, dan Asdak, 2002).

2.10.2 Koefisien limpasan permukaan (*runoff coefficient*)

Koefisien limpasan adalah rasio jumlah limpasan terhadap jumlah curah hujan, dimana nilainya tergantung pada tekstur tanah, kemiringan lahan, dan jenis penutupan lahan. Pada daerah aliran sungai (DAS) berhutan dengan tekstur tanah liat berpasir, nilai koefisien limpasan berkisar antara 0.10 - 0.30. Pada lahan pertanian dengan tekstur tanah yang sama, nilai koefisien limpasan adalah 0.30–0.50 (Prastowo, 2003).

Koefisien limpasan adalah perbandingan antara aliran dengan curah hujan yang masuk. Bagian dari air hujan yang menjadi aliran dapat dipandang sebagai suatu respon DAS. Koefisien limpasan dapat dikategorikan berdasarkan koefisien aliran tahunan yang dapat dipakai sebagai petunjuk kehilangan air dari sistem DAS, serta koefisien aliran sesaat yang merupakan perbandingan antara aliran sesaat yang disebabkan oleh curah hujan penyebabnya. Koefisien limpasan tahunan selama beberapa kurun waktu tertentu dapat menggambarkan kondisi suatu DAS terhadap masukan air hujan yang responnya dapat menjadi gambaran kesehatan suatu DAS ditinjau dari aspek tata air (Supangat dkk., 2002),.

Koefisien limpasan permukaan, dihitung dengan menggunakan persamaan (Dariah *et al.*, 2003):

$$KR = \theta Rh/(\theta CH*Cos\theta)\theta x100\ \%$$

Dimana:

KR = Koefisien limpasan permukaan (%),

Rh =Total volume limpasan permukaan dibagi luas plot (mm),
CH = Jumlah curah hujan (mm),
θ = kemiringan lahan (derajat).

Koefisien limpasan juga dapat ditentukan dengan metode rasional. Metoda rasional menyatakan bahwa puncak limpasan pada suatu DAS akan diperoleh pada intensitas hujan maksimum yang lamanya sama dengan waktu konsentrasi (Tc). Waktu konsentrasi adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk pengaliran air dari yang paling ujung dari suatu DAS sampai ke outlet. Apabila lama hujannya kurang dari waktu konsentrasi, maka intensitasnya kemungkinan lebih besar akan tetapi luas DAS yang memberikan kontribusi terhadap debit akan lebih kecil dari total luas DAS (A). Apabila lama waktu hujan lebih besar dari waktu konsentrasi maka luas areal sama dengan total luas DAS (A) tetapi intensitasnya kurang dari intensitas hujan pada lama hujan sama dengan Tc.

Rumus metoda rasional dinyatakan (Kalsim, 2003):

a. Satuan seragam

Q = C.i.A

C = Q / (i.A)

C = Q / Vol.Hujan

Keterangan: Q = puncak limpasan;
C = koefisien limpasan (0 < C <1);
i = intensitas hujan maksimum dengan lama hujan sama dengan waktu konsentrasi;
A = luas DAS.

b. Dalam satuan khusus di mana i dalam mm/jam; A dalam hektar dan Q dalam m^3/det, maka rumus tersebut dinyatakan:

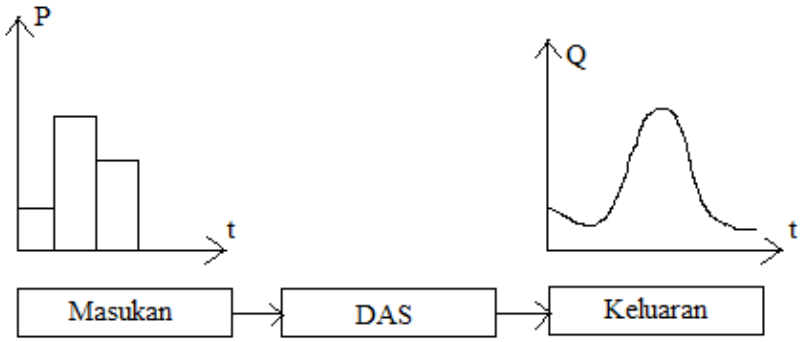
$$C = \frac{Q}{0.0028.i.A}$$

Angka koefisien limpasan berkisar antara 0 sampai 1. Angka 0 menunjukan bahwa semua air hujan terdistribusi menjadi air intersepsi dan terutama infiltrasi. Sedangkan nilai limpasan sama dengan 1 menunjukan bahwa semua air hujan mengalir sebagai limpasan (*runoff*) (Asdak, 2007).

2.11. Hidrograf

Hidrograf merupakan diagram garis yang menggambarkan hubungan antara variabel yang dianalisis dengan waktu. Menurut Sri-Harto (1993), ada tiga macam bentuk hidrograf, yaitu hidrograf muka air (*stage hydrograph*), hidrograph limpasan (*discharge hydrograph*), dan hidrograph sedimen (*sediment hydrograph*). Hidrograf muka air menggambarkan hubungan antara perubahan tinggi muka air dengan waktu. Hidrograf limpasan merupakan gambaran hubungan debit dengan waktu, dan hidrograf sedimen merupakan hubungan antara kandungan sedimen dengan waktu.

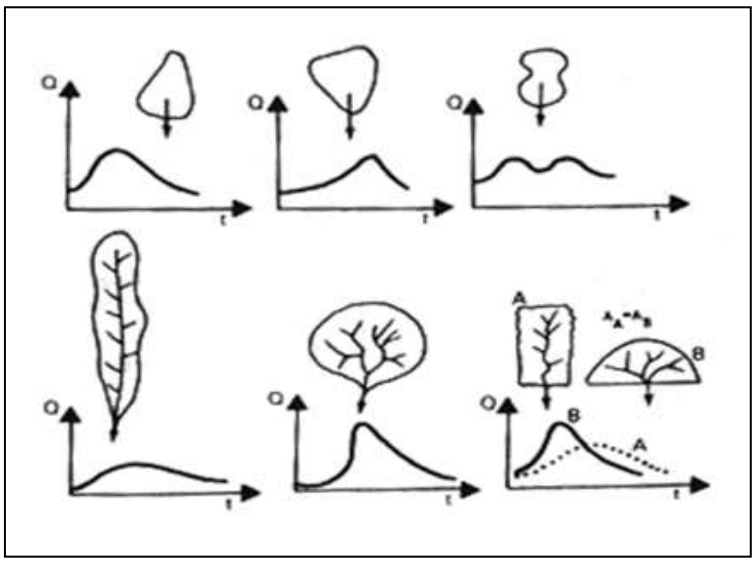
Hidrograf dapat dianggap sebagai suatu gambaran menyeluruh dari karakteristik fisografis dan hujan yang mengendalikan hubungan antara curah hujan dan pengaliran dari suatu daerah pengaliran tertentu. Hidrograf melukiskan suatu distribusi waktu dari aliran di tempat pengamatan dan menentukan kompleksifitas karakteristik daerah alirannya dengan suatu lengkung tunggal (Subarkah, 1980). Tanggapan DAS terhadap masukan hujan disajikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9, Tanggapan DAS terhadap masukan hujan, (Sri-Harto, 2000)

Dasanto (2006), menggambarkan hidrograf dipengaruhi oleh bentuk DAS. Bentuk DAS yang lonjong menyempit akan menghasilkan puncak hidrograf yang agak melenceng ke kiri. Bentuk DAS yang lonjong melebar akan menghasilkan puncak hidrograf agak melenceng ke kanan. Tanggapan DAS terhadap keluaran hidrograf disajikan pada Gambar 2.10.

Hidrograf terdiri dari tiga bagian pokok yaitu *rising limb, crest,* dan *recession limb segment*. Bagian sebelum sisi naik adalah bagian akhir dari hidrograf sebelumnya. Pada bagian sisi naik akan tergantung dari intensitas dan lama hujan, serta kelengasan DAS. Semakin tinggi intensitas hujan maka sisi naik akan semakin terjal.



Gambar 2.10, Hidrograf bendasarkan bentuk DAS (Dasanto, 2006).

2.11.1. Hidrograf aliran

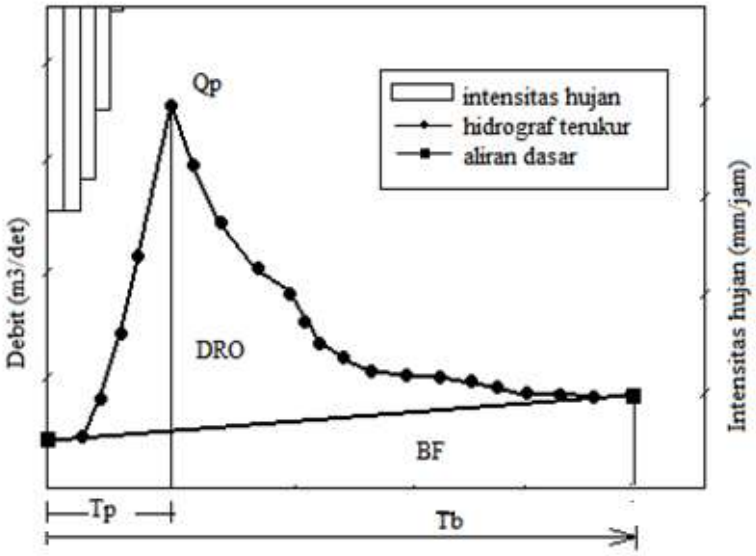
Hidrograf aliran menunjukkan tanggapan menyeluruh DAS terhadap masukan curah hujan sesuai dengan sifat dan perilaku DAS tersebut (Setyowati, 2010). Hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan. Bentuk hidrograf pada umumnya banyak dipengaruhi oleh input hujan yang terjadi dan karakteristik DAS (Sri-Harto, 1993). Hidrograf aliran menggambarkan perilaku debit sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS, karena kegiatan pengelolaan DAS atau adanya fluktuasi musiman iklim lokal (Viesmann, 1989).

Hidrograf aliran selalu berubah tergantung sifat masukannya. Hal ini terjadi karena sistem DAS yang sebenarnya adalah *non linear time invariant*. Akan tetapi jika DAS sebagai system yang *linear time invariant* maka masukan yang terjadi setiap saat akan mengakibatkan aliran yang sama. Dengan demikian

suatu DAS tertentu mempunyai *specific response* terhadap masukan dengan besaran tertentu. Tanggapan tersebut dalam konsep hidrologi dikenal dengan *unit hydrograph* (Viesmann, 1989).

Hidrograf aliran memberikan distribusi waktu pada limpasan yang keluar dari DAS, dihasilkan oleh hujan efektif yang jatuh merata di atas DAS dengan tinggi tertentu. Hidrograf aliran menunjukkan bagaimana hujan efektif ditransformasikan menjadi aliran langsung di pelepasan DAS. Bentuk hidrograf aliran memberikan informasi empat sifat pokok limpasan meliputi: volume limpasan (*direct runoff* atau DRO), debit puncak (Qp), waktu puncak (Tp), dan waktu dasar (Tb). Debit puncak adalah besarnya debit mencapai maksimum, waktu puncak adalah waktu mulai terjadi debit awal sampai terjadi debit puncak, waktu dasar merupakan waktu mulai bertambah debit aliran sampai kembali ke debit aliran dasar (Sri-Harto, 1993).

Parameter hidrograf aliran terdiri dari sisi naik (*rising limb*), puncak aliran (*peak discahrge*), dan aliran dasar (*base flow*). Hujan yang terun ke bumi dengan jumlah, intensitas, dan lama hujan tertentu akan mempengaruhi sisi naik (Sing, 1977). Apabila tanah kering, sisi ini tampak datar karena hujan yang menjadi aliran sangat kecil. Bagian puncak aliran (*peak discharge*) merupakan bagian dari debit maksimum untuk sauatu kejadian hujan dengan kedalaman tertentu. Pada sisi resesi (*recession limb*) merupakan bagian dari debit aliran yang menunjukkan pengatusan dari akifer setelah tidak ada aliran, dan aliran masuk ke dalam sungai. Bentuk dan komponen hidrograf disajikan pada Gambar 2.11., (Setyowati, 2010).



Gambar 2.11. Bentuk dan komponen hidrograf (Viesmann, 1989).

Keterangan:
Qp= Debit Puncak, Tp= Waktu Puncak, Tb= Waktu Dasar, DRO= Limpasan Langsung, BF= *Baseflow*

Komponen yang merupakan sumber penyebab limpasan di suatu sungai antara lain berasal langsung dari hujan (presipitasi), limpasan permukaan (*surface runoff*), dan limpasan dasar (*base flow*). Untuk mengetahui besarnya limpasan permukaan (DRO) yang disebabkan hujan maka dilakukan pemisahan komponen-komponen pembentuk hidrograf menjadi komponen limpasan permukaan (DRO) dan limpasan dasar (*base flow*). Pendekatan untuk pemisahan DRO dan BF yaitu: *straigh line methods, variable slope methods,* dan *fixed base length methods* (Linsley *et al*., 1988).

2.11.2. Hidrograf sintetik

Untuk menurunkan hidrograf satuan perlu tersedia data yang baik, yaitu data AWLR, data pengukuran debit, data hujan jam-jaman dan harian. Hal yang sering menjadi masalah adalah bahwa karena berbagai sebab data ini sering sulit diperoleh atau tidak tersedia. Untuk mengatasi hal tersebut dikembangkan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf satuan, tanpa menggunakan data tesebut di

atas. Salah satu cara yaitu dikembangkan oleh Snyder (1938, dalam Bedient dan Huber, 1992), yaitu dengan memanfaatkan karakteristik dan parameter DAS untuk memperoleh Hidrograf Satuan Sintetik.

Karakteristik atau parameter DAS yang digunakan misalnya *time to peak magnitude*, lebar dasar, luas, kemiringan, *length of the longest channel*, *runoff coefficient* dab sebagainya. Perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik DAS yang ditinjau. Chow *et al.*, (1998) menyarankan hidrograf sintetik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

a) Berhubungan dengan karakteristik hidrograf satuan, seperti puncak hidrograf satuan (HS) dan waktu puncak HS dengan karakteristik DAS. Contoh: Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder.
b) Berdasarkan HS tak berdimensi. Contoh: HSS SCS
c) Berdasarkan perhitungan untuk simpanan DAS. Contoh: HSS Clark dan pemodelan modifikasi Clark (ModClark).

2.11.3. Hidrograf banjir

Hidrograf banjir sungai selalu berubah tergantung masukannya. Hal ini terjadi karena sistem DAS yang sebenarnya bersifat non-linear menurut waktu, berarti masukan input air DAS dapat kapan saja dan dalam jumlah yang berbeda-beda. Namun diperlukan penyederhanaan dalam pemodelan sehingga diasumsikan DAS adalah sistem yang linear terhadap waktu, untuk memastikan masukan yang terjadi setiap saat akan mengakibatkan aliran yang sama. Sehingga DAS memiliki respon tertentu terhadap masukan dengan besaran tertentu. Konsep demikian dalam model hidrologi disebut dengan hidrograf banjir.

Hidrograf banjir adalah hidrograf yang menentukan limpasan langsung (*direct runoff*) dari hasil hujan efektif yang terjadi secara merata di seluruh DAS dengan intensitas tetap dalam satu satuan waktu yang ditetapkan. Menurut Sujono (1999), besaran hujan efektif adalah sebesar 1 mm. Dalam pembuatan hidrograf banjir harus memenuhi syarat dimana hujan jatuh secara merata di seluruh DAS dan selama curah hujan yang dipilih harus menghasilkan satu puncak hidrograf. Hidrograf banjir difungsikan untuk menggambarkan proses hujan menjadi aliran

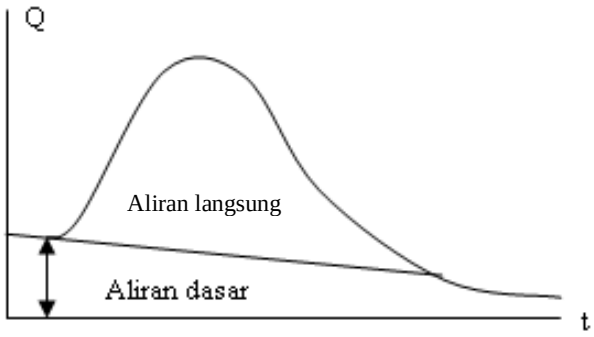
sungai dengan seluruh karakteristik DAS yang mempengaruhi dalam suatu bentuk grafik kurva tunggal.

2.11.4. Pemisahan aliran permukaan (*surface runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*) dalam hidrograf aliran

Analisa hidrograf satuan merupakan hubungan antara hujan efektif dan limpasan langsung, sehingga aliran dasar harus dipisahkan. Aliran dasar merupakan hasil pematusan (drainasi) dari akuifer dan merupakan debit minimum. Ada 3 cara empiris yang bisa dipakai untuk menentukan aliran dasar, yaitu: *Straight Line Method*, *Fixed Based Line Method* dan *Variable Slope Method*. Ketiga metode tersebut bisa dilakukan jika tersedia Hidrograf Pengamatan pada DAS tersebut (Linsley *et al*., 1988).

a. ***Straight Line Method***

Straight Line Method dilakukan dengan menghubungkan titik saat limpasan mulai (pada titik belok atau *inflection point*) dengan titik pemisahan aliran dasar (pada titik belok atau *inflection point*) pada kurva resesi. Aliran di bawah garis lurus merupakan aliran dasar (baseflow). *Straight Line Method* seperti disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12, *Straight Line Method*

b. ***Fixed Based Line Method***

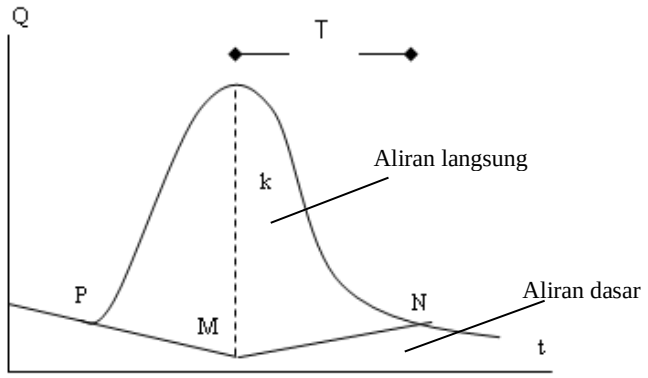
Fixed Based Line Method dimulai dari garis singgung pada saat limpasan (titik belok P atau *inflection point*), berpotongan dengan garis vertikal yang

melalui puncak dan sejajar sumbu Q di titik M. Kemudian dihubungkan dengan perpotongan antara garis vertikal sejauh T dari puncak dan sejajar sumbu Q dengan akhir hidrograf di titik N.

$T = A^{0,2}$ dengan T = waktu (hari)

A = luas DAS (mile^2)

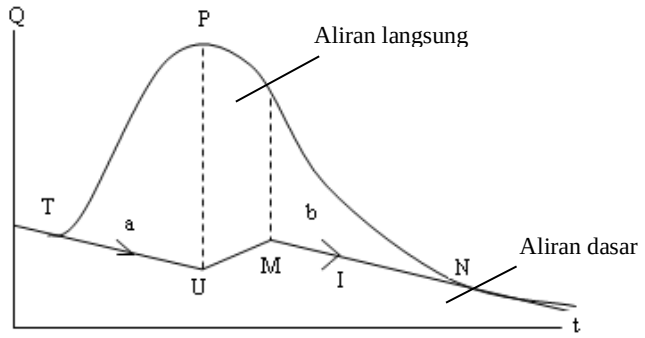
Aliran di bawah garis PM dan MN merupakan aliran dasar (baseflow). Fixed *Based Line Method* seperti disajikan pada Gambar 2.13



Gambar 2.13, *Fixed Based Line Method*

c. ***Variable Slope Method***

Pada *Variable Slope Method*, aliran dasar dimulai dari garis singgung pada awal periode limpasan (titik belok awal: T, *inflection point*) hingga memotong garis vertikal yang melalui puncak hidrograf dan sejajar dengan sumbu Q (vertikal) yaitu titik U. Kemudian dibuat garis singgung pada akhir resesi M. Titik belok di akhir hidrograf yang memotong garis yang melalui titik belok di titik P di bagian kurva turun sejajar sumbu Q. Aliran di bawah garis TU, UN dan NM merupakan aliran dasar (baseflow) pada jam tersebut. *Variable Slope Method* disajikan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14, *Variable Slope Method*

2.12. Analisis citra penginderaan jauh untuk penentuan karakteristik DAS

Topografi (Peta Rupabumi) pada umumnya tersedia dalam berbagai ukuran skala, baik yang berskala besar maupun berskala kecil. Untuk proses perencanaan biasanya menggunakan peta standar yaitu peta rupabumi skala 1 : 25.000. Citra satelit seperti Landsat, SPOT, Ikonos atau Quick bird dengan skala yang lebih detail dapat dipakai untuk melengkapi peta dasar yang ada (Lillesand dan Chipman, 2004).

Peta rupabumi adalah peta dasar yang umum digunakan untuk menentukan persen lereng/kelas lereng, arah lereng, serta ketinggian. Peta kelerengan dapat dihasilkan dari peta rupa bumi dengan cara perhitungan garis kontur dengan menggunakan rumus tertentu untuk mengelompokkan kelas-kelas lereng tertentu. Persentase kelas lereng umumnya dipakai oleh para perencana (*planers*) di dalam perencanaan lahan. Peta kelerengan tidak saja mengelompokkan bentuk-bentuk bentangalam, akan tetapi dapat untuk mengetahui informasi yang berkaitan dengan arah lereng yang berpengaruh terhadap iklim mikro, hidrologi, jenis vegetasi dan kestabilan lahan (Yustina dkk., 2005).

Pengelompokan kelas lereng sangat berpengaruh terhadap peruntukan lahan. Pada Tabel 2.2 diperlihatkan karakteristik lahan dan kesesuaian lahan didasarkan atas kelas lereng. Kelas lereng antara 0-5% adalah bentuk bentangalam (*terrain*) dataran yang peruntukan lahannya sesuai untuk pemukiman atau pertanian, namun bentuk bentangalam yang berupa dataran memiliki potensi terhadap genangan air dan drainase yang kurang baik, sedangkan kelas lereng 30-50% merupakan bentuk bentangalam yang terjal. Bentuk bentangalam semacam

ini hanya cocok untuk permukiman yang bersifat *cluster* (terbatas) dan sebagai areal wisata serta baik untuk lahan hutan (Arsyad, 2000).

Tabel 2.2 Karakter dari kelas lereng terhadap peruntukan kesesuaian lahan

Kelas Lereng	**Karakter dan Peruntukan Kesesuaian Lahan**
0 – 5 %	Lahan bertopografi datar, sangat sesuai untuk dikembangkan menjadi areal permukiman dan pertanian. Sebagian areal berpotensi terhadap genangan banjir dan sebagian berpotensi terhadap drainase yang buruk.
5 - 15%	Lahan bertopografi landai., kurang sesuai untuk pembangunan lapangan terbang atau areal industri berat, Irigasi yang terbatas namun baik untuk pengembangan pertanian tanaman keras. Lahan yang sesuai untuk dikembangkan menjadi areal permukiman, perkantoran, dan areal bisnis dengan drainase baik.
15 -30%	Lahan bertopografi bergelombang, kurang sesuai untuk areal pertanian karena masalah erosi, namun demikian lahan dengan kelerengan hingga 20% dapat dimanfaatkan untuk areal pertanian dengan jenis tanaman tertentu. Lahan ini juga baik untuk pengembangan industri ringan, komplek perumahan, dan untuk fasilitas rekreasi.
30 –50%	Lahan bertopografi terjal, cocok untuk dikembangkan menjadi tempat tinggal secara *cluster*, pariwisata dengan intensitas rendah dan lahan yang cocok untuk hutan dan padang rumput.
> 50%	Lahan bertopografi sangat terjal: tempat yang sesuai untuk kehidupan satwa liar dan tanaman hutan lindung serta padang rumput yang terbatas, tidak sesuai untuk areal real estate karena topografi yang terlalu terjal

Sumber: Arsyad (2000).

Hal yang sangat penting dari peta tanah adalah informasi mengenai jenis dan tipe tanah yang terdapat di dalam lahan tersebut. Ada dua hal yang penting dalam klasifikasi tanah, yaitu: (1) Tanah untuk kepentingan pertanian, seperti

jenis tanah, moisture tanah, ketebalan lapisan tanah, water table, porositas tanah, resistensi terhadap erosi. dan (2) Tanah untuk kepentingan kontruksi (daya dukung tanah), seperti: porositas tanah, permeabilitas tanah, sifat fisik tanah, plastisitas, mekanika tanah, dan keterbatasan terhadap penyaring septik tank.

Peta Tutupan Lahan adalah peta yang berisi informasi baik vegetasi maupun hasil budidaya manusia. Biasanya cara yang paling mudah untuk memetakan *landcover* melalui interpretasi citra satelit Landsat, SPOT, Ikonos, *Quickbirds*, Foto Udara, dsb., dengan cara mendeliniasi batas batas dari jenis tutupan lahan (Yustina dkk., 2007).

Hasil interprtasi harus diikuti dengan *ground-check* di lapangan secara sampling. Bagi perencana, peta tutupan lahan sangat penting dan menjadi pertimbangan di dalam penetapan peruntukan lahan, terutama dalam konversi lahan dan perhitungan biaya *land clearing*.

Kemiringan lereng merupakan ukuran kemiringan lahan relative terhadap bidang datar yang secara umum dinyatakan dalam persen atau derajat. Kecuraman lereng,panjang lereng dan bentuk lereng semuanaya akan mempengaruhi besarnya erosi dan aliran permukaan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian Bogor mengkelaskan lereng menjadi seperti Tabel 2.3.

Tabel 2.3, Klasifikasi lereng

KEMIRINGAN (%)	**KLASIFIKASI**	**KELAS**
0 – 3	Datar	A
3 – 8	Landai Atau Berombak	B
8 – 15	Agak Miring	C
15 – 30	Miring	D
30-45	Agak Curam	E
45-65	Curam	F
>65	Sangat Curam	G

Sumber: Puslittanak (2003).

2.13. Pengaruh penggunaan lahan terhadap aliran

Penebangan hutan sebagai akibat penggunaan lahan yang luas, sangat berpengaruh terhadap besaran perubahan debit puncak dan perubahan bentuk hidrograf. Perubahan besar terjadi pada distribusi hujan menjadi limpasan langsung dan infiltrasi. Upaya perbaikan terhadap keadaan adalah dengan menghutankan kembali.

Pengembangan sistem saluran yang intensif karena proses urbanisasi dan industrialisasi yang disertasi dengan perubahan permukaan yang semula tertutup tumbuh-tumbuhan, menjadi permukaan yang berlapis keras dan memperbesar limpasan limpasan dan memperkecil aliran dasar. Perubahan tidak hanya terjadi di permukaan, tetapi juga berpengaruh ke dalam air tanah. Akibat perubahan yang dilakukan di permukaan, sifat akuifer dapat berubah dan mengakibatkan perannya terhadap aliran ke sungai berubah. Karena kebutuhan domestic dan industry maka air dari *unconfined aquifer* menjadi tumpuan utama. Perubahan pada kelengasan tanah dapat terjadi akibat perubahan perlakukan lahan.

Dengan kegiatan tersebut di atas akan mengubah karakteristik hidrograf banjir di antara debit puncak, volume dan waktu puncak banjirnya. Pengembangan daerah perkotaan dan industry juga akan berpengaruh pada limpasan dan pengurangan infiltrasi. Sri-Harto (2000) mengatakan bahwa penambahan debit puncak dipengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut:

a. Persen luas daerah yang dikembangkan
b. Rancangan sistem drainase
c. Ketersediaan sarana tampungan (*recharge).*
d. Kala ulang yang digunakan dalam perancangan.
e. Formasi geologi.

Laoh (2002) mengemukakan bahwa peran vegetasi cukup besar dalam mengatur keseimbangan tata air suatu DAS. Lahan yang semula bervegetasi rapat jika berubah menjadi vegetsi jarang, akan menyebabkan tanah tidak mampu menahan laju aliran permukaan, karena limpasan hujan bertambah dan kapasitas infiltrasi menurun. Konversi lahan akan memberikan pengaruh langsung terhadap

total volume hujan yang diteruskan ke dalam tanah melalui proses infiltrasi. Jenis vegetasi berbeda akan memberikan respon limpasan berbeda.

Berdasarkan bentuk penggunaan lahan dan kelompok hidrologi tanah, maka dapat ditentukan nilai *curve number* (CN) berdasarkan tabel SCS-CN. Selain itu dengan data penggunaan lahan dapat ditentukan nilai persentase permukaan kedap air atau *inpervious area*. Dalam penerapannya dengan mengetahui bentuk penggunaan lahan pada suatu DAS dapat digunakan untuk mengetahui perubahan karakteristik hidrograf banjir akibat pengaruh perubahan atau dinamika penggunaan lahan, dengan merubah luas penggunaan lahannya (Setyowati, 2010).

2.14. Tutupan vegetasi

Satelit Landsat telah memasuki generasi ke tujuh dengan banyak kelebihan dibanding dengan kemampuan satelit sebelumnya. Generasi ini disebut sebagai ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Sistem orbit satelit ini berupa jenis sinkron matahari berada di dekat kutub dan satelit bergerak dari utara ke selatan. Adanya sistem sinkron matahari maka peliputan selalu pada waktu siang hari sekitar pukul 09.30 – 10.00 waktu setempat dengan sudut 37,51^{o} terhadap bumi dan matahari. Citra satelit landsat memiliki luasan liputan seluas 185 x 185 km^{2}. Sifat Landsat adalah selaras orbit matahari yang berarti satelit ini senantiasa melintasi ekuator pada waktu matahari local yang sama secara tepat. Oleh karena Landsat selaras dengan orbit matahari, maka menjamin kondisi ulang pada liputan yang sama saat penyinaran matahari pada musim tertentu (Lilisand *et al*,, 2004).

Vegetasi, tanah dan air mempunyai karakteristik spectral yang unik dalam merespon energi elektromagnetik matahari yang mengenainya. Vegetasi banyak menyerap energi pada spectrum tampak (terutama biru dan merah), namun banyak memantulkan energi pada spectrum inframerah dekat.

Vegetasi hijau menyerap banyak radiasi matahari pada spectrum merah untuk digunakan sebagai sumber energi dalam proses fotosintesis. Penyerapan energi pada spektrum ini akan menyebabkan pemanasan berlebihan pada tumbuhan dan berpotensi merusak metabolisme tumbuhan, oleh karena itu dipantulkan dengan kuat (Gates, 1980 dalam Marjuki, 2008).

2.15. Pemodelan hidrologi aliran sungai

Model adalah representasi sederhana dari sesuatu yang nyata. Adakalanya lingkungan nyata terlalu rumit sehingga sekedar untuk memahaminya ataupun untuk mengkomunikasikan dengan orang lain diperlukan sebuah model yang representatif (Phillips, 1976).

Ketika menetapkan suatu model tertentu, perlu untuk memberikan nilai-nilai kuantitatif terhadap beberapa besaran yang tak diketahui, yang disebut parameter. Keseluruhan tahap konseptualisasi dan estimasi parameter dinamakan identifikasi sistem. Sebuah model memerlukan ringkasan ideal sedemikian rupa tentang permasalahan, sehingga biasanya diperlukan perkiraan serta penyederhanaan asumsi-asumsi dengan harapan model mampu memecahkan permasalahan. Model yang telah melalui tahap validasi, kemudian digunakan untuk mempertimbangkan kemungkinan penyelesaian, menjadi titik awal dari proses pemodelan (Mananoma dan Soetopo, 2008).

Loucks dkk., (1981), mengemukakan dua pendekatan dasar dalam menyelesaikan model-model perencanaan yaitu simulasi dan optimasi. Bisa jadi simulasi adalah metode yang paling luas penggunaannya dalam mengevaluasi berbagai alternatif sistem sumberdaya air. Teknik ini mengandalkan cara coba-banding (*trial-and-error*) untuk memperoleh hasil yang mendekati optimal.

Dalam pemodelan hidrologi paling tidak ada tiga skala yang selalu dijadikan acuan, yaitu skala global, skala regional (skala DAS), dan skala lokal (skala plot percobaan). Pada skala global pemodelan cenderung diarahkan untuk mengetahui ketersediaan air secara makro. Metode imbangan air (*water balance*) dan *water accounting* sering digunakan. Pada pemodelan skala DAS keluaran yang diharapkan antara lain aliran, baik aliran permukaan maupun aliran bawah permukaan, cadangan air, dan kehilangan air. Pemodelan hidrologi yang berkembang dari tahun ke tahun cenderung pada skala regional (skala DAS). Pada skala ini pemodelan hidrologi banyak diterapkan untuk menyelesaikan masalah-masalah kewilayahan seperti banjir dan kekurangan air (Larsson, 2002).

Dalam mengidentifikasi karakteristik aliran pada suatu sistem sungai, untuk mengetahui hubungan antara karakteristik DAS dan aliran, maka

dibutuhkan data lebih dari 50 tahun periode pencatatan. Kenyataannya selama periode yang lama tersebut jarang diperoleh data yang terus-menerus (*continous*) dan selama periode tersebut terdapat perubahan penggunaan lahan dan penutup lahan oleh manusia, sehingga data yang diperoleh tidak dapat dianalisis secara seri waktu (*time series analysis*). Permasalah di atas dapat diselesaikan dengan simulasi matematis terhadap fenomena hidrologi, yang kemudian sering disebut sebagai pemodelan hidrologi (Gorgens, 1983).

Apabila air yang hilang (intersepsi, evapotranspirasi, dan infiltrasi) dari suatu hujan sesaat dapat ditentukan dengan benar, maka penentuan limpasan yang merupakan sisa hujan dapat pula dengan mudah dihitung. Air hujan yang tersisa ini disebut sebagai hujan lebihan (*axcess rainfall*), dan merupakan air yang tersedia untuk limpasan permukaan. Berdasarkan data hujan lebihan, perhitungan limpasan dapat dilakukan dengan pendekatan-pendekatan antara lain metode hidrograf satuan SCS (Sherman (1932 dalam Bedient dan Huber, 1992), metode *time area diagram*, metode gelombang kinematik, metode ARMA (*antoregresive moving avarage*), dan metode tiruan hidrograf lainnya (Sri-Harto, 2000).

Salah satu pemodelan hidrologi untuk perhitungan limpasan berdasarkan hujan yang jatuh pada suatu kawasan DAS adalah metode bilangan kurva (McCuen, 1982). Metode bilangan kurva (*curve number* – CN) pada dasarnya adalah metode empiris yang digunakan untuk menghitung volume limpasan yang dihasilkan oleh hujan sesaat, atau lebih tepat untuk menghitung hujan lebihan. Nilai CN adalah suatu indeks yang menggambarkan suatu keadaan hidrologis karena faktor-faktor seperti disebutkan di atas. Ada tiga kelompok parameter yang harus diidentifikasi untuk menentukan CN, yakni (McQuen, 1982):

1. Kelompok tanah berdasar kondisi hidrologisnya (*Hydrologic Soil Group*) yang dibedakan menjadi empat kelompok A,B,C, dan D. Kelompok A ciri tanah dengan tekstur pasiran dan profil tanah dalam, laju infiltrasi > 0,75 cm/jam. Kelompok B tekstur tanah pasir bergeluh dan profil tanah dangkal. Kelompok C tekstur tanah lempung bergeluh dan kandungan bahan organik sedikit, serta kelompok D tekstur tanah lempung dengan laju infiltrasi < 0,15 cm/jam.

2. Klasifikasi komplek penutup lahan (*cover complex classification*), yang terdiri dari tiga faktor yakni penggunaan lahan, pengolahan lahan dan kondisi hidrologis.
3. Kelengasan tanah sebelumnya (*Antecedent Moisture Condition* - AMC). Kondisi ini mempengaruhi volume limpasan maupun laju infiltrasi. Terbagi atas tiga kondisi, yaitu: Kondisi I, bila tanah dalam keadaan kering tetapi titik layu belum terlewati; Kondisi II, adalah keadaan rerata; Kondisi III bilamana tanah dalam keadaan jenuh air. Pada Tabel 2.4 disajikan pedoman untuk menentukan kondisi basah, sedang, atau kering suatu lahan.

Tabel 2.4. Pedoman penentuan kondisi kelembaban tanah

AMC	Jumlah curah hujan pada 5 hari sebelumnya	Kelembaban
AMC I	Kurang dari 35 mm	Kering
AMC II	35 – 52,5 mm	Normal
AMC III	Lebih dari 52,5 mm	Basah

Sumber: McCuen (1982).

Salah satu model hidrologi yang dinilai paling banyak diterapkan adalah *Stanford Watershed Model IV* – SWM. Model ini memiliki sembilan *sub rountine* yang menghitung setiap proses dalam siklus hidrologi. *Sub rountine* meliputi intersepsi, infiltrasi, evapotranspirasi, simpanan zona atas, simpanan zona bawah dan air tanah, limpasan permukaan, limpasan bawah permukaan, alur sungai dan penulusurannya. Dari beberapa uji model SWM akan sesuai digunakan untuk DAS dengan luasan antara 1,6 – 3000 km^2 (James, 1972).

Pemodelan hidrologi terutama dalam menyelesaikan fenomena hidrologi pada skala DAS, pemodelan hujan-limpasan cenderung lebih banyak digunakan. Pembuatan model hujan limpasan adalah untuk menduga limpasan dan menerangkan proses-proses hidrologi. Selain itu pemodelan hidrologi juga harus dapat menerangkan sistem hidrologi secara fisis untuk sejumlah aplikasi. Allewijn (1990, dalam Hadi, 2003) mengemukakan pemodelan hujan limpasan pada dasarnya dapat dibedakan berdasarkan tingkat kerincian proses-proses hidrologi dan berdasarkan karakteristik komponen masukan dan komponen keluaran. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *Hydrologic*

Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Model untuk pengalihragaman hujan menjadi aliran telah banyak dikembangkan dari model yang sederhana sampai model yang paling kompleks. Model tersebut antara lain model tanki, NAM, Watball (*water balance*), SWMM (*storm water management model*), HEC-1, RORB (*run off routing model*). Di Indonesia penerapan model-model tersebut banyak menenui kendala karena keterbatasan data, baik untuk kalibrasi maupun untuk verifikasi. Dalam memilih model yang sesuai untuk daerah yang dikembangkan belum ada acuan dasarnya (Suyono, 1989).

Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan paket program perangkat lunak model hidrologi yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineering* di Amerika Serikat untuk menganalisis proses hujan dan limpasan pada suatu DAS.

Tabel 2.5. Klasifikasi pemodelan hujan limpasan beserta contohnya

Tingkat kedetilan deskripsi fisis proses-proses hidrologi		Kedetilan karakteristik komponen masukan dan keluaran				
		Model kejadian hujan sesaat			Model seri waktu	
		Hujan efektif	Bentuk hidrograf	Puncak banjir	Aliran terusan	Imbangan air
Model Kotak Hitam	Model statistik/ stokastik			Model regresi	Model stokastik	
	Model empiris	Phi indeks SCS-CN 1972	Nash 1960	STORM HEC-1 TR-20	Tank – Sugawara (1979)	Mawdley & Ali (1985)
Model Konseptual	Model konseptual lumped	SED 1988 OSE 1989	GIUH 1979	Hebson-Wood Diaz-Granadoz	API Monash Secramato SSARR Atandford-IV	Palmer (1972) Thornthwaite (1981)
	Model konseptual semi terdistribusi		Cell models (Beyd, 1979)	Allewijn 1990	USDAHL-74 WATBAL	Modifikasi Thronthwaite 1984
Model berbasis fisis	Model quasi physical based	Philip's eq Green-ampt	Kinematic wave eq	CREAMS (Knisel, 1980)	TOP MODEL WETZONE	ECOWAT
	Model distributed physically based	Richard's eq Modifikasi Green-Ampt	HEC-HMS	Frezee 1972 Smith&Hebbert 83	IHDM SHE	

Sumber: Allewijn & Singh (1990; 1997, dalam Hadi 2003), dengan modifikasi.

Model hidrologi HEC-HMS

Model HEC-HMS serupa dengan paket program terdahulu seperti HEC-1, kelebihannya terdapat *distributed runoff* model dan *continous soil moisture accounting model,* yang dipilih. Model matematik yang terdapat dalam HEC-HMS menjelaskan respon DAS terhadap hujan yang jatuh dan kondisi aliran air dari hulu sampai hilir DAS. Komponen model berupa variabel tetap, parameter, kondisi batas dan kondisi awal. Output software berupa hidrograf pada masing-masing outlet sub DAS pada waktu tertentu yang ditunjukkan dengan grafik hidrograf dan tabel *time series* dari hidrologi tersebut (USACE, 2000).

Model HEC-HMS adalah model yang mampu mensimulasikan transformasi hujan menjadi limpasan, penelusuran banjir, simulasi aliran rendah (*low flow*), kalibrasi suatu nilai parameter, dan sebagainya, (USACE, 2000). Penggunaan HEC-HMS bertujuan membantu dalam menemukan karakteristik hidrograf (debit puncak, volume, dan waktu puncak) pada berbagai bentuk dinamika penggunaan lahan melalui simulasi penggunaan lahan.

Karakteristik suatu DAS dapat diketahui secara teliti melalui software HEC-HMS. Data berupa luas penggunaan lahan, pasangan data hujan dengan debit jam-jaman pada suatu kejadian hujan tertentu. Data tersebut digunakan untuk menentukan parameter yang terkait dengan penggunaan lahan dan jenis tanah, digunakan untuk memperoleh nilai *Curve Number* (CN) dan persen (%) *impervious area* masing-masing sub DAS.

2.15.1. Model Soil Concervation Service - Curve Number (SCS-CN)

Metode *soil concervation cervice* telah dikembangkan bertahun-tahun di Amerika Serikat dari catatan curah hujan untuk daerah aliran sungai yang didominasi oleh wilayah pertanian (Schwah *et al*., 1981). Di Negara beriklim tropis termasuk Indonesia daerah aliran sungai untuk pertanian banyak diperuntukkan untuk perkebunan kelapa sawit (Sastrosayono, 2007)

SCS-CN memperkirakan hujan efektif sebagai fungsi dari hujan kumulatif, penutupan lahan, penggunaan lahan (land use) dan kelembaban sebelumnya (*antecedent misture*), dengan menggunakan Persamaan 2.1 (USACE, 2000):

$$P_e = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad \text{……………………………(2.1)}$$

dengan: *Pe* = Akumulasi hujan efektif pada saat t,
P = Akumulasi curah hujan total pada saat t,
Ia = Kehilangan awal air hujan sebelum terjadinya limpasan
S = Retensi potensial maksimum

Hubungan antara *Ia* dan *S* berbentuk linear sama dengan Persamaan 2.2

$$Ia = 0{,}2 * S \quad \text{………………………………… (2.2)}$$

Dengan akumulasi hujan efektif pada saat t, dirumuskan dengan Persamaan 2.3.

$$P_e = \frac{(P-0{,}2\,S)^2}{P+0{,}8\,S} \quad \text{………………………………… (2.3)}$$

Retensi potensial maksimum (*S*) dihitung berdasarkan nilai CN dengan menggunakan Persamaan 2.4.a dan 2.4.b.

$$S = \frac{(1000-10\ CN)}{CN} \text{ (inchi)} \quad \text{…………………………… 2.4.a}$$

$$S = \frac{(25400-25400\ CN)}{CN} \text{ (millimeter)} \quad \text{…………………..2.4.b}$$

Pada model SCS *Curve Number* (CN) ini penggunaan lahan pada suatu bagian DAS tertentu diwakili dengan parameter CN. Nilai CN berfariasi dari 30 (untuk tanah dengan permeabilitas tinggi) sampai dengan 100 (untuk badan air). Nilai *Curve Number* (CN) suatu DAS dapat diperkirakan sebagai fungsi penggunaan lahan, jenis tanah dan kelembaban DAS sebelumnya menggunakan tabel SCS dan klasifikasi tanah secara hidrologi ditunjukkan pada Lampiran 4.

Untuk DAS yang di dalamnya terdapat berbagai macam jenis tanah dan penggunaan lahan, nilai CN dihitung sebagai CN komposit dengan menggunakan Persamaan 2.5 (Wijaya, 2004).

$$CN = \frac{\sum Ai*CNi}{\sum Ai} \quad \text{…………………………………………… 2.5.}$$

Dengan : *CN* = Nilai total CN komposit untuk menghitung volume *runoff* dengan HEC-HMS
i = Indeks Pembagian DAS yang mempunyai penggunaan lahan dan jenis tanah yang sama.
CNi = Nilai CN untuk pembagian DAS *i*
Ai = Luas wilayah DAS *i*

Nilai CN ditentukan dengan memperhatikan kondisi kelembaban tanah sebelumnya (AMC atau *antecedent moisture condition*). Nilai AMC dapat ditentukan secara sederhana dengan pendekatan yang mendasarkan pada jumlah hujan yang jatuh selama 5 hari sebelum perhitungan CN dilakukan. Penentuan nilai CN berdasarkan kondisi AMC II dalam keadaan normal diasumsikan hujan yang turun lima hari sebelumnya berkisar antara 35 sampai 53 mm.

2.15.2. Model *Clark's Unit Hidrograph*

Tampungan pada permukaan tanah, saluran, atau dalam tanah memegang peranan penting dalam transformasi hujan menjadi aliran. *Linear reservoir model* merupakan metode yang mewakili efek dari tampungan ini. Pemodelan dimulai dengan menggunakan persamaan kontinuitas seperti Persamaan 2.6 (Tommy, 2010).

$$\frac{dS}{dt} = I_t - O_t \quad \text{…….} \ (2.6)$$

Keterangan:

dS/dt = Waktu rerata perubahan air dalam tampungan pada waktu t,
I_t = Aliran masuk (inflow) rerata ke tampungan pada waktu t
O_t = aliran keluaran (*outflow*) dari tampungan pada waktu t

Aplikasi dari model Clark membutuhkan koefisien (R) dan *time area histogram.* Penelitian dari HEC telah dikembangkan bahwa terdapat suatu fungsi yang dapat digunakan, untuk mewakili *typical time-area* yaitu dengan Persamaan 2.7.

$$\frac{A_t}{A} = \left\{1.414\left(\frac{t}{tc}\right)^{1,5} \quad untuk \ \ t \leq \frac{tc}{2}\right\} \text{ dan}$$

$$\frac{A_t}{A} = \left\{1 - 1.414\left(1 - \frac{t}{tc}\right)^{1,5} \quad untuk \ \ t \geq \frac{tc}{2}\right\} \text{……(2.7)}$$

dengan A_t adalah kumulatif luas batas muka air yang memberikan kontribusi pada saat *t*, A adalah luas total DAS dan *t* adalah waktu konsentrasi (*time of concentration*). Dalam aplikasi *software* HEC-HMS hanya dibutuhkan parameter waktu konsentrasi yang dapat dilakukan melalui kalibrasi.

2.15.3. Model *Exponential Recession*

Aliran dasar dimodelkan dengan pengurangan secara eksponensial. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan ditentukan dengan Persamaan 2.8 (Wijaya, 2004).

$$Q_t = Q_0 \; k^t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; (2.8)$$

Pemodelan aliran dassar dengan menggunakan model ini melibatkan aliran awal (*junction flow*), rasio pengurangan (*the recession ratio*) dan aliran batas (*the threshold flow*). Konstanta pengurangan (k) tergantung dari sumber aliran dasar. Pada daerah permukaan yang alami, nilai k lebih kecil dari 1,00.

2.15.4. Model Muskingum

Konsep dasar dasar dari model ini adalah persamaan kontinuitas (Wijaya, 2004):

$$\left(\frac{I_{t-1}+I_t}{2}\right) - \left(\frac{O_{t-1}+O_t}{2}\right) = \left(\frac{S_t+S_{t-1}}{\Delta t}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; (2.9)$$

Tampungan dalam saluran dimodelkan sebagai jumlah tampungan *prism* dan *wedge*. Tampungan *prism* didefinisikan sebagai aliran permanen air permukaan, sedangkan tampungan *wedge* adalah tambahan volume di bawah profil dari gelombang banjir. Selama ketinggian banjir naik, tampungan *wedge* adalah positip dan hal ini akan menambah tampungan *prism*. Selama banjir turun tampungan *wedge* adalah negatip dan akan mengurangi tampungan *prism.*

Volume tampungan *prism* adalah laju *outflow O,* yang dikalikan dengan *travel time* melalui saluran K. volume tampungan *wedge* adalah perbedaan antara *inflow* dan *outflow* yang dikalikan dengan *trevel time K* dan *dimensionless weigh X*. dimana dalam model maskingum dinyatakan dengan Persamaan 2.10.

$$S_t = KO_t + KX(I_t - O_t) = K[XI_t + (1 - X)O_t] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.10)$$

Besarnya K dan X nilainya berkisar ($0 \leq X \leq 0,5$), diperoleh dengan kalibrasi.

2.16. Model hidrologi hujan–limpasan dengan *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS)

Model hidrodinamik disusun atas beberapa komponen siklus hidrologi dan memiliki batasan-batasan yang terjadi pada DAS itu sendiri. Menurut Tivianton

(2010), model hidrodinamik diwujudkan dengan perhitungan matematis sebagai representasi dari perubahan energi yang terjadi dalam siklus hidrologi DAS. Sistem model hidrologi (HEC-HMS) didesain untuk simulasi proses hujan limpasan pada sebuah DAS. HEC-HMS didesain untuk mudah digunakan di semua kondisi geologi dan geomorfologi DAS.

Perhitungan masing-masing model mempunyai komponen berupa :

1. Variable tetap
2. Parameter,
3. Batasan kondisi, dan
4. Kondisi permulaan.

Variabel tetap menunjukkan kondisi yang tidak berubah selama proses hujan limpasan berlangsung walaupun di lokasi yang berbeda, seperti kapasitas permeabilitas tanah. Parameter adalah nilai ukuran dari masing-masing komponen yang menyusun input hingga output, seperti dalam unit hidrograf terdapat dua macam parameter, waktu tempuh dan puncak hidrograf. Nilai dari parameter dapat diperoleh dengan kalibrasi. Batasan kondisi diartikan sebagai prasyarat terpenuhinya model. Dalam model ini batasan kondisi yang digunakan adalah input dari DAS yang menyebabkan terjadinya limpasan hujan. Kondisi awal perumpamaan untuk menentukan permulaan dari aliran yang bersifat tidak selaras (*unsteady)*. Output software ini adalah berupa grafik hidrograf dan tabel time series dari hidrograf.

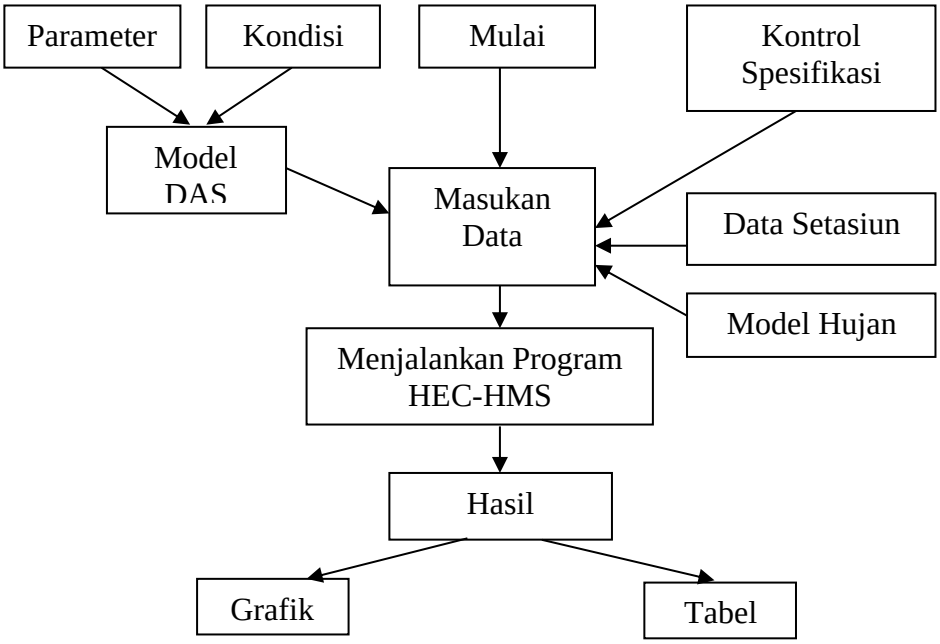
Komponen yang terdapat dalam HEC-HMS untuk mensimulasikan hujan-limpasan adalah sebagai berikut (USACE, 2000):

1. Presipitasi, dapat berupa curah hujan secara periodik
2. *Loss models*, untuk perkiraan debit limpasan yang disebabkan oleh input hujan dan karakteristik DAS.
3. *Direct runoff* untuk menghitung aliran permukaan tanah, *recharge*, dan pengurangan tingkat energi limpasan permukaan,
4. *Routing*, untuk menghitung *recharge* dan energi aliran air di sungai,
5. Kalibrasi, yang dapat memperkirakan parameter model dan kondisi awal tertentu dari masukan data meteorologi.

Proses pemodelan HEC-HMS untuk mempresentasikan masing-masing komponen dilalui dalam tahap pemodelan sebagai berikut :

1. Model perhitungan debit limpasan (*runoff)*
2. Pemodelan aliran langsung (*direct runoff*) dari limpasan permukaan (*runoff*) dan aliran antara (*interflow*).
3. Pemodelan aliran dasar (*baseflow*)
4. Pemodelan aliran pada saluran (*channel flow*).

Komponen HEC-HMS dalam suatu DAS ditunjukkan oleh *subbasin, reach, junction, source, diversion, reservoil dan sink.* Sub basin menandakan aspek fisik sub DAS seperti total hujan yang turun, *losses*, total aliran sungai dan *baseflow* pada *outlet* subDAS. *Reach* menandakan perhitungan *outflow* aliran pada hilir sungai. *Sourch* menandakan adanya sumber masukan *inflow* buatan. *Diversion* menandakan adanya pemisahan aliran dari aliran utama. *Sink* menandakan adanya keluaran berupa danau buatan yang tidak memiliki aliran keluaran. Skema penggunaan perangkat lunak HEC-HMS disajikan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Skema penggunaan program HEC-HMS
(Wijaya, 2004., dengan modifikasi)

Penentuan dimulai dari elemen yang terdapat pada hulu hingga hilir, menggunakan perangkat lunak HEC-HMS. Model yang dapat dijalankan dalam HEC-HMS sangat berfariasi tergantung dari parameter batasan kondisi dan kondisi permulaan yang digunakan. Komponen meteorologi berisikan model perhitungan input presipitasi, termasuk proses evaporasi dan evapotranspirasi. Komponen syarat control berisi informasi waktu dimulainya model hingga selesai. Komponen input data dapat berupa format data periodik, data berpasangan, maupun data format grid. Tahapan dalam menjalankan *software* HEC-HMS versi 3.5 adalah:

a. Memasukkan data *gage* (setasiun)
b. Memasukkan data *basin model*, perlu ditentukan pilihan model (model *volume, runoff, direct runoff, baseflow,* dan *routing*). Masing-masing model mempunyai kondisi awal dan parameter yang harus diisi.
c. Memasukkan data model *presipitation*, perlu ditentukan model hujan yang akan digunakan untuk analisis.
d. Memasukkan *control specifications*
e. *Running* program
f. Menampilkan dan mengevaluasi hasil program

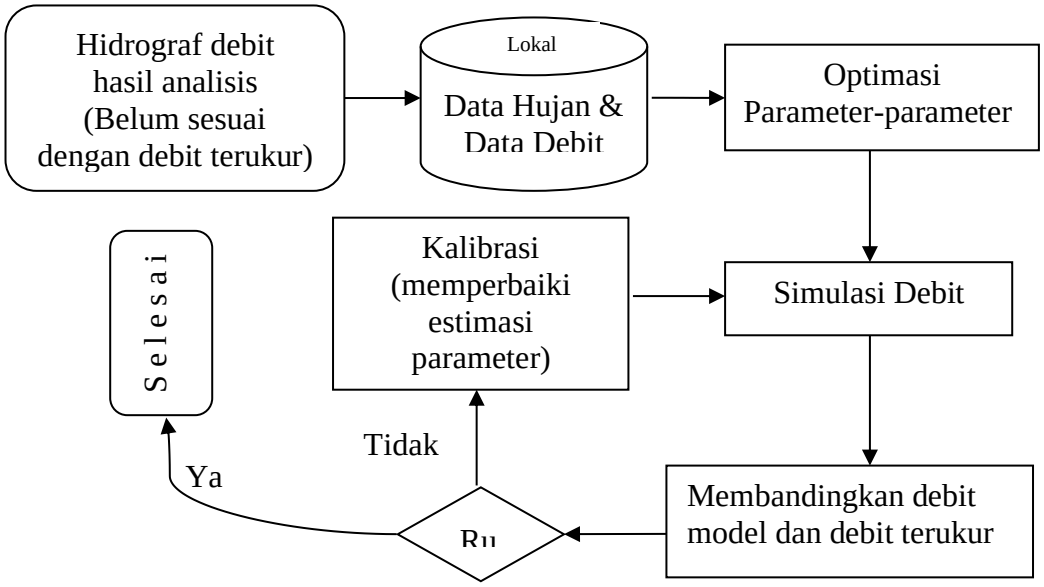
2.17. Validasi dan kalibrasi

Uji validasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hidrograf debit aliran berdasarkan hasil simulasi atau model dan hidrograf debit aliran berdasarkan hasil pengukuran lapangan atau observasi. Pada tahap ini dapat ditentukan nilai keterpengaruhan (*sensitifity analisys)* parameter subDAS dalam pembentukan hidrograf model.

Tujuan kalibrasi adalah untuk mendapatkan besaran parameter dan kondisi awal dari model, sehingga keluaran (hidrograf debit) model sesuai/mirip dengan

hidrograf terukur. Proses kalibrasi memerlukan data hidrograf terukur jam-jaman dan data hujan jam-jaman pada rentang waktu yang sama.

Proses kalibrasi dilakukan pada parameter dan kondisi awal dari model yang dipilih seperti skema yang disajikan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Skema prosedur kalibrasi parameter limpasan
(Wijaya, 2004., dengan modifikasi)

Keterangan:

- Ya : hidrograf debit model telah menyerupai hidrograf debit terukur (model diterima sebagai representasi debit aliran).
- Tidak: hidrograf debit model belum menyerupai hidrograf debit terukur (dilakukan proses Kalibrasi).

Untuk melihat kesesuaian antara hidrograf model dan hidrograf terukur, *software* HEC-HMS menghitung indeks kesesuaian (*index of goodness-of-fit*) yang dinyatakan dengan *objective function.* Selisih debit puncak dan volume hidrograf aliran mendekati 0% atau dapat melihat kemiripan hidrograf model dan hidrograf terukur. Dalam *software* terdapat empat jenis *objective function* yang pemilihannya tergantung dari kebutuhan analisis. Tujuan penggunaan *objective function* adalah untuk menentukan nilai parameter yang sesuai dengan

meminimalkan nilai *objective function* tersebut. Pilihan *objective function* dapat dilihat pada Tabel 2.6 (USACE, 2000).

Tabel 2.6 Fungsi objektif dalam *software* HEC-HMS

Jenis	***Objective function***
Jumlah absolut nilai kesalahan	Z=$\sum_{i=1}^{NQ}[q_o(i) - q_s(i)]$
Jumlah kuadrat nilai sisa	Z=$\sum_{i=1}^{NQ}[q_o(i) - q_s(i)]^{½}$
Persen kesalahan pada puncak	Z=$100\left\lvert\frac{q_s(peak)-q_o(peak)}{q_o(peak)}\right\rvert$
Fungsi objektif kesalahan akar Kuadrat rata-rata puncak ter-Timbang	Z=$\left\{\frac{1}{NQ}\left[\sum_{i=1}^{NQ}(q_s(i) - q_s\ (i))^2\right]\left(\frac{q_o(i)+q_o(mean)}{2q_o(mean)}\right)\right]\right\}^{½}$

Sumber: USACE (2000)

Keterangan:
Z =*objective function*
NQ = Jumlah ordinat hydrogen hasil hitungan
q_o(i) = Debit terukur (lapangan)
q_s(i) = Debit terhitung (model)
q_o(peak) = Debit puncak terukur
q_s(peak) = Debit puncak terhitung
q_o(mean) = Debit terukur rata-rata.

2.18. Analisis potensi pembangkit listrik tenaga air (Mikro Hidro)

2.18.1. Analisis debit andalan

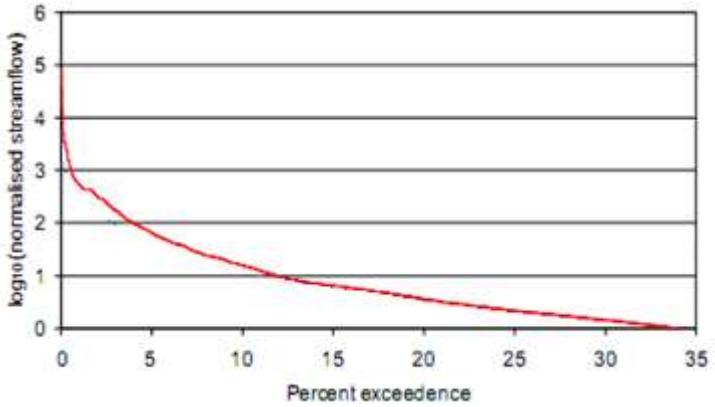
Analsis ketersediaan air adalah dengan membandingkan kebutuhan air total termasuk kebutuhan air untuk PLTMH dengan ketersedian air. Setelah dibandingkan akan didapat kelebihan atau defisit air pada setiap bulannya, baik pada saat ini ataupun waktu yang akan datang. Secara umum debit andalan dinyatakan sebagai data aliran sungai yang dapat terpenuhi sepanjang waktu untuk keperluan pengembangan sumberdaya air. Analisis debit andalan bertujuan untuk mendapatkan potensi sumber air yang berkaitan dengan rencana pembangunan PLTMH. Salah satu metode untuk menentukan debit andalan sungai adalah menggunakan metode *flow duration curve* (FDC).

Cole (2003), menjelaskan bahwa bentuk grafik FDC adalah logaritmik yang memenuhi persamaan berikut:

$$y = 10^{((a/x)-1)/b} \quad \text{.....(2.11)}$$

y : Log normalised streamflow
x : Peluang terlampaui
a : Intersep aliran
b : Sebuah konstanta yang mengendalikan kemiringan kurva FDC.

Data rata-rata debit sungai harian dapat diringkas dalam bentuk *flow duration curve* (FDC) yang menghubungkan aliran dengan persentase dari waktu yang dilampaui dalam pengukuran. FDC diplotkan dengan menggunakan data aliran atau debit pada skala logaritmik sebagai sumbu Y dan persentase debit pada skala peluang sebagai sumbu X. Contoh grafik kurva FDC disajikan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Contoh Grafik *Flow Duration Curve* (FDC) (Cole, 2003).

Menurut pengamatan, besarnya debit andalan yang diambil untuk penyelesaian optimum penggunaan air dibeberapa macam proyek sumberdaya air adalah (Soemarto, 1987):

- Penyediaan air minum = 99 %
- Penyediaan air industri = 95 – 98 %
- Penyediaan air irigasi:
  daerah beriklim setengah lembab = 70 – 85 %
  daerah beriklim kering = 80 – 95 %
- Pusat listrik tenaga air = 85 – 90 %

2.18.2. Energi air untuk pembangkit tenaga listrik

Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air yaitu (Agung, 2008):

$$E = mgh \quad \text{.....} \quad (2.12)$$

dengan E adalah energi potensial air (m^3/det.)
m adalah massa air, h adalah head (m)
g adalah percepatan gravitasi (m/det.^{2})

Daya merupakan energi tiap satuan waktu (E/t), sehingga persamaan 2.12 dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} gh \quad \text{.....} \quad (2.13)$$

Dengan mensubsitusikan P terhadap (E/t) dan mensubsitusikan ρQ terhadap (m/t) maka :

$$P = \rho Qgh \quad \text{.....} \quad (2.14)$$

dengan

P adalah daya (watt)
Q adalah kapasitas debit aliran (m^3/s)
ρ adalah densitas air (kg/m^3)

Selain memanfaatkan air jatuh *hydropower* dapat diperoleh dari aliran air datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{.....} \quad (2.15)$$

dengan v adalah kecepatan aliran air (m/s)

Daya air yang tersedia dinyatakan dengan Persamaan 2.15

$$P = \frac{1}{2} \rho Qv^2 \quad \text{.....} (2.16)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas $Q = Av$ maka

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad \text{.....} \quad (2.17)$$

dengan A adalah luas penampang aliran air (m^2)

Pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (*power*) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.18 (Arismunandar dan Kuwahara, 2000).

$$P = 9{,}8 \cdot H \cdot Q \cdot \eta T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.18)$$

Dengan:

P = tenaga listrik yang dikeluarkan secara teoritis (kilo watt)

H = tinggi jatuh air efektif (m)

Q = debit air (m^3/s)

ηT= efisiensi turbin

Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah H (m), maka debit maksimum turbin adalah Q (m^3/s), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah ηT dan ηG, maka:

Daya teoretis = 9,8 Q H (kW)

Daya turbin = 9,8 ηT Q H (kW)

Disini baru memperhitungkan potensi daya terpasang, belum memperhitungkan efisiensi. Untuk selanjutnya dipakai efisiensi *over all* sebesar 0,75 (untuk turbin, generator, distribusi). Menurut Abdul Kadir (1995), berdasarkan ketentuan PLN bahwa untuk Pembangkit Listrik dengan kapasitas terpasang masing-masing dibedakan:

1) Untuk kapasitas terpasang lebih kecil sama dengan 100 KW disebut Pusat Listrik Tenaga Mikro Hidro.
2) Untuk kapasitas terpasang antara 500 KW sampai dengan 5000 KW disebut Pusat Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM).
3) Untuk kapasitas terpasang lebih besar dari 5000 KW disebut Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA).

2.2. Kerangka Pemikiran Penelitian

Hujan sebagai input dalam sistem DAS akan terproses menghasilkan keluaran berupa aliran. Hujan sebagai unsur utama sumber air sungai merupakan komponen awal yang harus diketahui karakteristik dan besarannya. Curah hujan yang jatuh pada DAS/sub DAS mempunyai besaran yang berbeda-beda pada setiap waktu. Intensitas hujan, lama hujan dan penyebarannya akan mempengaruhi banyaknya air yang tertampung dalam sistem DAS (*catchment area*) sebagai daerah tangkapan hujan. Komponen hujan akan mempengaruhi infiltrasi dan limpasan, yang semuanya akan berpengaruh terhadap sumberdaya air secara keseluruhan.

Presipitasi atau hujan adalah peristiwa jatuhnya air atau es dari atmosfer ke permukaan bumi dan atau laut dalam bentuk yang berbeda. Hujan di daerah tropis (termasuk Indonesia) umumnya dalam bentuk air dan sesekali dalam bentuk es pada suatu kejadian ekstrim, sedangkan di daerah subtropis dan kutub hutan dapat berupa air atau salju/es.

Curah hujan diukur dengan menggunakan setasiun penakar hujan otomatis maupun penakar curah hujan manual. Penakar hujan otomatis (logger) lebih baik digunakan karena data yang dihasilkan lebih akurat dan data hujan dapat tersimpan secara otomatis untuk jangka waktu yang lama dan dapat diambil sewaktu-waktu jika diperlukan. Untuk menemukan nilai curah hujan yang konsisten perlu dipasang beberapa penakar hujan di DAS/sub DAS dan diuji nilai konsistensi curah hujan tersebut dengan metode yang sesuai.

Hal yang mempengaruhi proses hujan limpasan adalah bagaimana karakteristik sistem DAS sebagai area tangkapan hujan dan proses terjadinya hujan menjadi aliran sepanjang waktu menuju ke sungai. Hujan yang memberikan sumbangan paling cepat terhadap pembentukan aliran adalah air hujan yang langsung jatuh di atas permukaan saluran air (*channel interception*) maupun yang jatuh di atas permukaan tanah dan membentuk limpasan (*runoff*). Limpasan atau aliran permukaan tanah terjadi karena laju curah hujan melampaui laju infiltrasi.

Aliran terdiri atas aliran permukaan (*surface runoff*), aliran bawah lapisan permukaan (*subsurface flow*) dan aliran dasar (*baseflow*). Aliran bawah lapisan

permukaan tanah merupakan bagian dari air hujan yang terinfiltrasi ke dalam lapisan bawah permukaan tanah kemudian mengalir dan bergabung menjadi aliran menuju ke sungai. Gabungan dari limpasan permukaan, aliran bawah lapisan permukaan dan aliran dasar akan menjadi aliran sungai dan membentuk debit aliran (*stream flow*).

Unsur-unsur yang mempengaruhi terjadinya aliran dalam suatu sistem DAS adalah berupa:

1) Topografi
2) Morfometri sistem DAS
3) Tanah
4) Tutupan vegetasi
5) Penggunaan lahan
6). Kemiringan DAS

Morfometri sistem DAS untuk menunjukkan karakteristik DAS dalam memproses hujan menjadi limpasan dapat dianalisis dengan menggunakan program HecGeo-HMS yang merupakan extensi dari *software* ArcGIS.

Pemodelan hidrologi hujan limpasan banyak digunakan untuk menerangkan proses hidrologi yang terjadi dalam suatu sistem DAS. Pemodelan hidrologi dapat menerangkan sistem hidrologi secara fisis yang terjadi dalam sistem DAS sebagai akibat adanya masukan berupa hujan yang terproses menjadi aliran sebagai keluaran. Pemodelan hidrologi yang digunakan untuk menganalisis hujan limpasan terdiri atas beberapa macam. Penggunaan model pada dasarnya dibedakan berdasarkan tingkat kerincian proses-proses hidrologi dan berdasarkan karakteristik komponen masukan dan komponen keluaran.

Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan paket program perangkat lunak model hidrologi yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineering* di Amerika Serikat untuk menganalisis proses hujan dan limpasan pada suatu DAS. Metode SCS-CN dalam HEC-HMS digunakan untuk mensimulasikan nilai *runoff* dengan memasukkan parameter

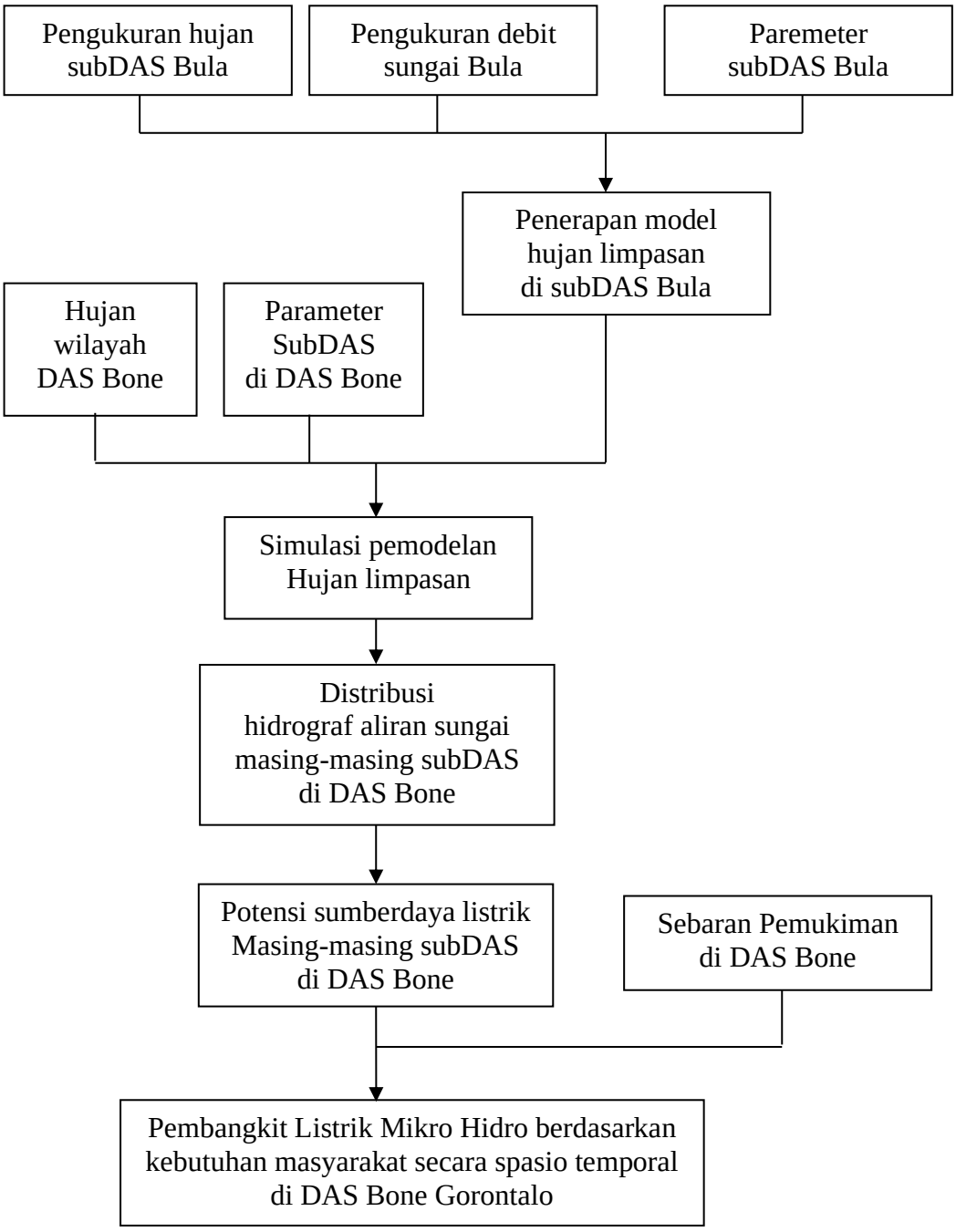
penggunaan lahan, tekstur tanah dan kelembaban tanah saat terjadi hujan. Ketiga parameter tersebut dapat diwakili oleh satu bilangan kurva (*Curve Number*- CN), dengan menyesuaikan nilai parameter berdasarkan kelas hidrologi tanah (*Hydrology Soils Group, HSG*) dan kondisi tutupan lahan yang bersifat umum. Nilai CN subDAS diperoleh melalui analisis *overlay* antara komponen peta topografi, peta penggunaan lahan, peta tanah, penyesuaian karaktersitik DAS dan hasil *check* lapangan. Analisis nilai CN didasarkan pada Tabel SCS-CN USDA NRCS.

Berdasarkan masukan hujan sesaat dan nilai karakteristik/morfometri DAS serta nilai CN subDAS dalam HEC-HMS dapat diperoleh gambaran aliran sebagai keluaran berupa hidrograf aliran yang merupakan fungsi curah hujan dan tanggapan sistem DAS. Penyesuaian hidrograf model dengan kondisi aliran sesuai pengukuran lapangan/observasi dilakukan melalui proses validasi dan kalibrasi.

Analisis simulasi pendugaan limpasan di subDAS lain menggunakan parameter hasil analisis model SCS-CN dalam software HEC-HMS sebagai model pendugaan limpasan di salah satu subDAS. Parameter yang berubah adalah nilai CN, Ia, dan *Time lag* yang dianalisis berdasarkan karakteristik masing-masing subDAS. Data hujan sebagai input utama menggunakan data rata-rata hujan wilayah DAS yang diperolah setasiun hujan yang terpasang di wilayah DAS setelah melalui proses *polygon Thiesen* untuk menentukan cakupan data hujan masing-masing subDAS.

Analisis ketersediaan air sungai sebagai energi pembangkit tenaga listrik dilakukan melalui proses *Flow Duration Curve* (FDC) untuk memperoleh debit andalan sungai yang tersedia sepanjang waktu sebagai energi pembangkit tenaga listrik. Berdasarkan nilai debit minimum dan ketinggian jatuh air yang diperoleh melalui analisis interpretasi citra dapat ditentukan nilai energi listrik yang diperoleh melalui energi aliran air sungai.

Berdasarkan landasan teori di atas dapat dibangun kerangka pemikiran penelitian seperti disajikan pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 Bangunan kerangka pemikiran penelitian.

2.3. Batasan Operasional

1. Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari kehadiran dan gerakan air di alam ini, meliputi berbagai bentuk air yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat, dan gas, di atas atmosfir, di atas dan di bawah permukaan tanah (Soemarto, 1999)
2. Daerah aliran sungai (DAS), *catchment area* atau *watershed* adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Asdak, 2007).
3. SubDAS adalah bagian DAS yang menerima air hujan dan mengalirkannya melalui anak sungai ke sungai utama. Setiap DAS terbagi habis kedalam Sub DAS-Sub DAS (Ponce, 1989).
4. Air adalah semua air yang terdapat di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat (Sri-Harto, 2000).
5. Aliran air atau limpasan (*runoff*) sinonim dengan aliran air sungai (stream flow), hasil air daerah tangkapan air (*catchment field*), yaitu bagian dari air hujan (presipitasi) yang mengalir di atas permukaan tanah (*surface runoff*) dan atau di dalam tanah (*subsurface runoff*) menuju ke suatu sungai (Mustofa, 2005).
6. Debit air (*water discharge, Q*) adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai per satuan waktu, dalam satuan m^3/detik (Dasanto, 2006).
7. Volume debit (Q) adalah total volume aliran (limpasan) yang keluar dari daerah tangkapan air atau DAS/Sub DAS, dalam satuan mm atau m^3 (Kalsim, 2003).

8. Debit puncak atau debit banjir (qp, Q_{maks}) adalah besarnya volume air maksimum yang mengalir melalui suatu penampang melintang suatu sungai per satuan waktu, dalam satuan m^3/detik (Kalsim, 2003).
9. Debit minimum (Q_{min}) adalah besarnya volume air minimum yang mengalir melalui suatu penampang melintang suatu sungai per satuan waktu, dalam satuan m^3/detik (Kalsim, 2003).
10. Debit puncak spesifik adalah debit puncak (Q_p) yang dihasilkan oleh suatu DAS dibagi dengan luas DAS tersebut, sehingga nilai debit puncak spesifik antara satu DAS dengan DAS lainnya yang mempunyai luasan yang berbeda dapat dibandingkan (Kalsim, 2003).
11. Hujan lebih (*rainfall excess*) adalah kontribusi curah hujan terhadap limpasan permukaan langsung (Sujono, 1999).
12. Banjir adalah debit aliran sungai yang secara relatif lebih besar dari biasanya akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu secara terus menerus, sehingga air limpasan tidak dapat ditampung oleh alur/palung sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya (Sujono, 1999).
13. Karakteristik DAS adalah gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan morfometri, topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia (Hartono, dkk., 2005).
14. Sistem informasi geografi (SIG) adalah suatu sistem berbasis komputer yang dapat digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan memanipulasi informasi geografis (Gunawan, 1991).
15. Metode bilangan kurva (*Curve Number – CN*) pada dasarnya adalah metode empiris yang digunakan untuk menghitung volume limpasan yang dihasilkan oleh hujan sesaat, atau lebih tepat untuk menghitung hujan lebihan (USACE, 2000).
16. Koefisien limpasan (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan (nisbah) antara besarnya limpasan terhadap besar curah hujan

penyebabnya, nilainya 0 < C < 1. Misalnya, nilai C = 0,2, artinya 20 % dari curah hujan menjadi limpasan (Prastowo, 2003).

17. *Antecedent Moisture Condition* (AMC) Adalah Kondisi kelengasan tanah yang mempengaruhi volume limpasan maupun laju infiltrasi (McQuen, 1982).
18. Model hidrologi dapat diartikan sebagai penyederhanaan suatu sistem dan menggambarkan beberapa aspek suatu sistem. Representasi sistem hidrologi selalu melibatkan dua sistem yang berbeda, yaitu sistem protipe dan sistem model. Sistem protipe adalah sistem alam sesungguhnya yaitu DAS (Larsson, 2002).
19. Model hidrologi *Soil Concervation Service – Curve Number* (SCS-CN) model untuk mensimulasikan nilai limpasan berdasarkan parameter dalam sistem DAS (USACE, 2000).
20. *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) merupakan paket program perangkat lunak model hidrologi yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineering* di Amerika Serikat untuk menganalisis proses hujan dan limpasan pada suatu DAS (USACE, 2000).
21. Simulasi hidrodinamik adalah suatu teknik numeris untuk mengadakan eksperimen hipotetis bagi model matematis, yang dapat menjabarkan tingkah laku sistem dinamik secara kuantitatif (Tivianton, 2010)
22. Pembangkit listrik mikrohidro adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi air (aliran air anak sungai) sebagai energi penggerak generator sebagai pembangkit listriknya (Agung, 2008).
23. Daya listrik adalah energi yang dibangkitkan dari suatu mesin pembangkit listrik yang dinyatakan dalam satuan watt (Agung, 2008).
24. Sumber daya adalah suatu nilai potensi yang dimiliki oleh suatu materi atau unsur tertentu dalam kehidupan. Sumber daya ada yang dapat pulih atau terbarukan (*renewable resources*) dan sumber daya tak terbarukan (*non-renewable resources*). Sumberdaya listrik adalah suatu potensi listrik

yang dihasilkan dari unsur tertentu (SDA) dalam kehidupan. (Wikipedia Ensiklopedia, *www.wikipedia.org*, 17 Desember 2012).

25. Spasio atau spasial bermakna ruang atau tempat. Temporal berhubungan dengan waktu. Spasio temporal berarti berhubungan dengan ruang dan waktu atau secara keruangan dan kewaktuan. (Kamus Besar Bahasa Indonesia, 1989).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksplorasi dan implementasi MODEL analisis potensi energi terbarukan aliran sungai untuk menentukan nilai energi terbarukan aliran sungai-sungai yang ada dalam Wilayah DAS. Implementasi model dilakukan melalui proses simulasi dengan menyesuaikan parameter masing-masing subDAS dalam Wilayah DAS. Parameter subDAS yang akan disesuaikan adalah: Luas subDAS, *Curve Number* (CN), *Initial Abstraction* (Ia), *Time Lag* (TL), dan nilai *Base Flow*. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software HEC-HMS. Input data hujan menggunakan data hujan harian wilayah DAS Bone Gorontalo.

Penelitian dilakukan melalui 3 bagian yakni:

1. Bagian awal penelitian yang meliputi:
   a. Survei/eksplorasi lapangan pada wilayah studi penelitian yang ditentukan untuk penyesuaian kompenen-komponen yang diperlukan pada tahapan penelitian.
   b. Studi pustaka dan dokumen penunjang penelitian.
   c. Penelusuran/pengumpulan data lapangan, untuk mendukung analisis penelitian yakni data hidrometri sistem sungai seperti data hujan, tinggi muka air, data morfometri sungai dan peta topografi.
2. Bagian pengambilan data lapangan dan analisis, yang meliputi :
   a. Data setasiun hujan otomatis (*Automatic Rainfal Recorder*-ARR*)* dan setasiun tinggi muka air (*Automatic Water Level Recorder*-AWLR) dalam wilayah penelitian (DAS Bone Gorontalo).
   b. Analisis data hujan.
   c. Analisis citra pada sebaran sistem DAS untuk menentukan luasan, morfometri dan karakteristik sungai.
   d. Analisis parameter subDAS sebagai input HEC-HMS sebagai *tools* analisis.

e. Simulasi hasil analisis model pada sebaran DAS dan SubDAS lainnya
f. Analisis ketinggian jatuh air (*Head*) untuk power listrik
g. Analisis potensi energi air untuk pembangkit tenaga listrik
h. Analsis penggunaan energi listrik sesuai zona pemanfaatan.

3. Bagian perumusan dan pembuatan laporan hasil penelitian
   a. Perumusan rekomendasi hasil penelitian berupa potensi energi listrik sesuai zona pemanfaatan.
   b. Pembuatan laporan akhir hasil penelitian

Model kajian potensi energi air untuk pembangkit tenaga listrik telah diperoleh pada penelitian Tahun 1. Dalam penelitian ini (Tahun II) dilakukan implementasi model untuk memperoleh besaran energi terbarukan di sungai-sungai yang ada dalam wilayah DAS Bone Provinsi Gorontalo.

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Studi Pustaka dan Dokumen Pendukung Penelitian

Studi pustaka dilakukan dengan mengkaji berbagai literature, jurnal penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian, laporan instansi pengelola sungai, album peta pada wilayah studi penelitian, dan dokumen RTRW pada daerah penelitian yakni RTRW Kabupaten Bonebolango Provindi Gorontalo. Pada tahapan ini ditentukan pula sistesis penelitian yang disesuaikan dengan keterbatasan data dan waktu penelitian.

3.2.2. Penentuan Daerah Penelitian

Daerah studi penelitian berada di DAS Bone, yaitu sistem hidrologi yang dibatasi oleh batas fisiografis berupa igir dan bukit serta aliran sungai yang bermuara pada suatu outlet. Batasan DAS dan subDAS ditentukan dari hasil analisis DEM melalui peta RBI dan citra pendukung lain (Landsat, Ikonos, dan citra lainnya). Penetapan wilayah penelitian di SubDAS Bula di wilayah DAS Bone juga mempertimbangkan ketersediaan data dan setasiun meteorologi dan hidrologi yang terpasang di wilayah DAS tersebut.

Pada DAS Bone telah terpasang beberapa setasiun meteorologi dan hidrologi yakni, setasiun ARR Bone Alale, ARR Bone Tulabolo, Setasiun Hujan Manual Pinogu, setasiun AWLR Bone Alale dan AWLR Talumolo. Setasiun tersebut adalah milik Balai Wilayah Sungai II Sulawesi Dinas PU Provinsi Gorontalo.

Selain data meteorologi dan hidrologi, pada sebaran DAS Bone juga tersedia citra satelit dan peta topografi/RBI sebagai peta penunjang analisis penelitian.

3.2.3. Persiapan Data Hidrologi dan Meteorologi, Peta Dasar dan Peta Tematik, Alat dan Bahan Penelitian.

3.2.3.1 Data hidrologi dan meteorologi

Data hidrologi dan meteorologi di wilayah penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari setasiun debit AWLR dan setasiun hujan yang dipasang di wilayah studi penelitian. Data sekunder berupa data hujan dan data debit sungai diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II Provinsi Gorontalo. Data yang diperlukan dalam pemodelan hidrodinamik sebagai parameter karakteristik DAS sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data yang dibutuhkan dalam penelitian

Jenis Data		Satuan	Sumber
Analisis Hidrologi dan Klimatologi			
Penentuan Hidrograf	Curah Hujan	Menit/ Jam-jaman Harian Bulanan	Setasiun hujan (ARR) dan setasiun level air sungai (AWLR) yang dipasang pada titik studi penelitian dan data sekunder
	Debit Sungai	Menit Jam-jaman, Harian, Bulanan,	

3.2.3.2 Peta dasar dan peta tematik

Citra satelit digunakan untuk memperoleh nilai-nilai variabel yang menjadi input dalam Hec-GeoHMS. Citra digital diperoleh dari citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2008. Acuan geometri citra Landsat adalah peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan hasil pengukuran koordinat bumi di lapangan. Proses koreksi geometrik dilakukan dengan memilih beberapa titik control (*ground control points/GCP*) pada wilayah DAS Bone, kemudian ditentukan titik koordinatnya pada objek yang sama pada citra digital. Perubahan nilai spectral akibat bergesernya posisi piksel pada proses ini diantisipasi dengan metode interpolasi *Nearest Neighborhood*. Sulistiyo dan Hartono (1998) menyimpulkan bahwa metode interpolasi ini dianggap terbaik dalam proses koreksi geometric citra, untuk klasifikasi multispectral. Selain itu, Jensen (1996) mengungkapkan nilai *threshold* RMSE *(Root Mean Square Error)* yang dianggap memenuhi ketelitian planimetrik adalah kurang atau sama dengan 0,5.

Peta tematik yang dibuat untuk penunjang analisis penelitian adalah: Peta Penggunaanlahan, peta tanah, peta tutupan vegetasi, peta kemiringan lereng, peta sistem DAS dan subDAS, dan Peta CN. Peta dasar yang digunakan adalah Peta RBI lembar Taludaa Tahun 1991 skala 1 : 50.000 dan Peta Administrasi Bone Bolango Tahun 2009. Citra yang digunakan adalah citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2008. Peta yang dibutuhkan untuk analisis penelitian disajikan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2, Peta dasar dan peta tematik yang dibutuhkan untuk analisis penelitian

Analisis Penginderaan Jauh dan SIG		Tahun	Sumber
Penentuan Curve Number (CN)	Data DEM (*Digital Elevation Model*) dari Kontur Digitasi Peta Topografi	Perekaman Tahun 2004 Wilayah Gorontalo	LAPAN/ BAKO SURTANAL
	Citra Landsat 7 ETM+	Perekaman Tahun 2008 Wilayah Gorontalo	LAPAN

3.2.3.3 Alat dan Bahan

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian disajikan pada Tabel 3.3.a

Tabel 3.3.a Peralatan yang digunakan dalam penelitian

No	Alat yang digunakan	Fungsi
Alat Analisis Data		
1.	Komputer Laptop Toshiba Intel Dual core, 1,8 Ghz, DDR2 1 Gb, HDD 250 Gb	Analisis Data, Pembuatan Laporan Penelitian
2.	Perangkat lunak ENVI 4,3	Analisis Citra
3.	Perangkat Lunak ArcGIS 10	Analisis SIG
4.	Perangkat Lunak HecGeo-HMS 10	Analisis parameter DAS
5	Perangkat lunak HEC-HMS 3.5	Analisis Hidrodinamik
6.	MS Office 2007 Word	Penulisan Disertasi
7.	MS Office 2007 Excel	Analisis frekuensi, tabulasi
Alat Cek Lapangan		
1.	Handheld GPS Garmin	Penentuan Koordinat
2.	Kamera Digital	Cek Cakupan Tutupan Vegetasi dan sistem aliran sungai
3.	Meteran	Pengukur jarak dan ketinggian air

Bahan-bahan yang digunakan disajikan pada Tabel 3.3.b

Tebel 3.3.b. Bahan yang digunakan dalam penelitian

Jenis Data		Satuan	Sumber
	Peta Penggunaan Lahan	Peta RBI skala 1:25.000 Wilayah Bonebolango	BAKOSURTANAL
	Peta Tanah	Wilayah Bonebolango Gorontalo Skala 1:250.000	LAPAN/ BPSDA
	Tutupan Vegetasi	Interpretasi citra dan Data Lapangan	
Analisis Hidrodinamik			
Subbasin	Luas DAS		HEC-GeoHMS
Loss Metode SCS-CN	*Initial Absraction*	Per subDAS	AWLR
	Curve Number	Per subDAS	HEC-GeoHMS
	Impervious Area	Per subDAS	HEC-GeoHMS
Transform SCS UH	*Lag time**	Per subDAS	HEC-GeoHMS
Baseflow Recession	*Initial Discharge**	Per subDAS	Kalibrasi HEC-HMS
	*Recession Constant**	Per subDAS	Kalibrasi HEC-HMS
	*Ratio to peak**	Per subDAS	Kalibrasi HEC-HMS
Junction			HEC-GeoHMS
Reach	*Panjang Reach**	Per subDAS	HEC-GeoHMS
	*Slope**	Per subDAS	HEC-GeoHMS
	*Koefisen Manning's**	Per subDAS	HEC-GeoHMS
	*Bottom Width**		HEC-GeoHMS
	*Side Slope**		HEC-GeoHMS

Cat: (*) diperoleh dengan kalibrasi

3.2.4. Penentuan Penutupan Lahan/Vegetasi berdasarkan Interpretasi Citra Penginderaan Jauh

Teknik yang digunakan untuk identifikasi tutupan vegetasi di lapangan adalah berdasarkan interpretasi citra Landsat 7 ETM+ yang ditumpangtindih dengan peta topografi (RBI) tutupan lahan untuk lembar Taludaa Bone Bolango. Sebagai pembanding interpretasi citra dilakukan plot foto tutupan vegetasi di lapangan. Estimasi untuk menentukan keadaan vegetasi digunakan standar *USDA FIA Canopi Cover Estimation Chart* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Klasifikasi tutupan vegetasi menggunakan skala yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan (2004) seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4.

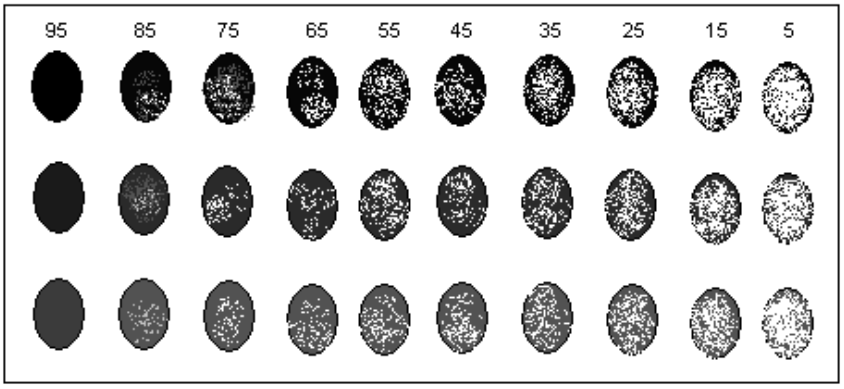
Tabel 3.4. Klasifikasi tutupan vegetasi

Tutupan Vegetasi	**Kelas**
>80 %	Sangat baik
61 – 80 %	Baik
41 – 60 %	Sedang
21 – 40 %	Buruk
< 20 %	Sangat buruk

Sumber: Departemen Kehutanan (2004).

Persentase liputan lahan didekati dengan pendekatan persentase vegetasi penutup. Vegetasi penutup diperoleh dari interpretasi citra landsat 7 ETM+ yang dipadukan proses analisisnya dengan hasil data lapangan. Plot titik vegetasi lapangan dilakukan secara sampel pada sebaran wilayah subDAS Bula. Sampel Plot vegetasi diambil untuk mewakili tutupan vegetasi hutan, vegetasi kebun/pertanian, vegetasi tegalan dan lapangan, dan plot untuk permukiman pada koordinat masing-masing. Representasi plot vegetasi lapangan disesuaikan dengan *Canopy Cover Estimation Chart*, USDA FIA seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Plot kerapatan vegetasi yang sesuai dengan *chart* nilai 85-95 dinyatakan sebagai vegetasi kerapatan tinggi/sangat baik. Plot pada *chart* nilai 65-75 vegetasi kerapatan baik, Plot pada nilai 45-55 vegetasi kerapatan sedang, Plot pada nilai 25-35 vegetasi kerapatan buruk, dan Plot pada nilai 5-15 vegetasi kerapatan sangat buruk.



Gambar 3.1.. USDA FIA *Canopy Cover Estimation Chart*
(Sumber: Jenning dkk., (1990 dalam Korhonen *et al*., 2006)

Berdasarkan hasil estimasi kerapatan vegetasi lapangan dilakukan penyesuaian pada pembuatan peta kerapatan vegetasi wilayah subDAS Bula Bone Bolango yang menjadi wilayah studi penelitian. Analisis peta kerapatan vegetasi untuk wilayah DAS bone sebagai parameter yang akan digunakan dalam simulasi model penelitian di DAS Bone, menggunakan acuan hasil analisis kerapatan vegetasi di subDAS Bula.

3.2.5. Data Tanah dan Penentuan Kelas Hidrologi Tanah

Data tanah yang diperlukan berupa informasi jenis tanah dan sifat fisik tanah. Data jenis tanah diperoleh dari interpretasi citra berdasarkan peta tanah di DAS Bone yang menjadi daerah penelitian. Data tanah hasil interpretasi citra dilakukan *check* lapangan untuk penyesuaian data. Pengamatan dan pengambilan sampel lapangan dilakukan pada tempat yang dapat terjangkau karena luasnya daerah penelitian dan sulitnya medan yang akan dilalui. Penetapan kelas hidrologi tanah dilakukan dengan melihat tekstur tanah dan menyesuaikan dengan Tabel *Hydrology Soils Group* (HSG) (Wanielista, 1997). Jenis tekstur tanah menentukan kelas hidrologi tanah karena berkaitan erat dengan nilai kapasitas air efektif dalam tanah. Hubungan tekstur dan kelas hidrologi tanah (HSG) ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Klasifikasi hidrologi tanah berdasarkan tekstur tanah

Tekstur	Kapasitas air efektif (mm/mm)	Laju infiltrasi minimum (mm/jam)	Kelas SCS
Pasir	8,89	210,06	A
Pasir Bergeluh	7,89	61,21	A
Geluh berpasir	6,35	25,91	B
Geluh	4,83	13,21	B
Geluh berdebu	4,42	6,86	C
Gelum lempung berpasir	3,56	4,32	C
Geluh berlempung	3,56	2,29	D
Geluh lempung berdebu	2,79	1,52	D
Lempung berpasir	2,29	1,27	D
Lempung berdebu	2,29	1,02	D
Lempung	2,03	0,51	D

Sumber : Wanielista dkk. (1997)

Karakteristik jenis tanah yang termasuk dalam kelas hidrologi tanah dideskripsikan seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Kelompok hidrologi tanah berdasarkan SCS-CN

Kelompok Hidrologi Tanah	Deskripsi Jenis Tanah
A	Potensi terjadi limpasan rendah, meliputi lapisan tanah tebal dengan tekstur geluh dan lempung sangat rendah, tergolong tekstur pasiran yang sangat porus
B	Potensi terjadi limpasan agak rendah, meliputi tanah tekstur pasir yang tidak dalam dan agregat berukuran lebih halus dari tanah A dengan ilfiltrasi yang cepat
C	Potensi terjadi limpasan agak tinggi, meliputi tanah tipis dengan tekstur lempung dan *colloid* yang lebih sedikit dibandingkan kelas tanah D. tingkat infiltrasi rendah dan
D	Potensi terjadi limpasan tinggi, meliputi tanah dengan tekstur lempung, mudah tergenang air, kedalaman dangkal dan dekat dengan lapisan batuan induk yang *impermeable*

Sumber : Wanielista dkk. (1997)

Bagian hujan yang jatuh ke tanah akan mengalami peresapan ke dalam tanah atau proses infiltrasi, dan bagian yang tidak meresap akan mengalir menjadi limpasan permukaan. Air yang meresap ke dalam tanah sangat tergantung dari sifat fisik tanah yakni: tekstur, struktur, permeabilitas tanah, dan kelembaban awal.

Perubahan nilai CN pada kondisi AMC I (kering) dan AMC III (basah) berdasarkan kondisi AMC II (normal ditetapkan berdasarkan Persamaan 3.1, dan 3.2.

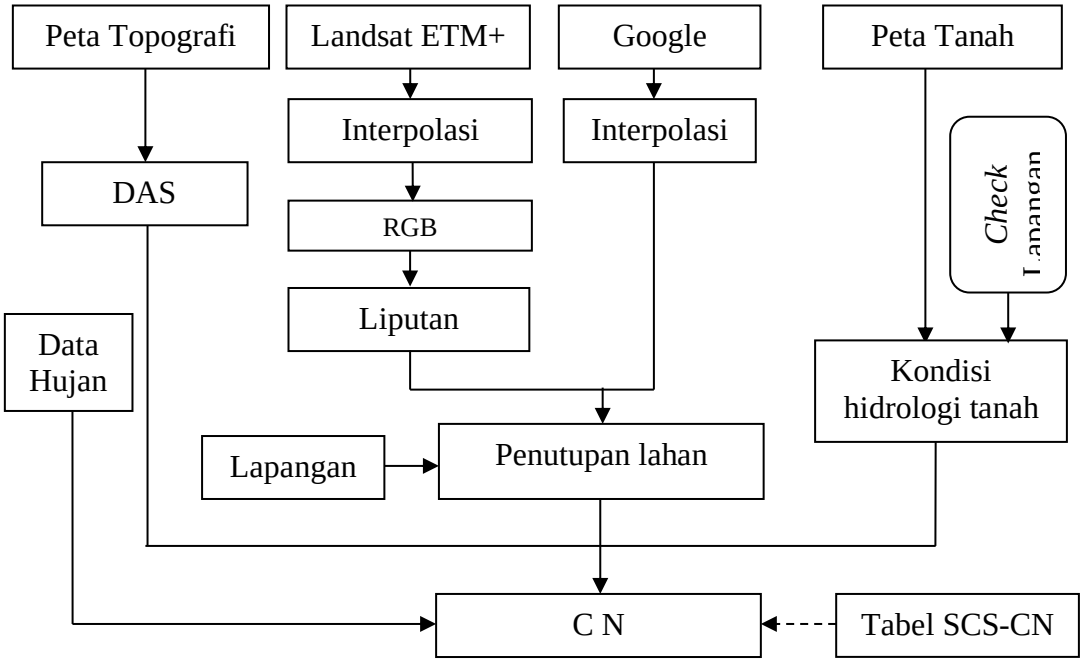
$$CN\ I = \frac{4{,}2\ CN\ (II)}{10 - 0{,}058\ CN\ (II)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 3.1.$$

$$CN\ III = \frac{23\ CN\ (II)}{10 + 0{,}13\ CN\ (II)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 3.2$$

3.2.6. Penentuan nilai *Curve Number* (CN)

Pada sebaran nilai CN diperoleh dari *overlay* hasil peta penggunaan lahan dengan peta tanah yang disesuaikan dengan kelas hidrologi tanah berdasarkan hasil *check* lapangan. Klasifikasi nilai *Curve Number* sesuai dengan tabel SCS-CN. Proses analisis citra hingga penentuan klasifikasi CN ditunjukkan dengan urutan pengerjaan seperti pada Gambar 3.2.

Nilai-nilai penggunaan lahan dan kondisi hidrologi tanah dibuat dalam suatu tabel untuk menentukan nilai CN. Analisis nilai CN dilakukan pada kondisi nilai kebasahan tanah normal (AMC II). Nilai kebasahan tanah (AMC) dihitung berdasarkan catatan curah hujan 5 hari sebelumnya. Patokan nilai kebasahan tanah adalah, AMC-1 sebesar < 35 mm, AMC-II sebesar 35 – 53 mm, dan AMC-III sebesar > 53 mm.



Gambar 3.2. Alur penentuan CN

Nilai CN subDAS diperoleh melalui analisis *overlay* antara berbagai komponen seperti peta topografi wilayah penelitian, peta penggunaan lahan, peta tanah, penyesuaian karaktersitik DAS dan hasil *check* lapangan yang selanjutnya

dianalisis berdasarkan acuan Tabel SCS-CN. Tabel nilai CN untuk berbagai keadaan penggunaan lahan ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Perkiraan hujan efektif sebagai fungsi dari hujan kumulatif, penutup lahan, penggunaan lahan, dan kelembapan tanah sebelumnya (AMC) menggunakan persamaan berikut:

$$P_e = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots > \quad Ia \geq 0{,}2 * S$$

Keterangan: Pe = Akumulasi hujan efektif pada saat t,

P = Akumulasi curah hujan total pada saat t,

Ia = Kehilangan awal air hujan sebelum terjadinya limpasan

S = Retensi potensial maksimum

Tabel 3.7 Nilai CN berdasarkan kondisi penggunaan lahan dan kelas hidrologi Tanah

Peta	**Penggunaan lahan/Kondisi Penutup lahan**			***Soil Group Hydrology***		
Pemukiman	Daerah Pemukiman			A	B	C
Kerapatan 35%		65% Daerah Kedap Air		77	85	90
Kerapatan 60%		38% Daerah Kedap Air		61	75	83
Kerapatan 70%		25% Daerah Kedap Air		54	70	80
Kerapatan 80%		20% Daerah Kedap Air		51	68	79
Kerapatan < 10%	Daerah Pertokoan (85% daerah kedap air)			89	92	94
Tegalan 30%	Lahan terbuka, lapangan, taman	Keadaan baik (75% tertutup oleh rerumputan)		39	61	74
Tegalan < 10%	Lahan kosong	Berjajar lurus lereng		77	80	91
Sawah Tadah Hujan	Tanaman panenan berjajar	Sejajar dengan kontur	Jelek	70	79	84
Sawah irigasi	Tanaman padi-padian	Sejajar dengan kontur	Baik	61	73	83
Kebun kerapatan < 25%	Tanaman rpat atau padang rumput musiman	Sejajar dengan kontur	Jelek	64	75	83
Kebun kerapatan >50%			Baik	55	69	78
Kerapatan 30-70%	Hutan		Sedang	36	60	73
Kerapatan >70%			Baik	25	55	70
Tubuh Air	Tubuh Air			100	100	100

Sumber: USDA NRCS (2005).

Jika Ia mendekati 0, berarti permukaan subDAS dalam kondisi jenuh, namun jika permukaan subDAS dalam keadaan kering maka nilai Ia akan meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hujan maksimum yang jatuh dalam subDAS adalah dalam kondisi tanpa limpasan. Ia tergantung pada kondisi permukaan subDAS, keadaan penggunaan lahan, jenis tanah, dan perlakuan atas tanah.

Perhitungan retensi potensial maksimum (*S*) berdasarkan nilai CN adalah dengan menggunakan rumus:

$S = \frac{2540}{CN}$ x 25,4 centimeter (sistem metrik)

Jika terdapat berbagai macam jenis tanah dan penggunaan lahan, maka nilai CN yang dihitung merupakan nilai CN komposit dengan menggunakan persamaan:

$$\text{CN Komposit} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i CN_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

Keterangan:

CN-komposit	:	nilai CN komposit yang digunakan untuk menghitung volume *runoff* dengan HEC-HMS
i	:	indeks dari bagian subDAS yang mempunyai perbedaan *lanuse* dan jenis tanah
CN_i	:	nilai CN masing-masing bagian dalam sub-subDAS
A_i	:	luas areal masing-masing bagian dalam sub-subDAS (m^2)
N	:	jumlah sub-subDAS

3.2.7. Morfometri DAS

Morfometri DAS mencerminkan karakteristik atau sifat DAS yang akan digunakan untuk menentukan pengaruh karakteristik DAS terhadap limpasan. Parameter untuk mengetahui karakteristik DAS adalah meliputi Luas DAS, Panjang sungai, Bentuk DAS, kemiringan lereng, sistem aliran sungai dan gradient sungai.

Penentuan parameter DAS dilakukan melalui analisis *software* ArcGIS dan HecGeo-HMS. Analisis morfometro DAS meliputi: Batas dan luas DAS, Tititk berat DAS, Kemiringan DAS, Panjang sungai, dan Kemiringan sungai.

3.3. Tahap Analisis dan Pengolahan Data

Analisis peta berupa penggunaan/penutupanlahan/vegetasi, kelerengan, dan peta tanah digunakan sebagai parameter DAS untuk menjadi input model penelitian HEC-HMS dalam menghasilkan output model hidrograf debit aliran (*runoff*) berdasarkan besaran hujan yang jatuh di wilayah tersebut. Penentuan dimulai dari elemen yang terdapat pada hulu hingga hilir melalui model *junction-Reach - SubBasin* pada perangkat lunak HEC-HMS. Model yang dapat dijalankan dalam HEC-HMS sangat berfariasi tergantung dari parameter batasan kondisi dan kondisi permulaan yang digunakan.

Komponen syarat control berisi informasi waktu dimulainya model hingga selesai. Komponen input data dapat berupa format data periodik, data berpasangan, maupun data format grid.

Penentuan energi potensial air diperoleh berdasarkan data debit hasil hidrograf *runoff* model dan dimasukkan dalam rumus perhitungan energi potensial air sungai dengan terlebih dahulu menentukan nilai hasil analisis ketinggian jatuh air (*head*).

Analisis potensi sumberdaya air sungai didasarkan pada pendekatan model hidrologi SCS-CN, untuk menentukan nilai debit aliran Sungai Bula pada subDAS Bula Bone Bolango. Hasil analisis model diterapkan untuk menduga nilai debit aliran sungai lain di seluruh wilayah DAS Bone. Besarnya potensi energi air, menjadi dasar dalam pemberian rekomendasi pembangunan pembangkit tenaga listrik.

3.3.1 Analisis Data Hidrologi

Data hidrologi yang diperlukan terbagi menjadi dua jenis sumber data, yaitu pertama adalah jenis data meteorologi dari setasiun hujan dan setasiun klimatologi. Data yang kedua adalah jenis data hidrologi yang diperoleh dari setasiun AWLR dan pengukuran lapangan.

Tahapan persiapan data hidrologi dimulai dari pengumpulan data sekunder dari setasiun hujan dan setasiun debit aliran AWLR yang terdapat di wilayah DAS Bone. Setasiun hujan yang terpasang di wilayah DAS Bone sebagai wilayah studi penelitian masing-masing adalah :

1. Setasiun hujan Bone Alale (*logger*).
2. Setasiun hujan Bone Tulabolo (*logger*).
3. Setasiun hujan Pinogu (manual).

Untuk data primer diperoleh dari setasiun hujan dan setasiun debit aliran AWLR yang dipasang di lokasi penelitian yakni di sungai Dutuna Bula berada di wilayah SubDAS Bula Bone Bolango. Data sekunder digunakan sebagai data pembanding dan data untuk analisis simulasi. Data primer digunakan sebagai input analisis model penelitian.

Data hujan yang diperoleh dari setasiun hujan yang dipasang pada lokasi penelitian, diperoleh dengan cara mendownload data logger setasiun hujan (ARR) dengan menggunakan *HOBO Optic USB Base Station.* Dengan software *HOBOware Pro* dibuat file *project* data hujan melalui *Plot Setup.* Data file dapat di *convert* menjadi tabel *Microsoft excel* melalui *export table data.* Data pada tabel dikonversi menjadi data hujan jam-jaman.

Data debit diperoleh dari setasiun AWLR yang dipasang di lokasi penelitian. Dengan proses download dan export excel seperti data hujan diatas diperoleh data Tinggi Muka Air (TMA). Data TMA dalam satuan menit dirumah menjadi jam-jaman untuk memperoleh pasangan data hujan dan TMA.

Data debit sungai hasil pengukuran lapangan berdasarkan nilai TMA diperoleh dengan metode persamaan kurva lengkung aliran (*Discharge Rating* Curve). Metode DRC merupakan metode hubungan tinggi muka air dengan debit yang digambarkan melalui grafik/kurva lengkung. Pengukuran debit lapangan dilakukan beberapa kali berdasarkan nilai ketinggian air yang diamati pada papan duga ketinggian muka air yang dipasang dipinggiran sungai.

Debit sungai diperoleh melalui persamaan $Q = v \cdot A$ (m^3/det).

Dimana Q = Debit sungai (m^3/det)
v = Kecepatan aliran (m/det)
A = Luas penampang basah (m^2)

Kecepatan aliran (v) diukur dengan menggunakan *current meter* atau dengan metode pelampung. Dalam penelitian ini menggunakan metode pelampung. Alasan penggunaan metode pelampung adalah selain karena sulit mendapatkan pinjaman *current* meter, metode pelampung dapat digunakan pada

sungai dengan kondisi saluran lurus serta perubahan lebar, kedalaman dan gradient sungai relatif kecil (Sostrodarsono, 1978).

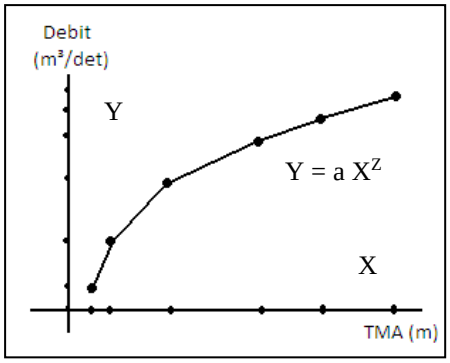
Pada lokasi penelitian Sungai Bula di tempat melakukan pengukuran kondisi sungai yang cukup lurus dan di sisi kiri kanan sungai telah dipasang tanggul yang menjadikan perubahan lebar dan gradient sungai relatif kecil. Hal tersebut memungkinkan untuk menggunakan metode pelampung dalam mengukur kecepatan aliran air sungai. Penggunaan pelampung untuk mengukur aliran memperhitungkan kostanta dari jenis pelampung yang digunakan. Sosrodarsono (1978), menjelaskan untuk mengukur kecepatan rata-rata aliran pada penampang sungai dengan metode pelampung harus dikali dengan koefisien pelampung sebesar 0,86

Luas penampang basah sungai diukur dengan menggunakan metode *area velocity* yakni metode perhitungan luas penampang sungai dengan membagi penampang sungai menjadi beberapa bagian dan menghitung luas tiap bagian dengan cara perhitungan trapesium. Jumlah masing-masing bagian merupakan luas penampang basah sungai.

Pengukuran debit lapangan dilakukan beberapa kali untuk memperoleh data debit pada ketinggian air minimum dan ketinggian air maksimum (saat air surut dan banjir). Setiap melakukan pengukuran disesuaikan dengan nilai ketinggian air yang terbaca pada papan duga air. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran sebanyak 12 kali selang bulan Mei sampai dengan bulan Oktober 2011. Dari pengukuran yang dilakukan sebanyak 13 kali hanya 9 data yang dianalisis untuk memperoleh data *series* debit lapangan, karena sebagian data memiliki nilai yang sama. Data debit lapangan dicatat berdasarkan waktu dan tanggal saat melakukan pengukuran. Data debit dipasangkan dengan data TMA berdasarkan waktu tanggal kejadian dan selanjutnya digunakan untuk membuat kurva lengkung aliran (*discharge rating curve*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.

Discharge rating curve merupakan hubungan debit dan tinggi muka air yang digunakan untuk memperoleh data *series* debit hasil lapangan/observasi. Melalui proses *software Microsoft excel* data Debit dan TMA di *input* dengan menggunakan *chart scatter* untuk memperoleh persamaan garis lengkung

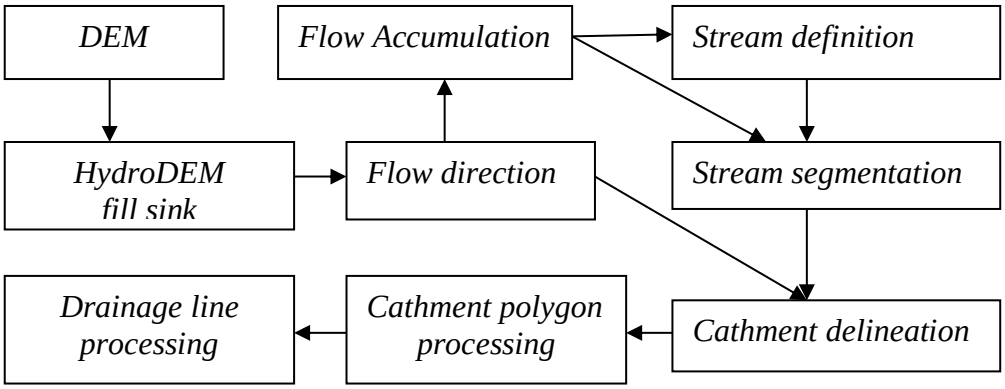
($Y = X^Z$). dengan memasukkan seluruh nilai TMA pada variabel X dapat diperoleh nilai Y atau nilai debit *series* sebanyak data TMA.



Gambar 3.3, Kurva Lengkung TMA-Debit

3.3.2. Analisis Karakteristik dan Morfometri DAS dengan HecGeo-HMS

Analisis morfometri DAS diambil dari data DEM dengan perangkat lunak HEC-GeoHMS. Uji batas DAS hasil HEC-GeoHMS dilakukan dengan perbandingan visual kenampakan kontur pada peta RBI, Aspek morfometri DAS seperti kemiringan lereng sungai, panjang sungai, titik berat DAS diperoleh juga dari analisis HEC-GeoHMS. Alur kerja Proses karakteristik SubDAS dalam Hec-GeoHMS disajikan dalam Gambar 3.4 (Tivianton, 2010). Selanjutnya dilakukan proses *terrain* yang terdiri dari delapan tahapan yaitu: 1) *Fill Sink*, 2) *Flow Direction*, 3) *Flow Acumulation*, 4) *Stream Definition*, 5) *Stream Segmentation*, 6) *Catchment Delineation*, 7) *Catchment Polygon Processing*, dan 8) *Drainage Line Processing*



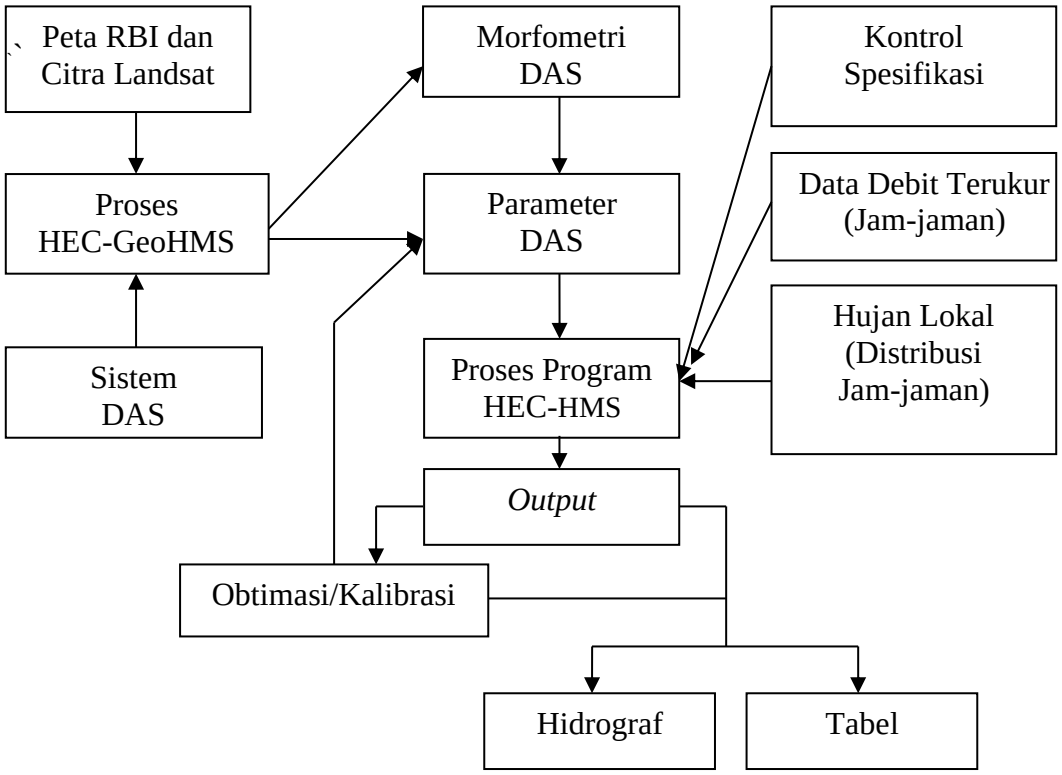
Gambar 3.4, Alur proses karakteristik DAS dalam Hec-GeoHMS

3.3.3. Analisis Hidrograf Debil Aliran dalam HEC-HMS

Analisis hidrograf debit aliran dalam HEC-HMS terdiri dari dua macam data, yaitu hidrograf debit aliran terukur dan hidrograf debit aliran model. Hidrograf debit aliran terukur diperoleh dari pasangan data hujan-limpasan interval jam-jaman. Hidrograf debit aliran model diperoleh dari model hidrodinamik dalam perangkat lunak HEC-HMS.

Penentuan pramodel hidrodinamik ditentukan pada tahap HEC-GeoHMS, seperti penentuan metode dalam *subbasin*, *reach*, dan *junction*. Parameter awal yang ditentukan sebelum pemrosesan dalam HEC-HMS juga turut dihasilkan oleh HEC-GeoHMS. Parameter awal tersebut adalah nilai *Curve Number* , *Time lag*, kelerengan sungai, panjang sungai, *river weight*.

Analisis untuk menghasilkan hidrograf debit aliran dalam model Hec-GeoHMS dan HEC-HMS secara garis besar dapat ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Alur pemodelan HEC-HMS
(Tivianton, 2010., dengan modifikasi)

3.3.3.1. Estimasi volume *runoff* dengan Model *Soil Conservation Service – Curve Number* (SCS-CN)

Metode SCS-CN merupakan model yang dikembangkan oleh SCS-USDA untuk mensimulasikan nilai *runoff* dengan memasukkan parameter :

1. Penggunaan lahan
2. Tekstur tanah, dan
3. Tingkat kelembaban tanah saat terjadi hujan

Ketiga parameter tersebut kemudian ditentukan indeks dalam *Curve Number* (CN), berdasarkan kelas hidrologi tanah (*Hydrology Soils Group, HSG*) dan kondisi tutupan lahan yang bersifat umum. Persamaan untuk menentukan SCS ditunjukkan dalam Persamaan 3.4

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3.4)}$$

Dimana : Pe = Akumulasi hujan efektif pada saat t,

P = Akumulasi curah hujan pada saat t,

Ia = Kehilangan awal air hujan sebelum terjadinya limpasan

S = Retensi potensial maksimum

Hubungan antara Ia dan S berbentuk linear dengan Persamaan 3.5.

$$Ia = 0{,}2 * S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3.5)}$$

Dengan akumulasi hujan efektif pada saat t, dirumuskan dengan Persamaan 3.6

$$Pe = \frac{(P-0{,}2\,S)^2}{P+0{,}8\,S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3.6)}$$

Potensi penyimpangan maksimum (S) dihitung berdasarkan nilai CN dengan menggunakan Persamaan 3.7.a atau 3.7.b.

$$S = \frac{(1000-10\ CN)}{CN} \text{ (inchi)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{3.7.a}$$

$$S = \frac{(25400-25400\ CN)}{CN} \text{ (millimeter)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{3.7.b}$$

3.3.3.2. Estimasi *Direct runoff dengan Model Clark Unit Hydrograph*

Bentuk hidrograf satuan sintetik model Clark pada dasarnya ditentukan berdasarkan parameter waktu konsentrasi (*tc*), koefisien simpanan DAS (*R*) dan

diagram luas-waktu. Johnstone and Cross (1949, dalam USACE, 2000) mengenalkan salah satu persamaan untuk mencari waktu konsentrasi (jam) menggunakan Persamaan 3.8.

$$Tc = 5{,}0\ \left(\frac{L_{ms}}{\sqrt{ars}}\right)^{0{,}5} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.8)$$

Dengan L_{ms} adalah panjang sungai utama (mil), dan *ars* adalah kemiringan saluran atau *slope channel* (ft/mil). Persamaan yang digunakan HEC-HMS untuk kurva luas-waktu adalah:

$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} 1{,}414\left(\frac{t}{t_c}\right)^{1{,}5}, untuk : t \le \frac{t_c}{2} \\ 1 - 1{,}414\left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1{,}5}, untuk : t \ge \frac{t_c}{2} \end{cases} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.9)$$

dimana, A_t adalah luas kumulatif yang terkontribusi pada waktu *t*, dan *A* adalah luas total DAS.

3.3.3.3. Estimasi *Baseflow* dengan Model Resesi Eksponensial

Aliran dasar terjadi akibat limpasan yang berasal dari kejadian presipitasi terdahulu yang tersimpan secara temporer dalam suatu DAS, ditambah dengan limpasan subpermukaan yang tertunda dari suatu kejadian hujan. Pada penelitian ini, metode perhitungan aliran dasar yang digunakan adalah *exponential recession model*. Hubungan antara aliran dasar pada periode *t* (Q_t) dan aliran dasar awal/pada *t=0.* (*Qo*) dirumuskan dalam persamaan 3.10 (USACE, 2000):

$$Q_t = k^t * Q_O \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.10)$$

dengan *k* merupakan konstanta resesi.

Parameter *baseflow model* yang diperlukan HEC-HMS sebagai masukan meliputi aliran dasar awal, konstanta resesi dan aliran *threshold* (aliran saat dimulainya kurva resesi pada sisi yang menurun dari sebuah hidrograf). Ketiga parameter tersebut ditetapkan berdasarkan analisis terhadap hidrograf pengamatan.

Pemodelan aliran dasar memasukkan unsur aliran awal (*initial flow*) Q_O, rasio pengurangan (*recession ratio*) dan aliran antara. Konstanta pengurangan (k) tergantung dari sumber aliran dasar. Pada daerah permukaan yang alami nilai berkisar $0 \leq k \leq 1$.

3.3.4. Simulasi Model di DAS Bone

Setelah hasil optimasi kalibrasi telah diperoleh, dimana terdapat kesesuaian antara hidrograf model dan hidrograf terukur, maka besaran volume dan debit aliran yang diperoleh ditetapkan sebagai hasil analisis model penelitian. Komponen analisis model penelitian akan digunakan untuk melakukan simulasi pada SubDAS di DAS Bone yang berbeda karakteristik dan parameternya.

Simulasi adalah suatu teknik numerik untuk mengadakan eksperimen hipotetis bagi model matematis, yang dapat menjabarkan tingkah laku sistem dinamik secara kuantitatif. Dengan simulasi hidrologi dapat dengan jelas digambarkan proses curah hujan dan limpasan permukaan melalui satu seri fungsi-fungsi matematik di mana setiap komponen digambarkan dalam satu proses yang khusus dan seluruh proses sistem alam dalam simulasi gabungan. Program simulasi hidrologi dirancang dengan curah hujan sebagai masukan utama dan aliran sungai ***(streamflow)*** sebagai keluaran (Wijaya, 2004). Jadi dengan simulasi hidrologi dimungkinkan untuk menggambarkan data curah hujan historis ke dalam nilai-nilai aliran sungai yang menunjukkan pengaruh dari lahan dan saluran-saluran terhadap fluktuasi aliran dan membantu pengertian tentang siklus hidrologi dalam suatu Daerah Aliran Sungai.

Analisis simulasi pendugaan limpasan di DAS Bone menggunakan parameter hasil analisis model SCS-CN dalam software HEC-HMS sebagai model pendugaan limpasan Sungai Bula subDAS Bula. Parameter yang berubah adalah nilai CN, Ia, dan *Time lag* yang dianalisis berdasarkan karakteristik masing-masing subDAS. Data hujan sebagai input utama menggunakan data rata-rata hujan wilayah DAS Bone yang diperolah dari data sekunder setelah melalui proses *polygon Thiesen*.

Nilai CN dan Ia diperoleh berdasarkan analisis penggunaan lahan dan jenis tanah dengan kondisi hidrologi (HSG) tanah yang telah disesuaikan berdasarkan hasil pengecekan lapangan di subDAS Bula sebagai objek kajian model penelitian.

Data utama berupa luas penggunaan lahan, pasangan data hujan dan debit jam-jaman pada suatu kejadian hujan tertentu. Data tersebut digunakan untuk menentukan parameter yang terkait dengan penggunaan lahan dan jenis tanah, digunakan untuk memperoleh nilai *curve number* (CN) dan persen (%) *impervious area* masing-masing subDAS. Parameter lain yang sulit dilakukan pengukuran didapatkan dengan proses kalibrasi (Setyowati, 2010).

Berdasarkan proses kalibrasi parameter akan diperoleh nilai parameter berupa: *initial loss, time of concentration, Clark's storage coefficient, recession constant, recession threshold, initial baseflow,* serta Muskingum K dan X. parameter yang telah diperoleh diasumsikan telah mempresentasikan keadaan sebenarnya subDAS yang diteliti dan selanjutnya digunakan untuk memprediksi besarnya debit aliran sungai pada subDAS lain berdasarkan perubahan karakteristik hidrograf (debit puncak, volume, dan waktu puncak) (Sujono, 1999).

Proses simulasi dimulai dari perubahan *input* parameter pada *basin* maupun *subbasin* dan *reach.* Perubahan parameter berupa nilai *Curve Number, impervious area* dan data hujan harian rata-rata pada wilayah DAS Bone. Perlu diketahui bahwa dalam melakukan simulasi, nilai *observed flow* pada *junction* tidak digunakan lagi.

3.3.5. Estimasi Potensi Aliran Sungai untuk Sumberdaya Listrik

3.3.5.1 Analisis debit andalan dan debit minimum

Dalam perencanaan pusat pembangkit listrik tenaga air biasanya ditentukan terlebih dahulu debit andalan (*dependable discharge*), guna menentukan debit yang diharapkan tersedia di sungai untuk memperkirakan daya terpasang pusat listrik tenaga air. Debit andalan adalah debit aliran sungai yang tersedia sepanjang tahun yang akan digunakan untuk proyek-proyek pengembangan sumberdaya air. Debit andalan dapat dicari dengan membuat

terlebih dahulu garis durasi untuk debit-debit yang disamai atau dilampaui, kemudian menetapkan suatu andalan yaitu suatu frekuensi kejadian dimana di dalamnya terdapat paling sedikit satu kegagalan. Andalan yang didasarkan atas frekuensi kejadian (jaminan, kepastian) dirumuskan sebagai berikut (Soemarto, 1986):

$$A = \frac{n-q}{n} \times 100\%$$

dengan n = banyaknya pengamatan
q = banyaknya kegagalan, yaitu debit yang lebih kecel dari debit andalan

Debit andalan yang digunakan untuk keperluan pusat pembangkit tenaga listrik adalah sebesar 85 – 90 %, yang artinya dari sekian banyak kejadian debit aliran sungai sepanjang tahun, harus dapat dipenuhi debit kisaran 85 – 90% yang akan digunakan sebagai energi pembangkit tenaga listrik.

Dalam penelitian ini nilai debit andalan yang digunakan adalah sebesar 90%. Debit andalan dianalisis menggunakan metode *Flow Duration Curve* (FDC) yakni dengan menggambarkan grafik kurva hubungan debit dengan frekuensi kejadiannya. Proses pembuatan kurva FDC adalah dengan mengurutkan data debit dari data terbesar hingga data terkecil pada sumbu Y, dan membuat probabilitas ranking angka kejadian dari 1 – 100% pada sumbu X. Probabilitas debit untuk setiap presentasi dihitung menggunakan Persamaan 3.1.1 (Soemarto, 1986):

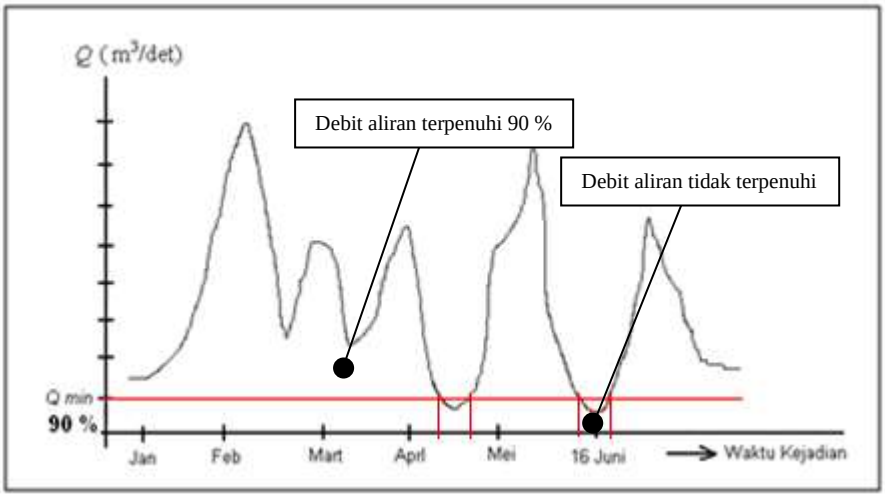
$$P = 100 \times \left[\frac{M}{n+1}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.11)$$

Dengan: P = Probabilitas dari debit air
M = Posisi ranking dari data debit
n = Total data

Sebaran data debit menurut persentase kejadian yang disajikan melalui hasil analisis kurva FDC merupakan informasi penting dalam merancang struktur dan kapasitas pembangkit listrik mikro hidro yang akan dibuat.

Dalam menentukan debit aliran sungai secara rinci berdasarkan waktu kejadian yang akan digunakan untuk memutar turbin generator listrik sepanjang tahun, digunakan nilai debit 90 % dari total debit aliran yang tersedia sepanjang waktu sebagai debit minimum sungai. Debit minimum diperoleh dengan memplot

hidrograf debit aliran sepanjang satu tahun berdasarkan waktu kejadian. Jika terdapat 360 nilai debit dalam 1 tahun, maka ada 36 nilai debit tidak terpenuhi sebagai nilai debit yang akan memutar turbin generator untuk menghasilkan energi listrik. Dengan proses tersebut dapat diketahui kapan terjadinya nilai debit minimum di sungai sehingga untuk penggunaannya dapat diperhitungkan kapasitas komponen/generator listrik. Untuk jelasnya penentuan debit minimum yang terpenuhi 90 % berdasarkan kejadian hidrograf debit aliran sungai di sajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6, Penentuan Debit Minimum 90% terpenuhi

Debit minimum merupakan acuan potensi debit aliran sungai yang akan digunakan untuk menentukan kapasitan daya listrik dari pembangkit listrik tenaga air yang akan dibangun.

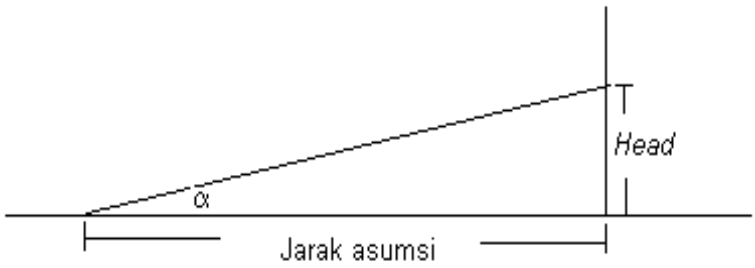
3.3.5.2 Tinggi jatuh air (*head)*

Tinggi jatuh air rancangan digunakan sebagai energi penggerak pembangkit tenaga listrik yang akan dibuat. Penetapan lokasi pembangunan pembangit tenaga listrik dilakukan melalui analisis kemiringan lereng di wilayah DAS. Diupayakan dapat diperoleh kemiringan lereng yang cukup tinggi untuk memungkinkan potensi arus air yang cukup besar untuk memutar turbin pembangkit listrik. Hal penting yang harus dipertimbangkan bahwa pemilihan tempat pembangunan pembangkit tidak terlalu jauh dari titik pengukuran debit air.

Untuk mendapatkan tinggi jatuh air yang memadai perlu dibangun saluran air yang sesuai agar dapat menghasilkan volume aliran sungai optimal untuk memutar turbin pembangkit listrik. Sebagai contoh bangunan saluran air untuk pembangkit listrik mikro hidro disajikan pada Gambar 3.7.

Gambar 3.7, Saluran air pembangkit listrik mikro hidro.
Sumber: download internet, (hermarita.web.id).

Perolehan tinggi jatuh air (*head*) didasarkan pada kemiringan (*slope*) sungai sesuai kondisi lapangan. Sudut elevasi kemiringan sungai dapat diperoleh melalui pengukuran lapangan dengan menggunakan alat ukut theodolite, atau melalui interpretasi citra dengan menentukan nilai ketinggian tempat dititik pengamamatan (tempat AWLR) dan nilai ketinggian tempat pada bangunan pembangkit listrik mikro hidro sesuai asumsi jarak ideal yang dapat diperoleh. Penentuan nilai ketinggian jatuh air (*head*) ditentukan dengan mengurangkan nilai ketinggian titik pengamatan dan nilai ketinggian titik bangunan PLTMH. Nilai ketinggian tempat dijumlahkan dengan tinggi aliran air sungai setelah dibendung merupakan nilai tinggi jatuh air (*Head*) sungai. Penentuan *Head* berdasarkan asumsi jarak ideal lapangan disajikan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8, Penentuan *Head* berdasarkan asumsi jarak ideal dari titik pengamatan sampai ke bangunan PLTMH

3.3.5.3. Analisa potensi energi air untuk pembangkit tenaga listrik

Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air seperti Persamaan 3.12

$$P = \rho Qgh \quad \text{.....} \ (3.12)$$

dengan : P adalah daya (watt).
Q adalah kapasitas debit aliran (m^3/det)
ρ adalah densitas air (kg/m^3)

Pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (*power*) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus (Arismunandar dan Kuwahara, 2000):

$$P = 9{,}8 \ . \ H \ . \ Q$$

Dengan: P = tenaga yang dikeluarkan secara teoritis (Kilo watt)
H = tinggi jatuh air efektif (m)
Q = debit air (m^3/det)

Pada sistem pembangkit listrik tenaga air selalu terjadi kehilangan energi sewaktu energi potensial air diubah menjadi energi listrik. Besarnya energi yang hilang ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

- Kerugian/losses pipa pesat/penstock
- Efisiensi turbin
- Efisiensi generator
- Efisiensi konstruksi sipil

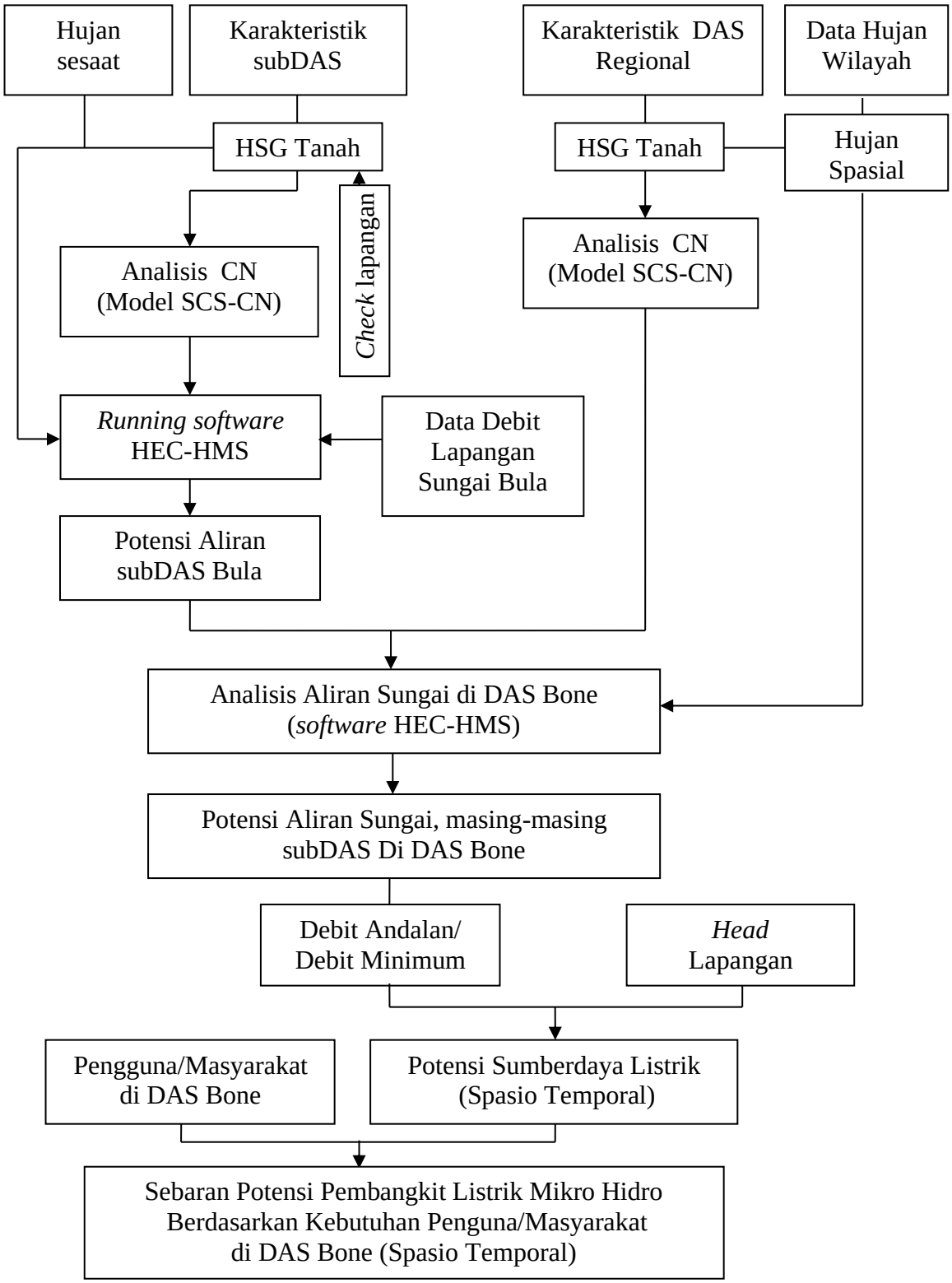
Dalam analisis sistem PLTA Efisiensi pembangkit listrik tenaga air biasanya ditetapkan 75 %, sehingga persamaan di atas menjadi:

$$P = 9{,}81 \times Q \times H \times \eta E \ \ (KW)$$

Pembangkit listrik tenaga air dibedakan berdasarkan kapasitas daya listrik yang diperoleh melalui energi aliran air sungai dan ketinggian jatuh air. Jenis pembangkit listrik tenaga air berdasarkan kapasitas terpasang masing-masing dibedakan sebagai berikut (Kadir, 1995):

4) Untuk kapasitas terpasang lebih kecil sama dengan 100 KW disebut Pusat Listrik Tenaga Mikro Hidro.
5) Untuk kapasitas terpasang antara 500 KW sampai dengan 5000 KW disebut Pusat Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM).
6) Untuk kapasitas terpasang lebih besar dari 5000 KW disebut Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA).

Secara keseluruhan diagram alir penelitian dari proses awal hingga proses akhir disajikan pada Gambar 3.9.



Gamber 3.9. Diagram Alir Penelitian

BAB IV
KONDISI DAERAH PENELITIAN

4.1. Kondisi Topografi, Geologi dan Geomorfologi DAS Bone

4.1.1. Kondisi Topografi

Secara umum kondisi topografi wilayah DAS Bone dikelompokkan kedalam tiga kelompok yaitu kondisi lahan dengan permukaan dataran tinggi (bergunung) atau berada pada kemiringan lereng di atas 40% dan bertekstur kasar. Persebaran lahan dengan ciri tersebut berada di Kecamatan Suwawa, Kecamatan Bonepantai, Kecamatan Kabila Bone, Kecamatan Bone, Kecamatan Bone Raya, Kecamatan Botupingge dan Kecamatan Tilongkabila. Kondisi lahan dengan relief berbukit dengan tekstur morfologi sedang. Persebaran lahan hampir sebagian besar berada di setiap kecamatan. Kondisi dengan relief permukaan rendah. Persebaran lahan berada di Kecamatan Tapa, Kecamatan Suwawa dan Kecamatan Kabila.

Kondisi topografi DAS Bone dapat diklasifikasikan atas 6 kelas yaitu klasifikasi datar, klasifikasi landai/berombak, klasifikasi agak miring, klasifikasi miring, klasifikasi agak curam, dan klasifikasi curam. Kondisi topografi DAS bone didominasi oleh klasifikasi curam atau lereng pada kemiringan 45-65% yakni seluas 27.360,55 Hektar atau sebesar 26,27% dari total luas DAS Bone. Kelas lereng tersebut terdapat pada hampir seluruh subDAS di wilayah DAS Bone kecuali di subDAS Dulamayo dan subDAS Wolu Tengah.

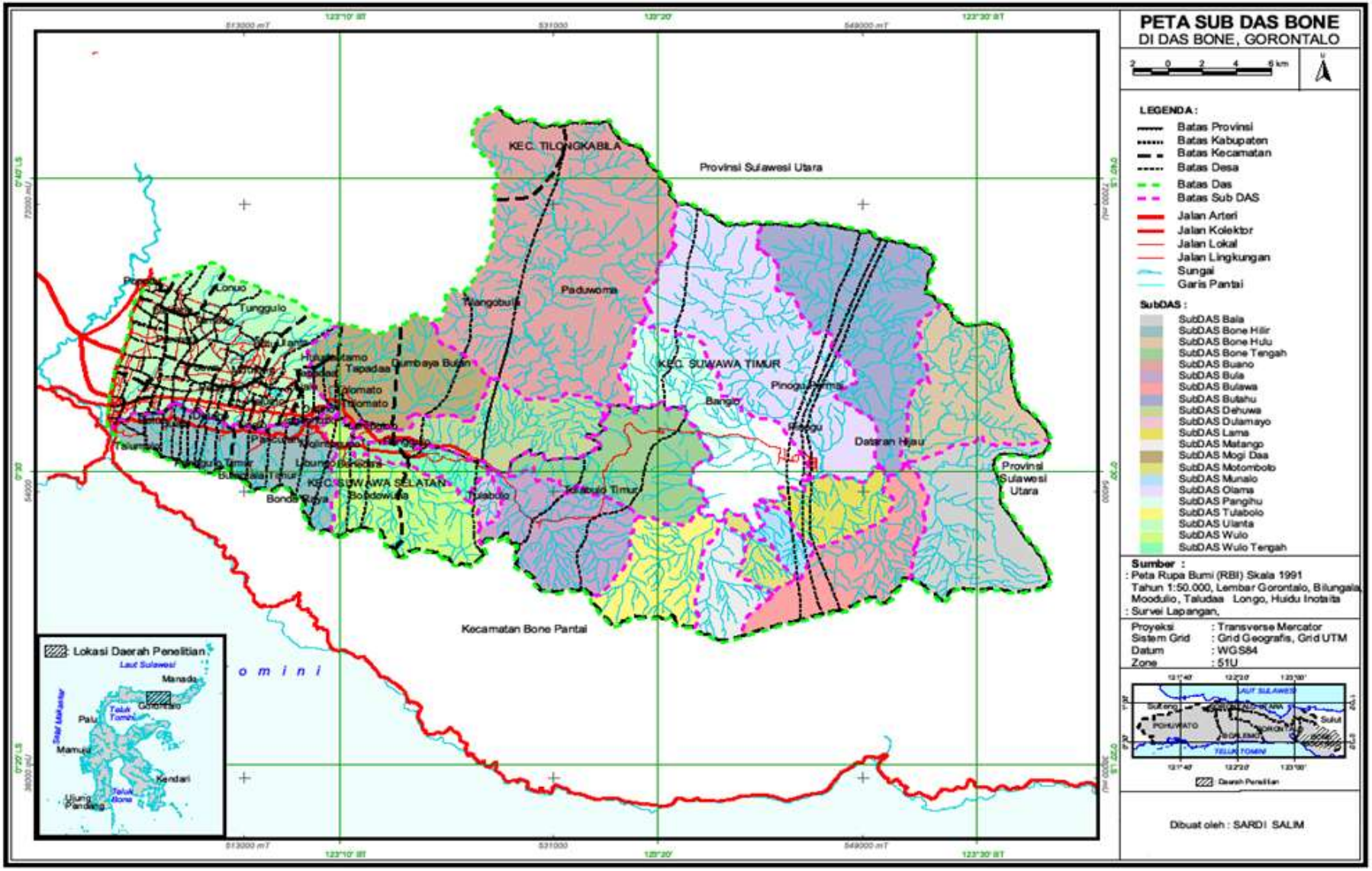
Klasifikasi selanjutnya adalah agak curam atau lereng dengan kemiringan 30–45% seluas 25.206,31 Hektar atau 24,20% dari luas DAS Bone. Klasifikasi tersebut berada dihampir seluruh wilayah subDAS di DAS Bone kecuali di subDAS Matango dan subDAS Motomboto. Klasifikasi berikutnya dalah miring atau lereng dengan kemiringan 15-30% seluas 19.730,74 atau 12,57% dari luas DAS Bone. Klasifikasi miring tersebut berada berada di hampir seluruh wilayah DAS Bone, kecuali di subDAS Bulawa.

Klasifikasi berikutnya adalah landai/berombak atau lereng dengan kemiringan 3,1–8% seluas 7.006,75 Hektar atau 6,73% dari luas DAS Bone..

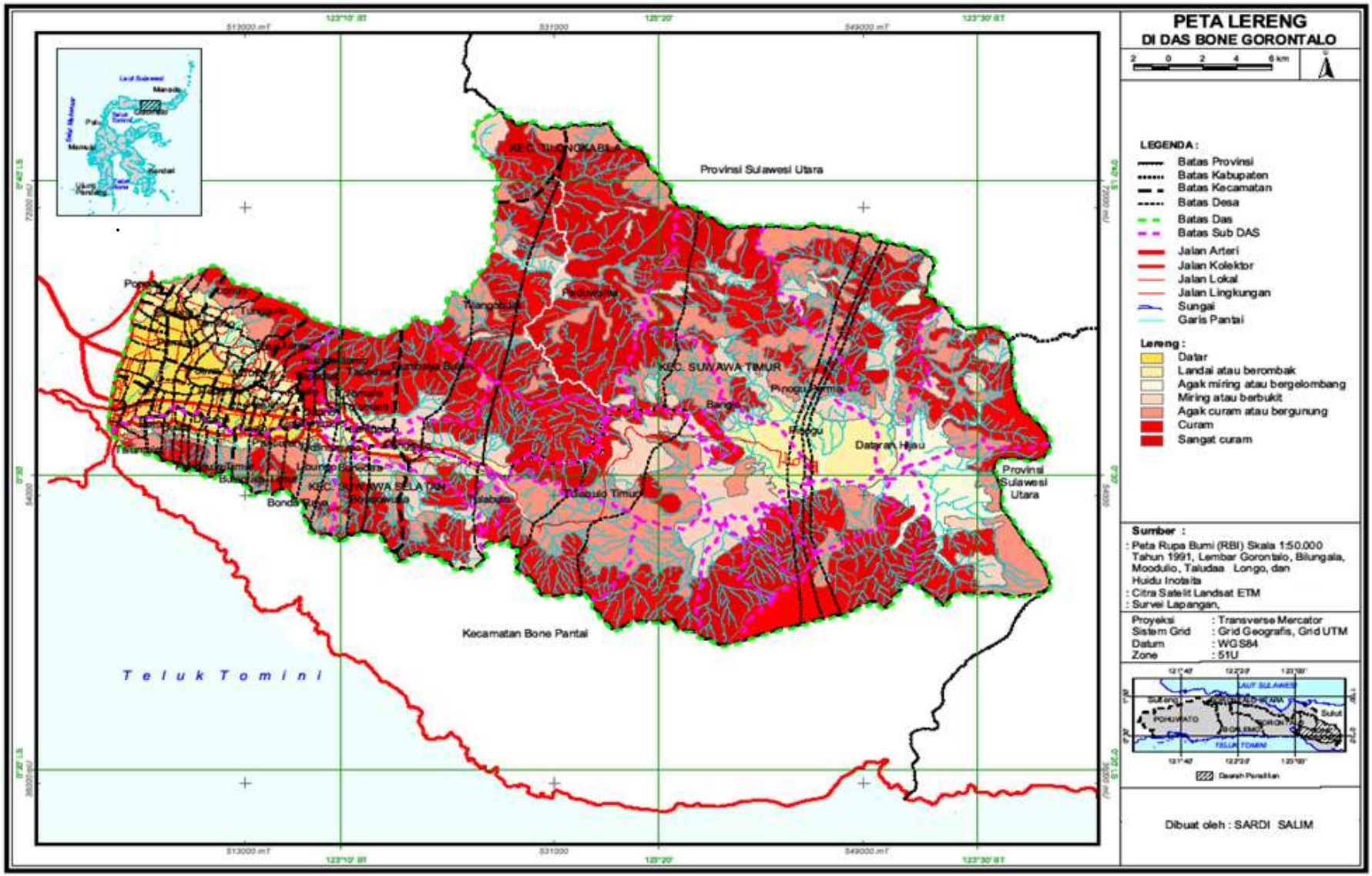
Klasifikasi tersebut berada di hampir seluruh wilayah DAS Bone yakni di subDAS Bone Hilir, subDAS Bone Tengah, subDAS Bula, subDAS Butahu, subDAS Dehuwa, subDAS Dulamayo, subDAS Lama, subDAS MogiDaa, subDAS Olama, subDAS Pangihu, subDAs Ulanta, subDAS Wulo, dan subDAS Wulo Tengah.

Selanjutnya klasifikasi datar atau lereng dengan kemiringan 0–3 % seluas 5.571,96 Hektar atau 5,35 % dari total luas DAS Bone. Klasifikasi tersebut hanya berada di subDAS Bone Hilir dan subDAS Ulanta dalam wilayah DAS Bone. Selanjutnya klasifikasi agak miring atau lereng dengan kemiringan 8–15% seluas 4.778,48 Hektar atau 4,59%. Klasifikasi tersebut berada di subDAS Bala, subDAS Bone Hilir, subDAS Bone Hulu, subDAS Bulawa, subDAS Butahu, subDAS Lama, subDAS MogiDaa, dan subDAS Wulo.

Peta DAS Bone dan Peta Lereng DAS Bone disajikan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4.1. Peta DAS Bone Provinsi Gorontalo



Gambar 4.2. Peta Lereng DAS Bone Provinsi Gorontalo

4.1.2. Kondisi Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi, skala 1:250.000, (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1997) formasi geologi DAS Bone dikelompokkan menjadi 6 (enam) formasi, yaitu: aluvium endapan pantai (Qal), aluvium endapan danau (Qvl), Molasa Selebes (Qts), Batuan Gunung Api Pinogu (TQpv), Diorit Bone (Tmb), Batuan Gunung Api Bilungala (Tmbv), dan Endapan Danau (Qpl)

Formasi batuan di DAS Bone penyebarannya adalah sebagai berikut:

1. Aluvium Endapan Pantai (Qal) merupakan endapan sungai dan marin, yang menempati lahan dengan ketinggian <50 m dpal. Bahan aluvium berupa endapan pasir, lempung, lumpur, kerikil dan kerakal. Bahan ini membentuk *landform* aluvial (jalur aliran Sungai Bone).
2. Endapan Danau (Qpl), merupakan bahan hasil pengendapan Danau Limboto yang tersusun oleh batulempung kelabu, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit. Batupasir berbutir halus sampai kasar serta kerikil dijumpai di beberapa tempat. Bahan ini membentuk *landform* dataran aluvial koluvial. Jenis vegetasi dan penggunaan lahan berupa sawah irigasi dan sebagian tegalan. Satuan formasi ini terdapat di sekitar ibukota Kecamatan Tapa dan Kabila.
3. Molasa Selebes (Qts), merupakan endapan pasca orogen yang terbentuk di cekungan-cekungan kecil, terdiri atas konglomerat, breksi, serta batupasir. Konglomerat dan breksi tersusun oleh aneka bahan berupa kepingan andesit, basalt, granit, granodiorit, batugamping, batupasir maupun kuarsa. Di lapangan ditemukan bahan andesitik yang bertekstur kasar. Bahan ini membentuk *landform* dataran volkan tua dengan relief berombak sampai bergelombang.
4. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), merupakan bahan hasil letusan gunungapi berupa tuf, tuf lapili, breksi dan lava. Breksi gunungapi di

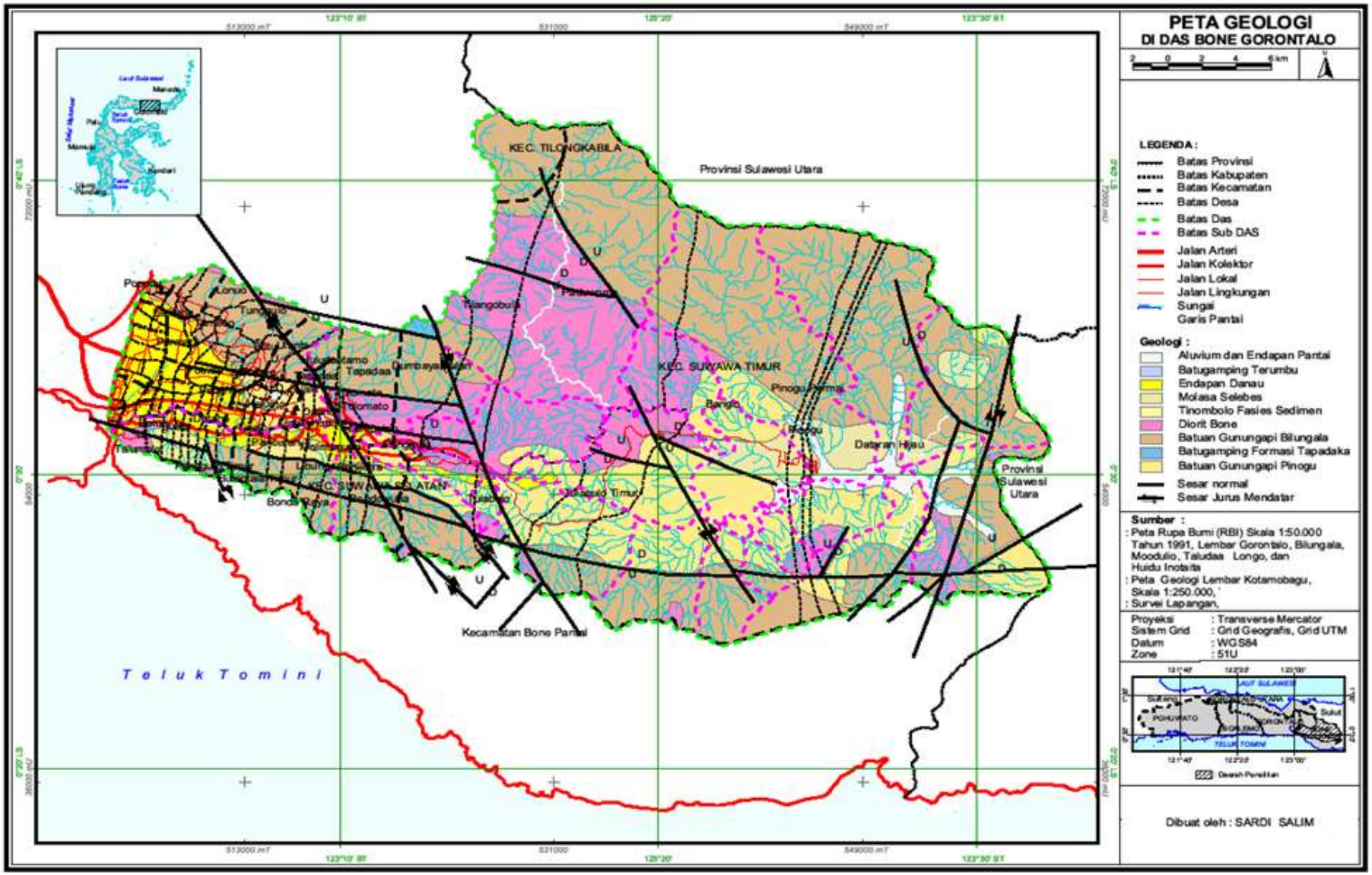
Pegunungan Bone, Gunung Mongadalia dan Gunung Pusian bersusun andesit piroksin dan dasit. Tuf dan tuf lapili di sekitar Sungai Bone bersusunan dasitan. Lava berwarna kelabu muda hingga kelabu tua, pejal, umumnya bersusunan andesit piroksin. Bahan ini membentuk landform perbukitan dan pegunungan volkan tua. Satuan ini terdapat di sebelah kiri dan kanan Sungai Bone memanjang ke arah timur Kabupaten Bone Bolango.

5. Diorit Bone (Tmb), merupakan batuan terobosan yang menerobos Batuan Gunungapi Bilungala maupun Formasi Tinombo. Formasi ini tersusun dari diorit kuarsa, diorit, granodiorit, dan granit. Diorit kuarsa banyak dijumpai di daerah Sungai Taludaa, dengan keragaman diorit, granodiorit dan granit. Sedangkan granit banyak dijumpai di daerah Sungai Bone. Batuan granit yang dijumpai di Kabupaten Bone Bolango memiliki sisipan batukapur yang mengisi bagian retakan-retakannya. Diduga proses ini terjadi pada lingkungan marin, sehingga membentuk tanah yang memiliki reaksi tanah agak masam sampai netral. Satuan ini terdapat di bagian utara Kabupaten Bone Bolango memanjang ke arah timur.
6. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), merupakan batuan hasil Gunungapi Bilungala. Batuan ini terdiri dari breksi, tuf dan lava bersusunan andesit, dasit dan riolit. Ziolit dan kalsit banyak dijumpai pada kepingan batuan penyusun breksi. Satuan ini terdapat di bagian utara daerah penelitian memanjang ke arah timur dan sebagian kecil terdapat di bagian tengah areal penelitian. Berdasarkan pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa bahan pembentuk tanah daerah penelitian berasal dari endapan pasir, lempung dan lumpur, tuf andesitik, batuan andesitik dan basalt, granit, dan batugamping. Bahan endapan pasir, lempung, dan lumpur umumnya mempunyai tekstur halus dan sedang, dan umumnya digunakan untuk persawahan dan sebagian tegalan, tanah berwarna kekelabuan (reduksi). Batuan andesitik dan basalt

membentuk tanah dengan tekstur halus sampai sedang, tanahnya berwarna kuning kecoklatan. Tuf andesitik umumnya membentuk tanah bertekstur sedang sampai kasar. Batuan granit umumnya membentuk tanah bertekstur halus sampai kasar. Sedangkan batugamping membentuk tanah bertekstur halus dan sedang, pH tanah agak masam sampai netral.

7. Endapan Danau (Qpl), merupakan bahan hasil pengendapan Danau Limboto yang tersusun oleh batulempung kelabu, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit. Batupasir berbutir halus sampai kasar serta kerikil dijumpai di beberapa tempat. Bahan ini membentuk *landform* dataran aluvial koluvial. Jenis vegetasi dan penggunaan lahan berupa sawah irigasi dan sebagian tegalan. Satuan formasi ini terdapat di sekitar ibukota Kecamatan Tapa dan Kabila.

   Peta Geologi DAS Bone disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Peta geologi DAS Bone Gorontalo

4.1.3. Kondisi Geomorfologi

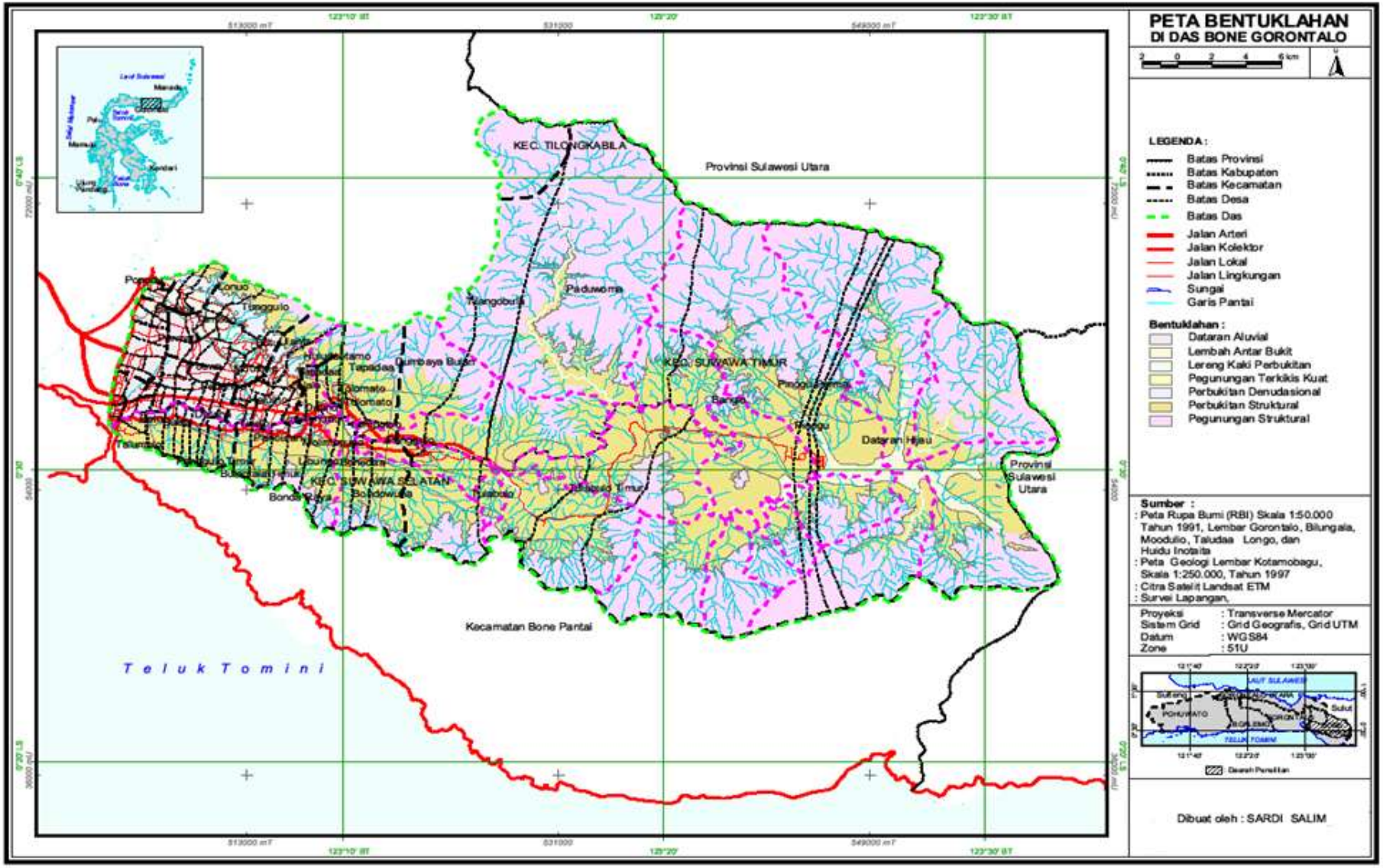
Geomorfologi DAS Bone menggambarkan bentuklahan (*landform)* pada DAS tersebut. Geomorfologi di DAS Bone didominasi oleh pegunungan struktural yakni sebesar 51,40 % dari luas DAS Bone. Selanjutnya adalah perbukitan struktural sebesar 37,63 %, dataran aluvial 5,05 %, lereng kaki perbukitan 2,53 %, lembah antar bukit 2,15 %, perbukitan denudasional 1,24 %, dan perbukitan terkikis kuat 0,01 %. Bentuk lahan DAS Bone disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data bentuk lahan DAS Bone

No	Kode	Bentuk Lahan	Luas (Ha)	Uraian
1	F1	Dataran Aluvial	5.286,58	SubDAS Dumaya, Lombongo dan Tamalate
2	F2	Lembah Antar Bukit	2.255,30	SubDAS Bula, Nagata dan Pinogu
3	S1	Perbukitan Struktural	39.409,83	SubDAS Bula, Dumaya, Lombongo, Nagata, Pinogu, Tamalate, dan Tulabolo
4	S2	Pegunungan Struktural	53.837,13	SubDAS Bula, Dumaya, Lombongo, Nagata, Pinogu, Tamalate dan Tulabolo
5	D1	Lereng Kaki Perbukitan	2.654,26	SubDAS Dumaya, Lombongo, dan Tamalate
6	D2	Perbukitan Denudasional	1.294,73	SubDAS Lombongo dan Tamalate
7	D3	Pegunungan Terkikis Kuat	4,41	SubDAS Lombongo dan Tulabolo
Total Luas			104.742,24	

Sumber: Hasil interpretasi Peta Bentuk Lahan DAS Bone

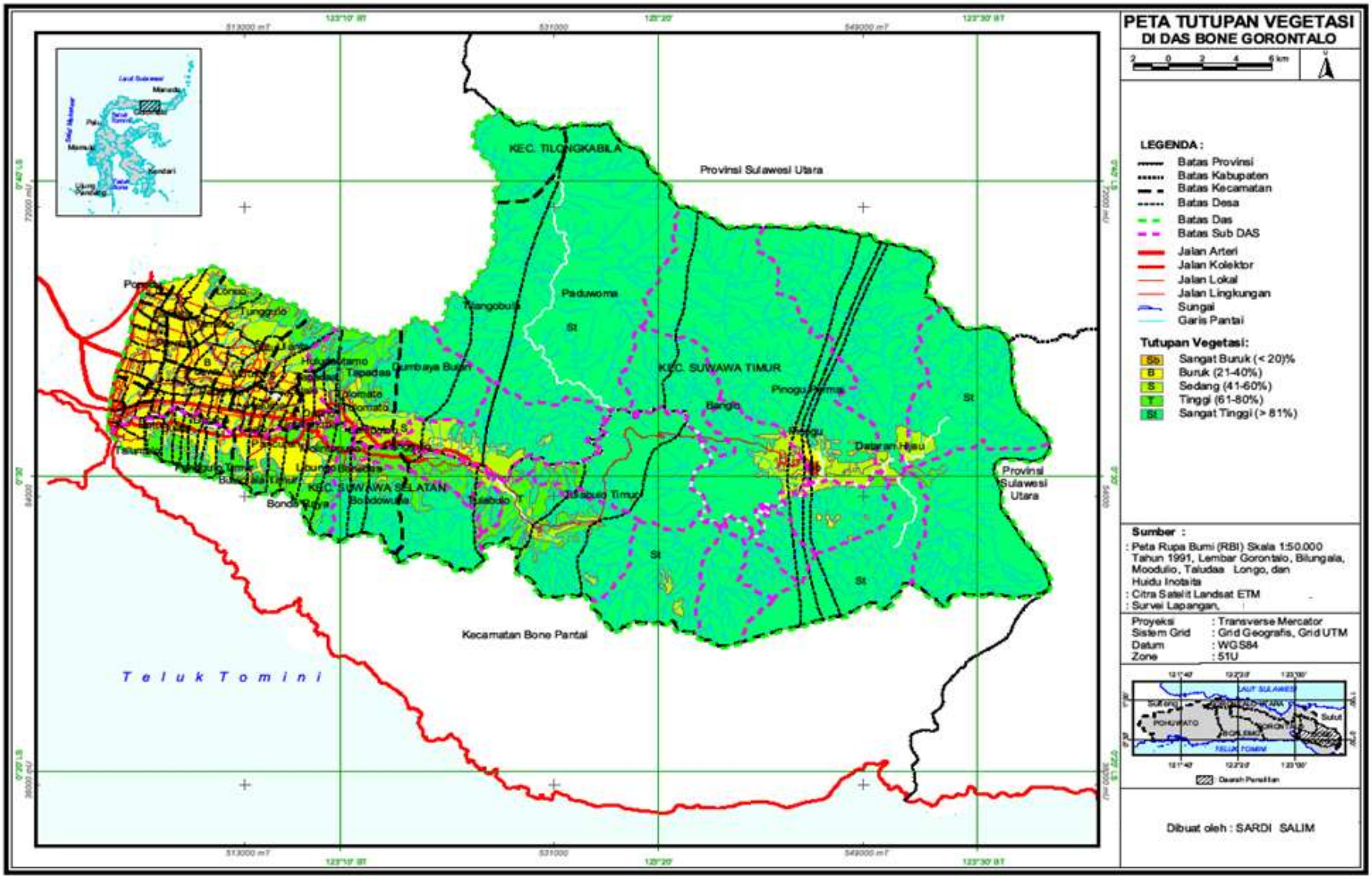
Peta Bentuk Lahan DAS Bone disajikan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4, Peta Bentuk Lahan DAS Bone

4.2. Kondisi tutupan vegetasi

Kondisi tutupan vegetasi di DAS Bone didominasi oleh vegetasi kerapatan tinggi seluas 85.404,61 Hektar atau sebesar 81,97 % dari luas DAS Bone. Vegetasi kerapatan tinggi terdapat di seluruh subDAS di wilyaha DAS Bone. Selanjutnya vegetasi kerapatan sedang luas 8.373,87 Hektar atau 8,04 % dari luas DAS Bone. Vegetasi kerapatan rendah luas 8.586,19 Hektar atau 8,25 %. Terdapat di subDAS Bone Hilir, subDAS Dehuwa, subDAS Dulamayo, subDAS MogiDaa, subDAS Olama, subDAS Pangihu, subDAS Ulanta, subDAS Wulo dan subDAS Wulo Tengah. Vegetasi kerapatan sedang terdapat di hampir seluruh wilayah DAS Bone, kecuali di subDAS Bala, subDAS Buano, subDAS Bulawa, subDAS Matango, subDAS Motomboto, dan subDAS Munalo. Peta tutupan vegetasi disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5, Peta tutupan vegetasi DAS Bone Gorontalo

4.3. Kondisi penggunaan lahan

Penggunaan lahan di suatu daerah dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut erat hubungannya dengan kondisi geografis daerah setempat, seperti: iklim, topografi, kondisi geomorfologi, kondisi hidrologi, kondisi sosial ekonomi dan kebudayaan. Dengan demikian penggunaan lahan bervariasi dari satu tempat ke tempat lain.

Penggunaan lahan diartikan sebagai setiap bentuk campur tangan manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya, baik material maupun spiritual (Arsyad, 1989). Kondisi penggunaan lahan mempengaruhi karakteristik aliran permukaan (*surface runoff*) yang terjadi akibat suatu hujan yang jatuh di atasnya.

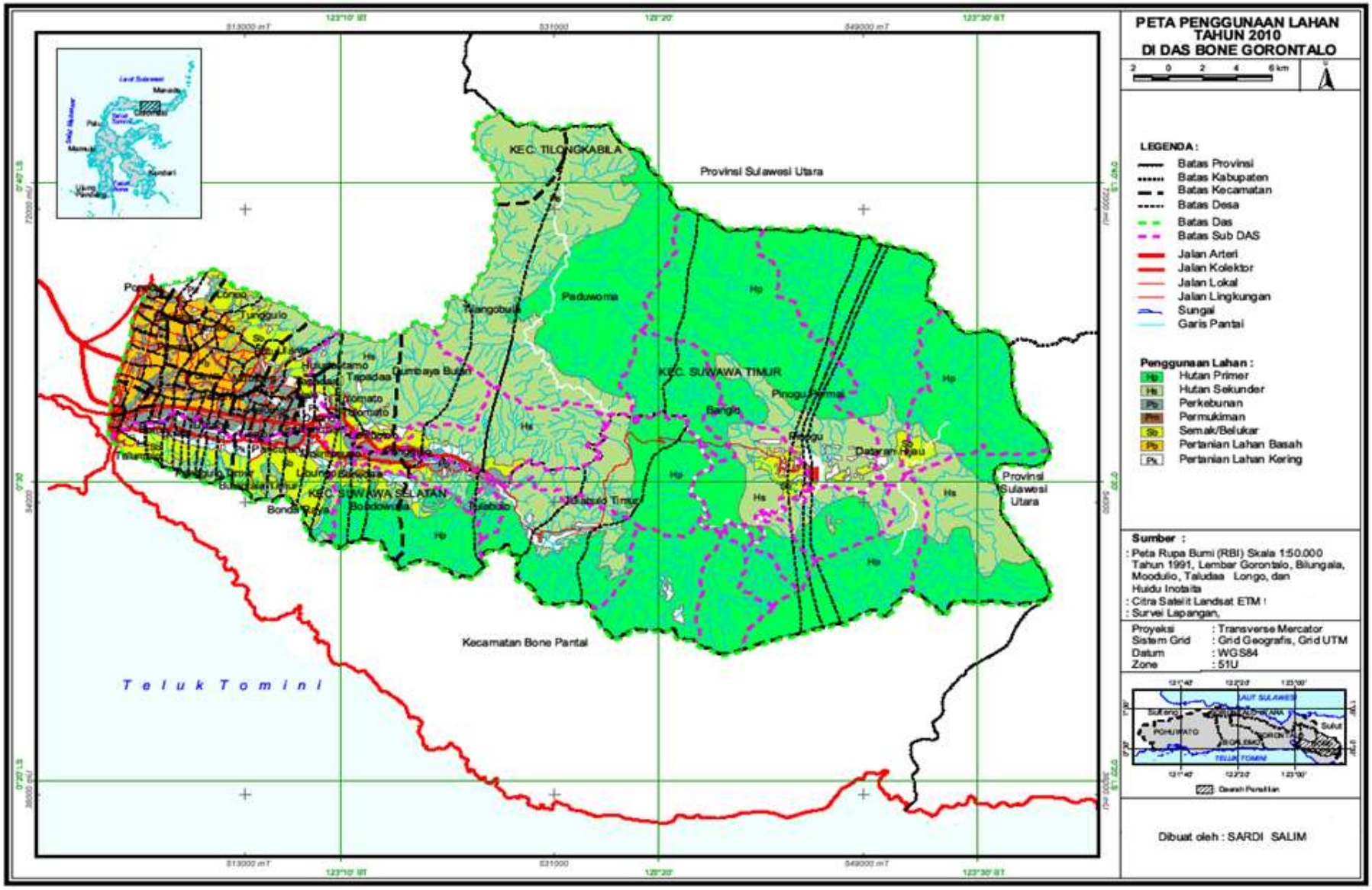
Penggunaan lahan di DAS Bone terdiri atas penggunaan lahan hutan primer dan hutan sekunder, penggunaan lahan pemukiman, penggunaan lahan perkebunan, dan penggunaan lahan pertanian lahan kering. Penggunaan lahan di DAS Bone didominasi oleh hutan primer dengan luas 53.236,83 Hektar atau sebesar 51,37 % dari total luas DAS Bone (104.194,54 Hektar). Hutan primer dan hutan sekunder berada pada hampir seluruh wilayah DAS Bone, kecuali di subDAS Ulanta dan subDAS MogiDaa yang sebagian besar wilayahnya adalah pemukiman penduduk.

Penggunaan lahan selanjutnya adalah untuk pertanian lahan kering dengan luas 3.689,76 atau 3,56% dari luas DAS Bone. Pertanian lahan kering terdapat dihampir seluruh wilayah DAS kecuali di subDAS Bala, subDAS Bone Hulu, subDAS Buano, subDAS Bulawa, subDAS Dulamayo, subDAS Lama, subDAS Matango, subDAS Motomboto dan subDAS Munalo.

Berikutnya adalah penggunaan lahan untuk perkebunan dengan luas 3.320,17 Hektar atau 3,20% dari total luas DAS Bone. Perkebunan terdapat dihampir seluruh wilayah DAS Bone kecuali di subDAS Bala, subDAS BoneHulu, subDAS Duano, subDAS Bulawa, subDAS Butahu, subDAS Lama, subDAS Matango, subDAS Motomboto, subDAS Munalodan subDAS Tulabolo.

Selanjutnya adalah penggunaan lahan untuk pemukiman dengan luas 1.105,47 atau 1,07% dari luas DAS Bone. Pemukiman terdapat di subDAS

BoneHilir, subDAS Bula, subDAS Dehuwa, subDAS MogiDaa, subDAs Olama, subDAS Pangihu, subDAS Ulanta, dan subDAS Wulo Tengah. Peta penggunaan lahan di DAS Bone disajikan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6, Peta penggunaan lahan DAS Bone Gorontalo

4.4. Kondisi tanah

Jenis tanah di DAS Bone terdiri dari jenis tanah alfisol, entisol, inseptisol dan mollisol. Jenis tanah yang mendominasi di DAS Bone adalah jenis tanah inseptisol, dengan luas 87.429,35 Hektar atau 83,91 % dari luas DAS Bone. Selanjutnya jenis tanah alfisol luas 8.715,35 Hektar atau 8,26 %, jenis tanah mollisol luas 6.056,24 Hektar atau 5,81 %, dan jenis tanah entisol luas 1.994,04 Hektar atau 1,91 % dari luas DAS Bone. Tabel jenis tanah di DAS Bone disajikan pada lampiran 15. Deskripsi dari masing-masing jenis tanah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Alfisol

   Tanah Alfisol memiliki tekstur tanah yang liat. Liat tertimbun di horizon bawah. Ini berasal dari horizon di atasnya dan tercuci ke bawah bersama dengan gerakan air. Dalam banyak pola Alfisol digambarkan adanya perubahan tekstur yang sangat pendek di kenal dalam taksonomi tanah sebagai Ablup Tekstural Change atau perubahan tekstur yang sangat ekstrim (Foth, 1998).

   Alfisol adalah tanah-tanah yang kejenuhan basanya kurang 35 % tetapi pada horizon Argilik dipadatan lidah-lidah horizon albik dan kejenuhan basa bertambah makin kehorizon bawah. (Hakim, 1986). Partikel tanah liat pada lapisan Alfisol digerakkan oleh air yang meresap darihorizon A dan disimpan pada horizon B. Hasilnya adalah polipodeon dengan horizon-horizon yang mempunyai tekstur yang berbeda. Macam pita yang terbentuk berhubungan dengan kandungan liat dan digunakan untuk menggolongkan tanah sebagai lempung, lempung liat atau tanah liat (Poerwowidodo, 1991).

2. Entisol

   Entisol merupakan tanah yang baru berkembang. Walaupun demikian tanah ini tidak hanya berupa bahan asal atau bahan induk tanah saja tetapi harus sudah terjadi proses pembentukan tanah yang menghasilkan epipedon okhrik. Di Indonesia tanah Entisol banyak diusahakan untuk areal persawahan baik sawah teknis maupun tadah hujan pada daerah dataran rendah. Tanah ini mempunyai konsistensi lepas-lepas, tingkat agregasi

rendah, peka terhadap erosi dan kandungan hara tersediakan rendah. Potensi tanah yang berasal dari abu vulkan ini kaya akan hara tetapi belum tersedia, pelapukan akan dipercepat bila terdapat cukup aktivitas bahan organik sebagai penyedia asam-asam organik (Tan, 1986).

Entisol mempunyai kejenuhan basa yang bervariasi, pH dari asam, netral sampai alkalin, KTK juga bervariasi baik untuk horison A maupun C, mempunyai nisbah C/N < 20% di mana tanah yang mempunyai tekstur kasar berkadar bahan organik dan nitrogen lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang bertekstur lebih halus. Hal ini disebabkan oleh kadar air yang lebih rendah dan kemungkinan oksidasi yang lebih baik dalam tanah yang bertekstur kasar juga penambahan alamiah dari sisa bahan organik kurang daripada tanah yang lebih halus.

3. Inseptisol

Inceptisol adalah tanah muda dan mulai berkembang. Profilnya mempunyai horizon yang dianggap pembentukannya agak lamban sebagai hasil alterasi bahan induk. Horizon-horizonnya tidak memperlihatkan hasil hancuran ekstrem. Horizon timbunan liat dan besi aluminium oksida yang jelas tidak ada pada golongan ini

Inceptisol mempunyai karakteristik dari kombinasi sifat-sifat tersedianya air untuk tanaman lebih dari setengah tahun atau lebih dari tiga bulan berturut-turut dalam musim kemarau, satu atau lebih horizon pedogenik dengan sedikit akumulasi bahan selain karbonat atau silika amorf, tekstur lebih halus dari pasir berlempung

Tanah Inceptisol memiliki tekstur kasar dengan kadar pasir 60 %, hanya mempunyai horizon yang banyak mengandung sultat masam (catday) pH < 3,5 ,terdapat karatan. Tanah Inceptisol umumnya memiliki horizon kambik. Horizon kambik merupakan indikasi lemah atau spodik. (Hardjowigeno, 1992)

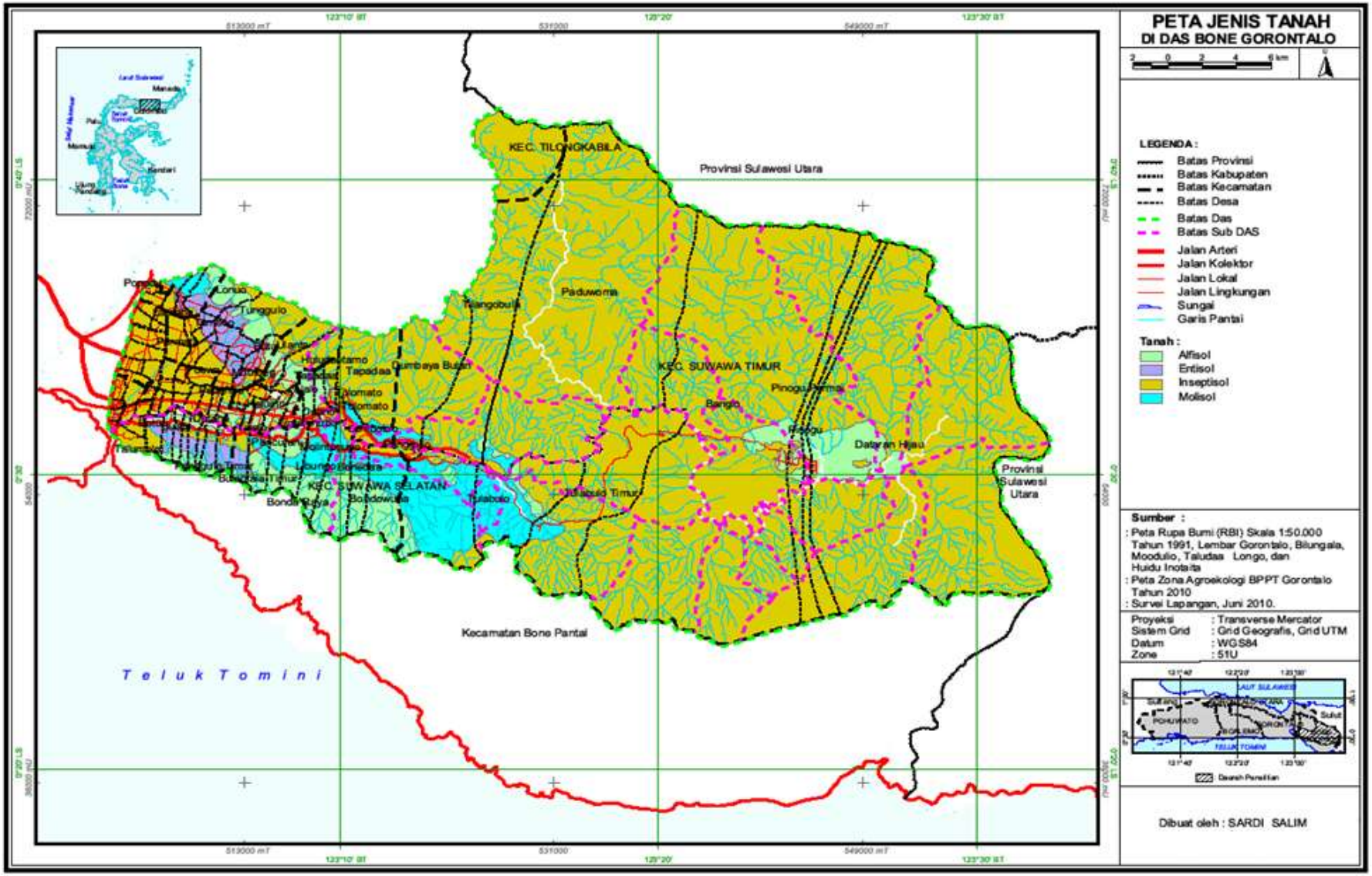
4. Mollisol

Mollisol merupakan tanah dengan tebal epipedon lebih dari 18 cm yang berwarna hitam (gelap), kandungan bahan organik lebih dari 1%, kejenuhan

basa lebih dari 50%. Agregasi tanah baik, sehingga tanah tidak keras bila kering. Kata Mollisol berasal dari kata mollis yang berarti lunak. Padanan dengan sistem klasifikasi lama adalah termasuk tanah chernozem, brunizeem, atau tanah Rendzina.

Di Indonesia Mollisol ditemukan umumnya di daerah berbukit kapur (sub ordo Rendoll), sehingga karena tanah bersolum dangkal penggunaannya cukup terbatas. Tanah ini terbentuk di daerah semi arid dan sub humid dan sangat kaya dengan bahan organik. Karena sifat tanah organik, jika terlalu kering tidak dapat lagi menyerap air sehingga jika ada hujan bahan organik ini akan terbawa oleh air aliran permukaan sehingga terjadilah erosi permukaan.

Peta tanah di wilayah DAS Bone Gorontalo disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7, Peta tanah di DAS Bone Gorontalo

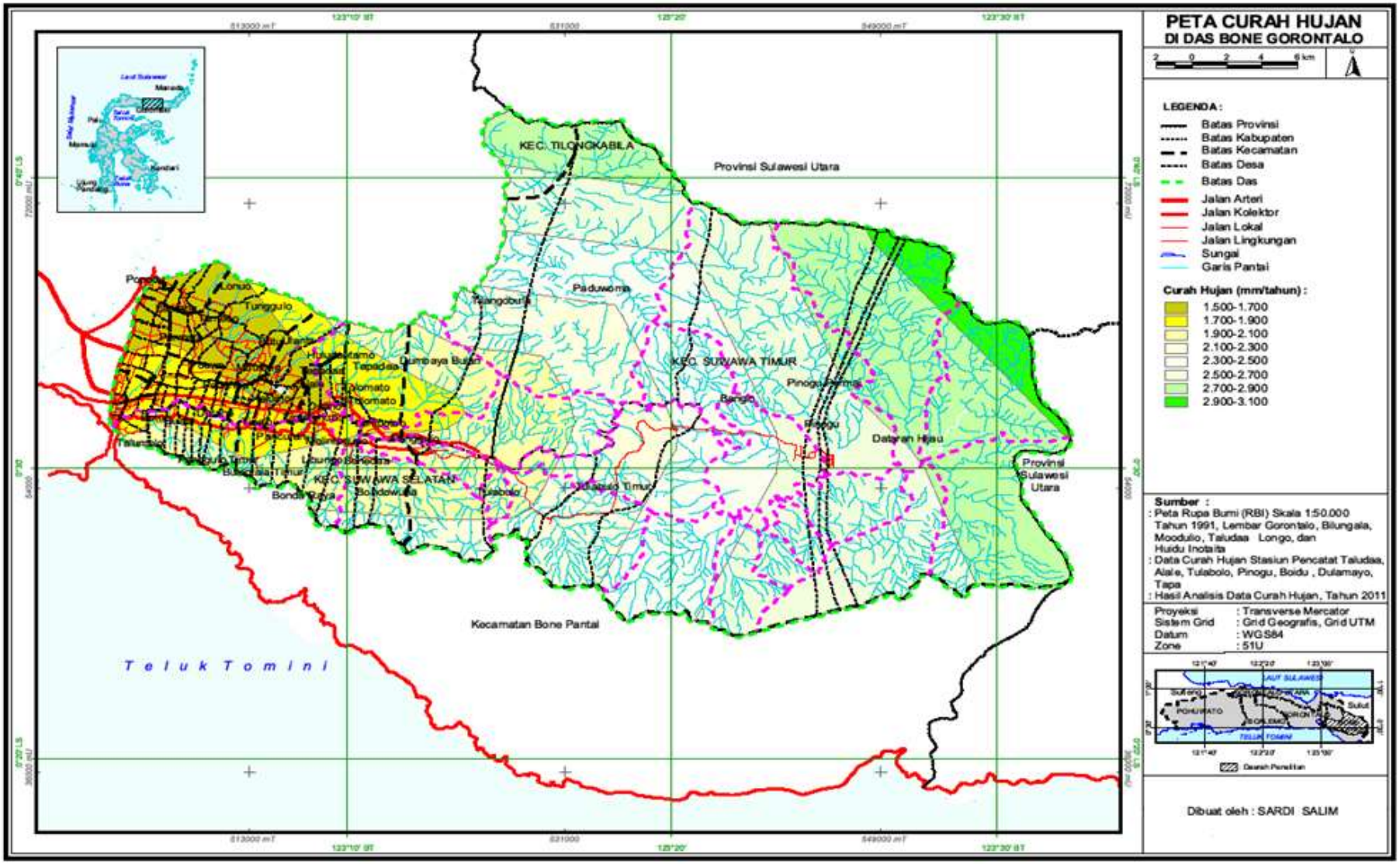
4.5. Kondisi Hidrologi

4.5.1 Kondisi Hujan

Kondisi hujan di wilayah DAS Bone berdasarkan data hujan wilayah DAS Bone Tahun 2014, memiliki hujan harian rata-rata dengan intensitas sebesar 50 mm/jam. Nilai intensitas hujan tersebut termasuk dalam kondisi hujan yang normal. Di wilayah DAS Bone terdapat 3 (tiga) setasiun pengukur hujan yang terpasang di sepanjang alur Sungai Bone. Ketiga setasiun tersebut terpasang di Desa Tulabolo Kecamatan Suwawa Timur (ARR), Desa Alale Kecamatan Suwawa Tengah (ARR), dan Desa Pinogu Kecamatan Bone Raya (Manual). Setasiun pengukur hujan tersebut merupakan milik Balai Wilayah Sungai Sulawesi II Dinas PU Provinsi Gorontalo. Data hujan ketiga setasiun tersebut disajikan pada Lampiran 6.

Berdasarkan data hujan Tahun 2014, terdapat perbedaan nilai curah hujan antara setasiun satu dengan lainnya, terutama pada awal kejadian hujan. Hal tersebut menandakan bahwa di wilayah DAS Bone memiliki tipe hujan orografis yang berubah-ubah sebagai akibat sering berubahnya arah angin dan tekanan udara di wilayah tersebut. Hujan orografis terjadi akibat udara lembab yang tertiup angin melintasi daerah pegunungan bergerak naik ke atas membentuk awan dan mengalami pendinginan/kondensasi dan berubah menjadi butiran hujan. Di daerah pegunungan dengan kerapatan vegetasi tinggi memiliki udara lembab oleh karenanya lebih banyak terjadi hujan ketimbang daerah datar dengan vegetasi kurang.

Di DAS Bone Gorontalo di bagian hulu DAS banyak terdapat gunung dengan kerapatan vegetasi yang cukup tinggi. Hal tersebut karena hutan di bagian hulu DAS merupakan hutan lindung (Taman Bogani Nani Wartabone) yang terjaga keaslian hutannya. Di Bagian hulu DAS lebih banyak curah hujan dari pada di bagian hilir DAS. Hal tersebut tergambar pada analisis curah hujan di DAS Bone yang disajikan melalui peta curah hujan pada Gambar 4.8. Curah hujan di bagian hulu DAS berkisar antara 2.900 – 3.100 mm/Tahun. Di bagian hilir curah hujan berkisar antara 1.500 – 1.700 mm/Tahun.



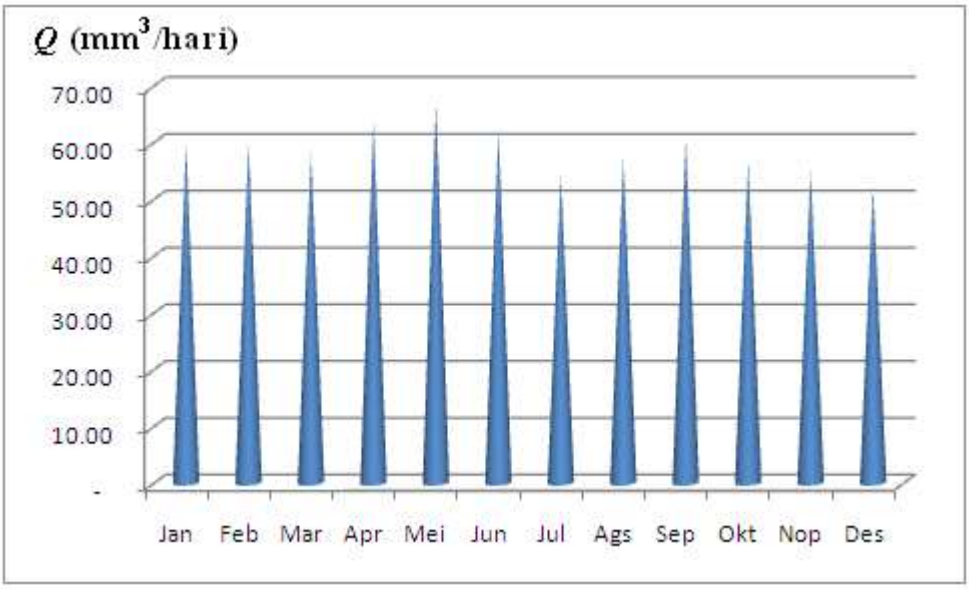
Gambar 4.8, Peta Hujan di DAS Bone Gorontalo, Tahun 2014.

4.5.2 Kondisi Aliran Sungai

Sungai Bone sebagai sungai utama di DAS Bone dengan panjang sungai 90,2 KM, memiliki kurang lebih 25 anak sungai yang mengalir ke dalamnya. Sungai Bone merupakan sungai terbesar di Provinsi Gorontalo dengan volume dan debit air yang cukup tinggi dengan debit rata-rata berkisar antara 21,29 – 67,11 mm^3/hari. Data debit Sungai Bone disajikan pada Lampiran 8.

Di wilayah Sungai Bone telah terpasang dua setasiun otomatis pengukur tinggi muka air/debit *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) milik Balai Wilayah Sungai Sulawesi II Provinsi Gorontalo. Setasiun AWLR tersebut terpasang di sepanjang Sungai Bone yakni masing-masing di wilayah Desa Alale Kecamatan Suwawa Tengah dan di wilayah Desa Tulabolo Kecamatan Suwawa Timur. Setasiun AWLR Tulabolo pada Tahun 2009–2010 mengalami kerusakan pada sistem telemetri, namun data *logger* masih dapat diproses. Yang berfungsi baik adalah AWLR setasiun Alale.

Debit aliran sungai tertinggi (debit maksimum) berdasarkan data debit Sungai Bone Tahun 2014, terjadi pada Bulan Juni sebesar 78,2 mm^3/hari. Debit terendah terjadi pada Bulan November sebesar 30,54 mm^3/hari. Grafik debit rata-rata harian Sungai Bone disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9, Grafik Debit Rata-rata Harian Sungai Bone, Tahun 2014

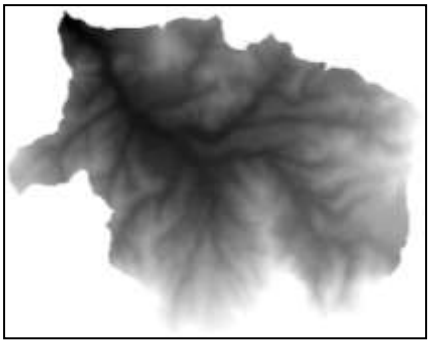
BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Karakteristik dan Morfometri DAS.

Penentuan karakteristik dan morfometri DAS didasarkan pada citra DEM yang telah melalui *masking* berbentuk kotak estimasi di sekitar wilayah subDAS Bula, kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Hec-GeoHMS sebagai ekstensi yang digunakan dalam ArcGIS 10. Proses analisis karakteristik di salah satu subDAS yakni subDAS Bula Bone Bolango dimulai dari DEM yang diproses dari peta kontur RBI untuk lembar Bone Bolango Gorontalo. Selanjutnya dilakukan proses *terrain* yang terdiri dari delapan tahapan, yaitu:

1) *Fill Sink*

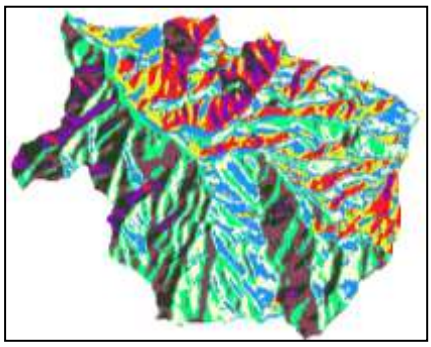
   Apabila elevasi disekitar sel lebih tinggi maka aliran air akan terhalang dan tidak dapat mengalir. Fungsi *fill sink* untuk memodifikasi sel grid DEM yang menghalangi air untuk dapat mengalir ke sel rendah. Hasil *fill sink* ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1, *Fill Sink* hasil proses *software* HecGeo-HMS

2) *Flow Direction*

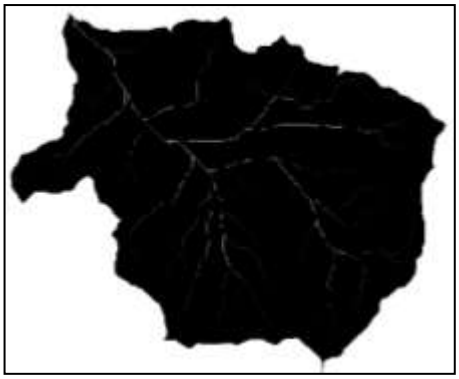
   Untuk menentukan arah aliran air dimulai dari grid posisi kiri atas, air akan mengalir pada grid yang lebih rendah kearah timur dan arah selatan. Demikian halnya pada grid yang lain akan mengalir ke timur dan seterusnya hingga mencapai grid yang terendah. Dalam proses *flow direction* diasumsikan tidak ada fisografi pemisah (*outer wall polygon*). Hasil *flow direction* ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2, *Flow direction* hasil proses *software* HecGeo-HMS

3) *Flow Acumulation*

Proses *flow accumulation* akan menggabungkan satuan-satuan aliran grid menjadi satu grup grid tersendiri untuk setiap aliran. Hasil ditunjukkan pada Gambar 5.3.



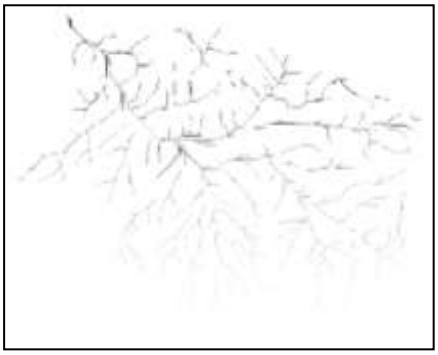
Gambar 5.3, *Flow acumulation* hasil proses *software* HecGeo-HMS

Pada hasil gambar dan pesebarannya dapat ditunjukkan bahwa nilai grid aliran air akan disatukan dengan nilai piksel tertentu yang berbeda satu dengan lainnya. Nilai grid sebesar ‘0’ merupakan batas topografi dan semakin besar nilai gridnya maka akan berfungsi sebagai jaringan sungai utama.

4) *Stream Definition*

Proses ini berfungsi untuk menentukan besaran subDAS terkecil yang dapat diamati atau dibentuk. Secara default system akan menentukan luasan subDAS sebesar 1% dari total luasan grid, namun nilai persentase

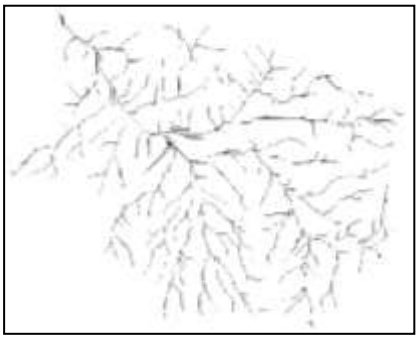
subDAS terkecil dapat diperbesar tergantung dari luasan DAS apabila melebihi nilai 20 juta piksel. Nilai grid untuk aliran air bernilai ‘1’ sedangkan selain aliran air akan bernilai ‘0’. Hasil *stream definition* ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4, *Stream definition* hasil proses *software* HecGeo-HMS

5) *Stream Segmentation*

Pada tahap ini nilai ID grid untuk sungai yang telah unik akan disatukan tiap segmen sungai dan selain dari sungai diberikan nilai grid ‘0’. Segmen sungai akan dibedakan dari nilai grid terkecil hingga terbesar yang menandakan sungai utama. Hasil ditunjukkan pada Gambar 5.5.

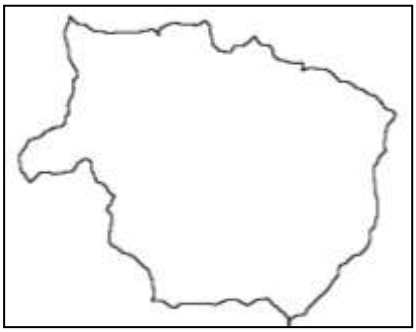


Gambar 5.5 *Stream segmentation* hasil proses *software* HecGeo-HMS

6) *Catchment Delineation*

Deliniasi batas topografi subDAS dilakukan pada tahap ini. masing-masing sungai akan dibedakan dalam setiap subDAS. Setiap grid yang

termasuk dalam subDAS tertentu akan memiliki nilai grid yang sama selama dalam cakupan subDAS. Hasil ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 *Cathmen delination* hasil proses HecGeo-HMS

7) *Catchment Polygon Processing*

Proses ini bertujuan untuk mentransformasi obyek subDAS format data raster (*grid*) ke vector (*polygon*). Setiap subDAS memiliki ID unik sesuai dengan nilai grid. Hasil ditunjukkan pada Gambar 5.7.

Gambar 5.7, *Catchment polygon processing* hasil proses HecGeo-HMS

8) *Drainage Line Processing*

Proses ini bertujuan untuk mentransformasi obyek sungai format data raster (grid) ke vektor (*line*). Setiap sungai dalam suatu subDAS akan memiliki ID sesuai dengan subDAS. Hasil ditunjukkan pada Gambar 5.8.

Gambar 5.8, *Drainage line processing* hasil proses HecGeo-HMS

Hingga tahap ini Hec-GeoHMS telah dapat mendeliniasi keseluruhan batas subDAS yang berasal dari data DEM. Proses selanjutnya adalah mengawali pembuatan projek pada SubDAS Bula untuk analisis morfometri sungai. Projek Hec-GeoHMS ditentukan dari titik AWLR panjangan. Fungsi yang digunakan untuk mengetahui morfometri sungai adalah dengan *extracting basin characteristics*. Parameter morfometri yang dianalisis adalah panjang sungai, kemiringan subDAS, garis aliran panjang, titik berat subDAS, ketinggian titik berat subDAS, dan titik berat aliran.

Bentuk subDAS Bula berdasarkan perhitungan *Circularity ratio* (Rc) diperoleh nilai sebesar 0,7 yang menunjukkan subDAS berbentuk agak membulat dan mengindikasi bahwa genangan air sebagai akibat adanya hujan tidak akan berlangsung lama dan akan cepat menjadi aliran menuju sungai dengan waktu *Time concentration* (Tc). Waktu kejadian puncak hujan dan kejadian puncak debit aliran *(Time Lag* – TL) diperoleh melalui persamaan TL = 0,6 Tc.

Berdasarkan hasil perhitungan morfometri subDAS melalui proses *software* HecGeo-HMS 10, subDAS Bula diperoleh hasil seperti disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1, Nilai parameter SubDAS Bula

No	Parameter Morfometri SubDAS	Nilai
1.	Luas subDAS	44,38 Km^2
2.	Titik berat subDAS (*center of grafity)*	X=533.258,76 Y=51.252,94
3.	Kemiringan subDAS	18,30 %

4.	Panjang sungai Utama	11,54 Km
5.	Kemiringan sungai (S)	0,06
6	Ketinggian segmen sungai	Hulu = 850 (m) outlet = 100 (m)

Sumber: hasil proses *software* HecGeo-HMS

Berdasarkan hasil analisis *software* HecGeo-HMS yang disajikan pada Tabel 5.1, dapat dijelaskan bahwa subDAS Bula termasuk dalam subDAS yang kecil (kurang dari 300 Km^2), Goldman et al. (1986). Tanggapan subDAS yang kecil akan sangat besar pengaruhnya dalam menghasilkan debit aliran di subDAS tersebut. Hujan yang jatuh dalam wilayah subDAS tidak akan menghasilkan genangan yang lama, akan langsung terproses menjadi aliran di atas tanah (*surface flow*) dan masuk ter-infiltrasi ke dalam tanah membentuk aliran di bawah permukaan tanah (*sub surfaceflow*) atau masuk ke bawah lapisan tanah membentuk *base flow* menuju ke sungai. Sungai sebagai penampung aliran akan membentuk debit aliran sungai.

Beda waktu puncak hujan dan puncak hidrograf diperoleh dianalisis berdasarkan persamaan *Time Lag* (TL) = 0,6 Tc. Tc merupakan waktu konsentrasi yang diperlukan oleh air dari tempat terjauh (hulu subDAS) sampai ke titik pengamatan aliran air (*outlet*). Tc dihitung dengan menggunakan persamaan Kirpich : $Tc = 0{,}063\ (L^{0,77}.\ S^{0,385})$

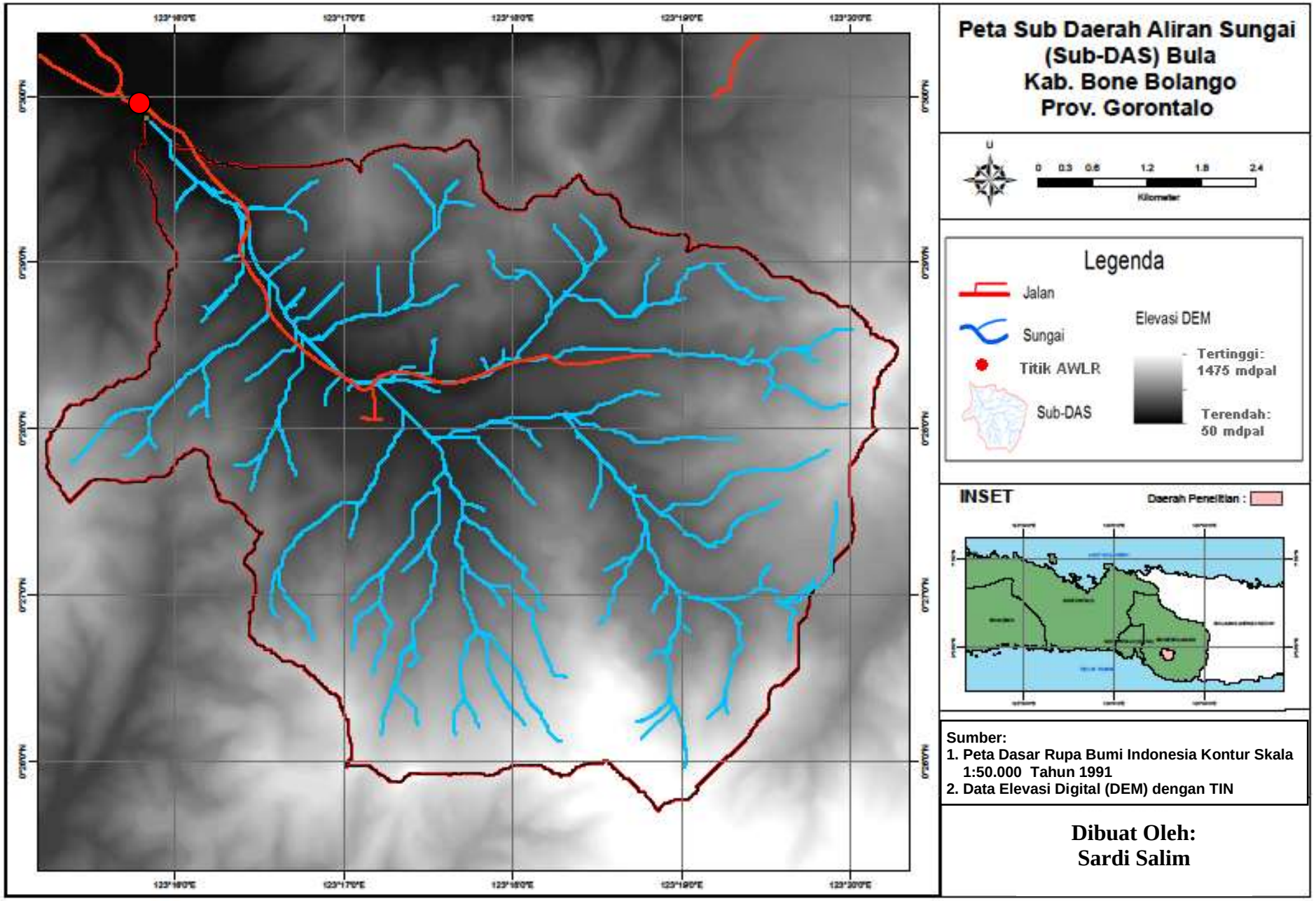
L = Panjang sungai utama subDAS (11,54 Km)

S = Ketinggian segmen sungai (Hulu = 850, outlet = 100)

Dengan memasukkan nilai L dan S diperoleh Tc = 4,67 Jam.

TL = 0,6 . 4.67 = 2,8 Jam atau 168 menit.

Berdasarkan proses ArcGIS 10, diperoleh peta subDAS Bula dengan mendeliniasi titik AWLR sebagai *outlet* subDAS (titik pengamatan debit), seperti disajikan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9, SubDAS Bula dengan titik AWLR sebagai outlet subDAS

5.2. Penggunaan lahan di subDAS Bula

Penggunaanlahan di subDAS Bula dianalisis berdasarkan interpretasi citra landsat 7 ETM+ Tahun 2008 yang di overlay dengan peta RBI penggunaanlahan lembar Taludaa Bone Bolango Tahun 1991. Berdasarkan hasil interpretasi citra penggunaanlahan di wilayah subDAS Bula didominasi oleh vegetasi hutan primer dan hutan sekunder dengan luas 5.154,55 Ha atau 87,86% dari total luas subDAS, Perkebunan di subDAS Bula adalah seluas 50,08 Ha atau 1,10%. Pemukiman luas 17,26 Ha atau 0,38%, dan tubuh air dengan luas 9,81 Ha atau 0,21% dari luas subDAS.

Hutan primer tersebut sebagian besar berada di wilayah Desa Banggo, dan sebagian lagi berada di Desa Bangio serta di Desa Tulabolo tengah. Lahan hutan sekunder paling besar berada di wilayah Desa Momalia dan Desa Boidu Moliuto. Perkebunan hanya terdapat di Desa Tulabolo Tengah dimana wilayah tersebut berada pada wilayah hilir Sungai Bula dan berdekatan dengan Sungai Bone. Permukiman penduduk berada di Desa Lumbiato dan sebagian di Desa Tulabolo Tengah. Pertanian lahan kering berada di Desa Lumbiato dan Desa Kayubulan.

5.3. Tutupan vegetasi

Tutupan vegetasi di daerah penelitian dianalisis berdasarkan interpretasi citra landsat ETM Tahun 2008, yang ditumpangtindih dengan peta topografi tutupan vegetasi lembar Taludaan Bone Bolango. Berdasarkan interpretasi peta tutupan vegetasi di daerah penelitian SubDAS Bula Bone Bolango didominasi oleh vegetasi kerapatan tinggi. dengan luas 4.014,82 Ha atau sebesar 87,85% dari total wilayah subDAS. Secara keseluruhan penutupan lahan/vegetasi di daerah penelitian subDAS Bula disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2, Tutupan lahan/vegetasi di wilayah subDAS Bula.

Penutupan Lahan/Vegetasi	**Luas (Ha)**	**%**
Kerapatan tinggi	4.014,82	87,85 %
kerapatan sedang	528,23	11,56 %
Lahan terbangun	17,25	0,38 %
Tubuh air	9,81	0,21 %

Sumber: Hasil interpretasi peta tutupan vegetasi subDAS Bula,

Plot foto vegetasi di lapangan dilakukan secara sampel pada sebaran wilayah subDAS Bula. Plot vegetasi yang mewakili tutupan vegetasi hutan, vegetasi kebun/pertanian, vegetasi tegalan, vegetasi lapangan, dan plot untuk permukiman disajikan masing-masing pada Gambar 5.11.a,b,c,d.e,f.

Gambar 5.11.a, Foto vegetasi hutan di wilayah subDAS Bula
Koordinat 0°29’43,74 N; 123°16’4,50 E.

Gambar 5.11.b, Foto vegetasi kebun di wilayah subDAS Bula
Koordinat 0°29’44,28 N; 123°15’50,86 E.

Gambar 5.11.c, Foto vegetasi kebun/pertanian di subDAS Bula
Koordinat 0º29’48,64 N; 123º15’52,47 E.

Gambar 5.11.d, Foto vegetasi tegalan di wilayah subDAS Bula
Koordinat 0º29’47,15 N; 123º16’0,45 E.

Gambar 5.11,e, Foto lapangan di subDAS Bula
Koordinat 0º29’51,99 N; 123º15’48,84 E.

Gambar 5.11.f, Foto pemukiman di subDAS Bula
Koordinat 0º29’50,99 N; 123º15’58,32 E.

5.4 Klasifikasi tanah dan penentuan kelas hidrologi tanah

Berdasarkan peta tanah lembar Taludaa Bone Bolango jenis tanah di subDAS Bula terdiri atas 3 jenis tanah yaitu: Alfisol, Inseptisol, dan Mollisol. Berdasarkan klasifikasi USDA berbagai jenis tanah tersebut dikelompokkan dalam tiga jenis tekstur tanah yaitu: geluh berdebu, geluh berpasir dan pasir bergeluh.Untuk memasukkan jenis tanah dalam karakteristik hidrologi tanah (*Hidrologic Soils Group*, HSG) pada subDAS Bula dikelompokkan menjadi empat kelompok tanah yaitu: Kelompok A, Kelompok B, Kelompok C dan Kelompok D.

Kelompok hidrologi tanah A; didefinisikan dengan karakteristik mempunyai potensi menghasilkan *runoff* rendah (*lowest runoff potential*) dan kecepatan infiltrasi tinggi (*high infiltration rates*) dengan tekstur tanah yang kasar (campuran pasir dan kerikil).

Kelompok Hidrologi tanah B; diidentifikasikan dengan karakteristik mempunyai potensi menghasilkan *runoff* cukup rendah *(moderately low runoff potential*) dan kecepatan infiltrasi sedang (*noderate infiltration rates*) dengan tekstur tanah agak kasar.

Kelompok hidrologi tanah C; diidentifikasikan dengan karakteristik mempunyai potensi *runoff* cukup tinggi *(moderately high runoff potential*) dan

kecepatan infiltrasi rendah (*low infiltration rates*), dengan tekstur tanah cukup halus sampai halus.

Kelompok Hidrologi tanah D: terdiri dari tanah dengan potensi limpasan tinggi, mempunyai laju infiltrasi sangat lambat. Terutama tanah liat (*clay*) dengan daya kembang (*swelling*) tinggi, tanah dengan muka air tanah permanen tinggi, tanah dengan lapis lempung didekat permukaan dan tanah yang dilapisi dengan bahan kedap air.

Dengan mengidentifikasi jenis tanah di daerah penelitian yaitu Alfisol, Inseptisol, dan Mollisol maka persebaran masing-masing kelompok hidrologi berdasarkan tekstur tanah disajikan pada Tabel 5.3.

Tebel 5.3, Klasifikasi HSG tanah di subDAS Bula
berdasarkan McCuen (1989)

Jenis Tanah	Tekstur Tanah	Laju Infiltrasi (mm/jam)	HSG
Alfisol	Lempung pasir berliat	1 – 4	C
Inseptisol	Lempung berdebu, lempung	4 - 8	B
Mollisol	Lempung berdebu, lempung	4 - 8	B

Berdasarkan peta penggunaanlahan, peta jenis tanah, dan kelompok hidrologi tanah, serta penyesuaian kondisi pengamatan di lapangan, ditentukan nilai CN berdasarkan tabel SCS – *Curve Number*. Untuk wilayah DAS Bula penentuan peta CN mengacu pada sebaran penggunaan lahan, tutupan vegetasi dan kelas hidrologi tanah, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.4

Tabel 5.4, Klasifikasi CN di wilayah DAS Bone (USDA NRCS, 2005)

PENGGUNAAN LAHAN		Nilai CN tanah			
		Alfisol HSG: C	Inseptisol HSG:B	Entisol HSG:B	Mollisol HSG:B
Pemukiman	Kerapatan 30 %	85	85	85	90
	Kerapatan 60 %	75	75	75	83
	Kerapatan 70 %	70	70	70	80
	Keraparan 80 %	68	68	68	79
Tegalan Lahan Terbuka kerapatan 30%, Lapangan, Taman, tertutup rumput 75%		61	61	61	74
Tegalan lahan kosong kerapatan 10%, berjajar lurus lereng		80	80	80	91
Kebun kerapatan sedang 20 %, tanaman rapat atau padang rumput musiman		75	75	75	83
Kebun kerapatan sedang 50 %, tanaman rapat atau padang rumput musiman		69	69	69	78
Hutan Kerapatan 30 - 70 %		60	60	60	73
Hutan Kerapatan > 70 %		55	55	55	70
Tubuh Air		100	100	100	100

Berdasarkan hasil analisis peta penggunaan lahan, liputan vegetasi lapangan diperoleh jenis penggunaan lahan, luasan, dan nilai kerapatan vegetasi di subDAS Bula. Berdasarkan nilai kelompok hidrologi tanah dapat diperoleh nilai *Curve Number* (CN) di subDAS Bula. Karena subDAS bula memiliki beberapa jenis tanah dan penggunaan lahan, maka nilai CN yang dihitung merupakan CN komposit. Penetapan angka CN dan CN komposit disajikan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5, Perhitungan angka CN di subDAS Bula

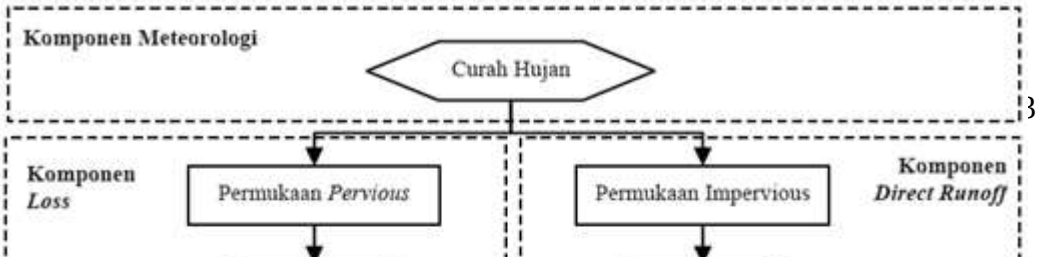
No	Tipe landuse, Perlakuan, Kondisi Tanah	Kondisi	Kerapatan (%)	Luas (KM^2)	Kelompok Tanah	Angka CN	CN Komposit = 5 x 7
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	Pemukiman	70% kedap air	30%	3,68	C	70	257,60
2	Perkebunan	Jelek	50 %	50,08	C	69	3.455,52
3	Pertanian Lahan Kering	Jelek	< 25 %	267,65	C	75	20.073,75
4	Hutan Primer & Sekunder	Sedang	30-70 %	4.212,80	B	60	252.768,00
				4.534,21			276.554,87
Angka **CN** Komposit = 275.554,87/ 4.534,21= **60,77**							

5.5. Analisis Model Hidrograf Limpasan dengan *software* HEC-HMS

Analisis hidrograf debit aliran (*runoff*) dalam HEC-HMS terdiri dari dua macam data, yaitu hidrograf debit aliran observasi dan hidrograf debit aliran simulasi/model. Hidrograf debit aliran observasi diperoleh dari pasangan data hujan-limpasan interval jam-jaman, sedangkan hidrograf debit aliran simulasi/model diperoleh dari model hidrodinamik dalam perangkat lunak HEC-HMS.

Dalam menjalankan software HEC-HMS dimulai dengan menentukan model dan metode yang akan digunakan dalam *processing* program, sehingga penentuan parameter yang digunakan bisa sesuai dengan ketersediaan data. Model dan metode yang digunakan meliputi metode hujan limpasan menggunakan *hyetograph*, volume limpasan SCS-CN, model limpasan langsung dengan *unit hydrograph*, dan perhitungan *baseflow* dengan analisis resesi.

Analisis model sebagai output subDAS dalam proses HEC-HMS dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12, Komponen hujan-limpasan yang direpresentasikan
Model HEC-HMS, (Cunderlik, 1989, dalam Wijaya, 2004)

Analisis data presipitasi (data hujan) dan data parameter fisik subDAS diperlukan sebagai masukan model HEC-HMS. Parameter subDAS yang menjadi input dalam komponen HEC-HMS terdiri dari: *SubBasin, loss, transform,* dan *baseflow*. Komponen *subBasin* digunakan untuk meng-input parameter: luas subDAS, *loss method, transform method,* dan *base flow method.* Dalam proses ini *loss method* menggunakan *SCS Curve Number, transform method* menggunakan *SCS Unit Hidrograph* dan *baseflow method* menggunakan *Recession.*

Nilai parameter yang menjadi input dalam komponen HEC-HMS di peroleh dari proses HecGeo-HMS dan melalui analisis persamaan. Untuk mengetahui berapa besar volume air yang masuk/terinfiltrasi ke dalam tanah yang di duga dari CN ditunjukkan dalam persaman:

$$S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

Dimana:

S = retensi air potensial maksimum atau kapasitas penyimpanan maksimum setelah *run-off* terjadi, atau air yang ter-infiltrasi ke dalam tanah (mm)

CN = *Curve Number*. pada wilayah subDAS Bula.

Dengan memasukkan nilai CN untuk wilayah subDAS Bula diperoleh nilai kapasitas penyimpanan maksimum setelah terjadinya *runoff*, adalah:

$$S = 25,4 \times ((1000 / 60,77) - 10) = 90,22 \text{ mm}$$

Limpasan permukaan akan mengalir melalui saluran atau parit-parit kecil dan akhirnya sampai ke sungai. Pada kenyataanya bahwa sebelum terjadi limpasan permukaan, sebagian hujan menjadi abstraksi awal (*initial abstraction, Ia*). *Initial abtraction* - Ia adalah kehilangan sebelum limpasan terjadi yang meliputi air yang tertahan di permukaan, air yang terintersepsi oleh vegetasi, evaporasi dan infiltrasi (USDA NRCS, 2005). Ia didekati dengan persamaan Ia = 0,2 x S, Ia = 0,2 x 90,22 = 18,04 mm. Nilai parameter yang diinput dalam komponen *subbasin* program HEC-HMS disajikan pada Table 5.6.

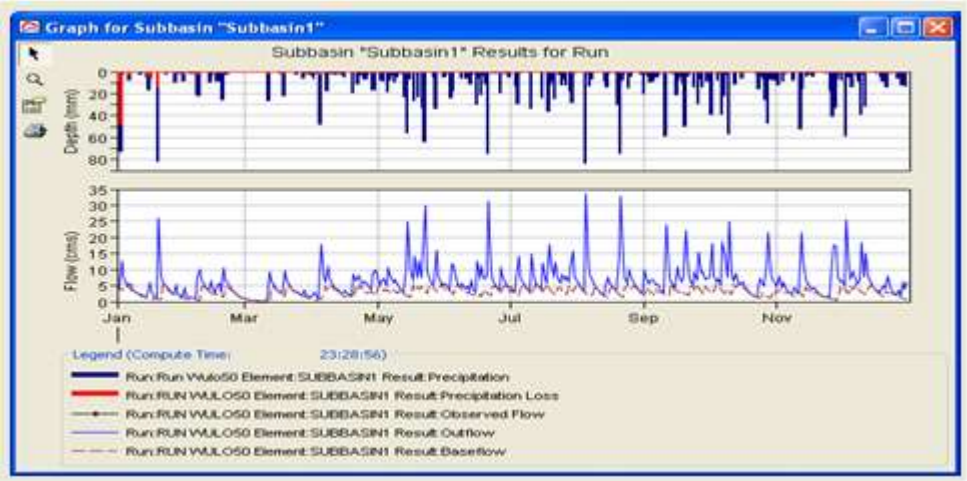
Tabel 5.6 Parameter basin sebagai input HEC-HMS

Komponen		Parameter	Nilai
1.	*SubBasin*	Area (Km^2)	44,38
2.	*Loss*	*Initial abstraction* (mm) *Curve Number* *Impervious (%)*	18,04 60,77 0,00
III	*Transform*	*Time Lag* (min)	168,00
IV	*Base Flow*	*Initial discharge* (M^3/s) *Recession constant* *Flow* (m^3/s)	5,30 0,79 7,70

Sumber: Data hasil analisis *software* HecGeo-HMS

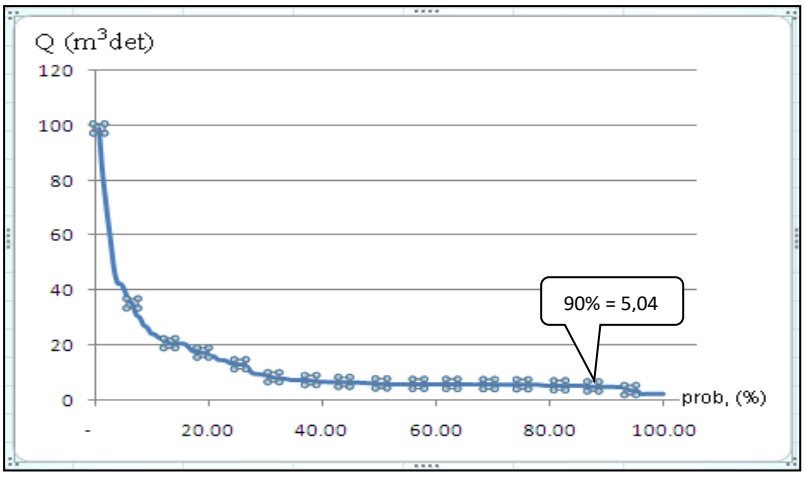
5.6. Simulasi Model untuk Pendugaan Debit Aliran Sungai-sungai di DAS Bone

Hidrograf debit aliran rata-rata *continous* dianalisis berdasarkan data presipitasi hujan Tahun 2014. Untuk analisis debit rata-rata, data hujan jam-jaman setasiun bula dirubah menjadi data hujan harian. Untuk menjaga tetap konsistennya nilai hidrograf simulasi dengan hidrograf terukur, dilakukan proses obtimasi sesuai tanggal kejadian hidrograf terukur. Parameter obtimasi tetap menggunakan nilai parameter hasil analisis model. Hasil proses hidrograf simulasi HEC-HMS di Sungai Bula, dengan input presipitasi data hujan harian *continous* Tahun 2014, disajikan pada Gambar 5.13.



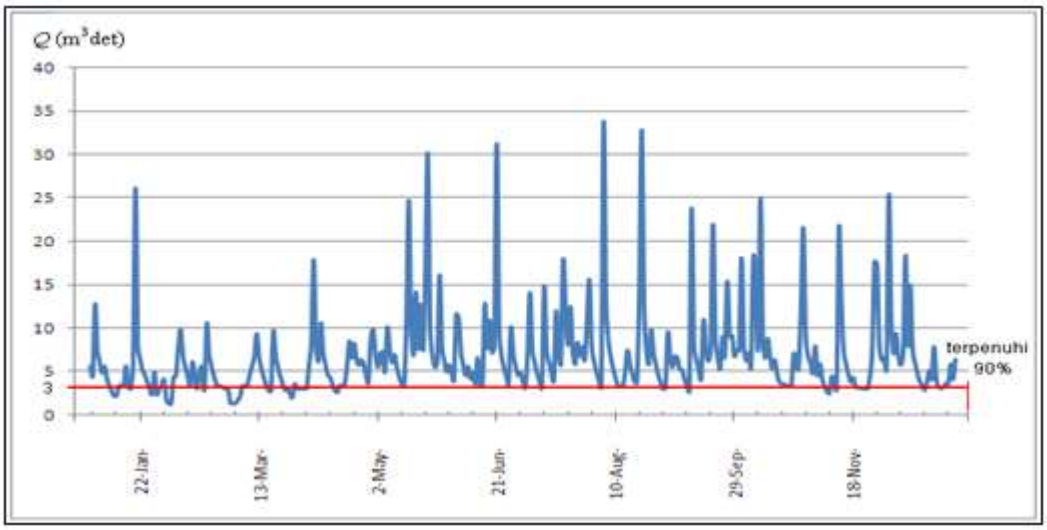
Gambar 5.13, Hidrograf hasil Proses HEC-HMS berdasarkan input hujan harian Tahun 2014, di Sungai Bula.

Perhitungan debit andalan sungai untuk memperoleh nilai debit yang terpenuhi sepanjang waktu dilakukan dengan menggunakan metode *flow duration curve* (FDC) dengan menetapkan frekuensi capaian yang terpenuhi sebagai potensi debit sungai adalah sebesar 90% seperti disajikan pada Gambar 5.14



Gambar 5.14, Grafik FDC untuk memperoleh debit andalan Sungai Bula

Berdasarkan grafik FDC di atas dapat dijelaskan bahwa debit aliran sungai sebagai debit andalan 90% yang dapat terpenuhi sepanjang waktu di Sungai Bula Bone Bolango adalah sebesar 5,04 m^3/det. Untuk mengetahui debit minimum secara rinci berdasarkan waktu kejadian dilakukan dengan memplot 90 % hidrograf debit aliran yang dapat terpenuhi sebagai aliran Sungai Bula, seperti disajikan pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15, Grafik hidrograf 90 % terpenuhi
sebagai debit aliran Sungai Bula

Hasil Obtimasi digambarkan secara grafik *scatter* yang nilainya di plot sesuai waktu kejadian dengan menggunakan *software microsoft excel*. Debit

minimum diperoleh dengan menarik garis pada kisaran 90 % kejadian hidrograf terpenuhi sebagai debit minimum sungai Bula dengan nilai sebesar 5,04 m^3/det. Secara rinci debit minimum 90% terpenuhi sebagai aliran Sungai Bula berdasarkan waktu kejadian dengan input data hujan Tahun 2014 disajikan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7, Debit minimum berdasarkan waktu kejadian
90% terpenuhi sebagai aliran Sungai Bula

Debit aliran		Waktu Kejadian
Debit minimum/ 90% terpenuhi sebagai aliran Sungai Bula.	5,04 (m^3/det)	Terjadi sepanjang waktu kecuali pada Tanggal 9 – 18 Juli 2014 turun hingga 2,5 m^3/det

Debit minimum merupakan potensi sumberdaya air sungai yang akan digunakan sebagai energi pembangkit tenaga listrik.

Simulasi untuk beberapa penggunaan lahan di subDAS-subDAS lain yang ada dalam wilayah DAS dilakukan dengan menerapkan model hasil analisis pada DAS tersebut. Masukan utama pada *time-series* presipitasi adalah data hujan yang terdapat di wilayah DAS Bone Gorontalo. Di wilayah DAS Bone terdapat 3 setasiun hujan yang masing-masing berada di Desa Alale Kecamatan Suwawa Tengah, Desa Tulabolo Kecamatan Suwawa Timur, dan Desa Pinogu Kecamatan Suwawa Timur. Data hujan tersebut adalah data hujan jam-jaman Tahun 2014. Data hujan wilayah DAS Bone dianalisis menggunakan cara *polygon thiesen* untuk menentukan karakteristik hujan dan cakupan hujan pada masing-masing subDAS di DAS Bone.

Parameter input masing-masing subDAS adalah: Luas subDAS, nilai CN dan Ia. Nilai penggunaan lahan dan kondisi tanah direpresentasikan dengan angka CN. Berubahnya nilai CN mengakibatkan perubahan terhadap besarnya resapan air ke dalam tanah, sehingga nilai limpasan juga akan mengalami perubahan.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan data hujan wilayah periode satu tahun sebagai input presipitasi dalam proses HEC-HMS.

Parameter sebagai input HEC-HMS tidak ada yang berubah kecuali luas area masing-masing subDAS, nilai CN, *Initial abstraction* (Ia), dan *Time Lag* (TL). Nilai parameter lain dianggap konstan pada semua subDAS. Perubahan yang terjadi pada penggunaan lahan subDAS akan mengakibatkan nilai CN ikut berubah. Dengan input data hujan wilyah pada masing-masing subDAS, nilai CN dan Ia, dapat diamati dengan terjadinya perubahan pada volume limpasan (Qv) dan debit puncak (Qp). Perhitungan nilai CN setiap perubahan penggunaan lahan, dihitung dengan memperhatikan luas subDAS. Hasil perhitungan nilai CN dan Ia bersama-sama dengan data hujan digunakan sebagai input program HEC-HMS.

Pada penelitian ini penerapan model dilakukan pada 16 subDAS yang ada dalam wilayah DAS Bone. Karakteristik dan morfometri subDAS perlu diketahui sebagai input dalam memperoleh hidrograf debit aliran masing-masing sungai. Morfometri sistem subDAS dianalisis dengan menggunakan ArcGIS berdasarkan kontur dan citra Landsat 7 ETM+ wilayah Bone Bolango. Input data presipitasi yang digunakan adalah data hujan wilayah DAS Bone selama 1 tahun selang bulan Januari sampai dengan Desember Tahun 2014.

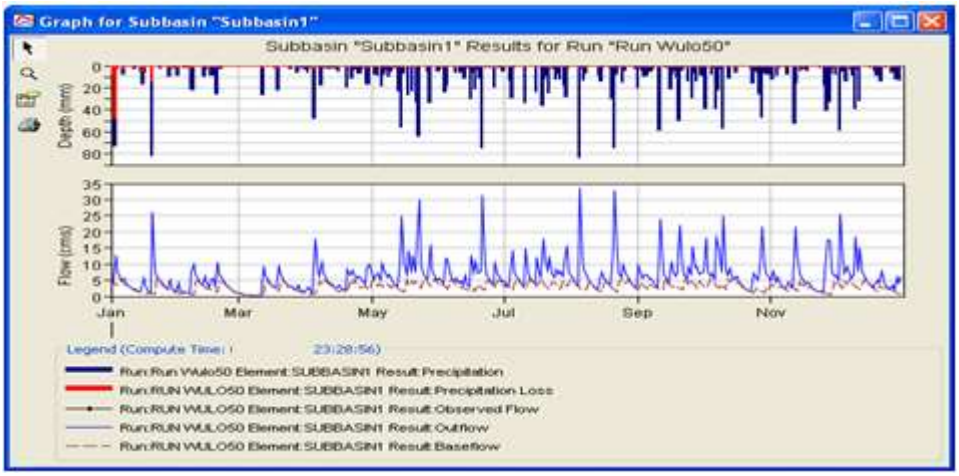
Analisis penerapan model penelitian pada masing-masing sungai di DAS Bone dilakukan dengan merubah nilai parameter berdasarkan karakteristik masing-masing subDAS. Parameter yang disesuaikan sebagai input masing-masing subDAS adalah: luas subDAS, nilai CN, nilai Ia, dan nilai *Time Lag*. Data parameter masing-masing subDAS berdasarkan analisis persamaan dan hasil proses HecGeo-HMS disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8, Nilai parameter subDAS di DAS Bone

No	Nama SubDAS	Luas (Km^2)	Panjang Sungai (Km)	Kemiringan Sungai (m)	CN	Ia (mm)	Time Lag (Jam)
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Wulo	43,59	9,08	175	72,66	19,11	1,90
2.	Tulabolo	31,95	9,62	675	73,22	18,58	1,70
3.	Matango	18,92	8,08	1000	73,00	18,79	1,34
4.	Bulawa	41,48	11,62	225	73,00	18,79	1,88
5.	Bala	53,61	32,17	275	73,00	18,79	2,07
6.	Bone Hulu	49,75	19,12	600	72,80	18,98	2,01
7.	Butahu	81,75	20,93	725	72,99	18,8	2,43
8.	Dulamayo	4,20	3,55	375	72,59	19,18	0,78
9.	Lama	21,66	4,98	275	72,96	18,83	1,47
10.	Mogi Daa	52,33	10,77	775	70,63	32,00	2,05
11.	Motomboto	8,34	4,33	700	73,00	18,79	1,02
12.	Olama	108,47	23,49	850	73,11	18,68	2,71
13.	Munalo	8,24	4,20	375	73,00	18,79	1,02
14.	Ulanta	94,39	19,59	65	71,85	19,90	2,57
15.	Buano	172,56	28,88	1200	73,00	18,79	3,22
16	Pinogu	32,64	5,89	875	73,21	18,56	1,55

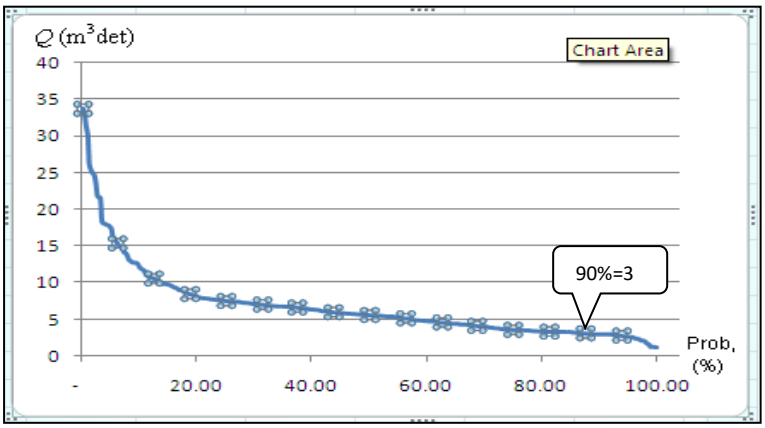
Sumber: Data parameter subDAS di DAS Bone hasil proses HecGeo-HMS.

Debit aliran sungai pada masing-masing subDAS di DAS Bone dianalisis menggunakan *software* HEC-HMS dengan memasukkan input parameter masing-masing subDAS pada komponen *subBasin. Input time series* data presipitasi menggunakan data hujan wilayah dari ke tiga setasiun hujan di wilayah DAS Bone yang ditetapkan berdasarkan pembagian cakupan wilayah setasiun hujan dengan cara *polygon thiesen*. Berdasarkan proses *running* HEC-HMS dengan input parameter tersebut di atas diperoleh *output* hidrograf debit aliran sungai masing-masing subDAS di DAS Bone. *Output* hidrograf debit aliran Sungai Wulo subDAS Wulo disajikan pada Gambar 5.16



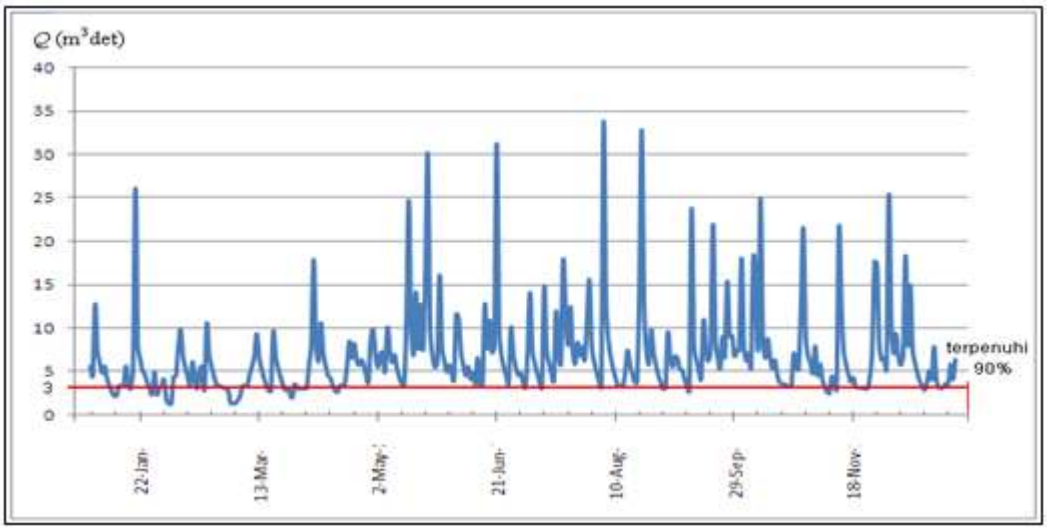
Gambar 5.16, Hidrograf debit aliran Sungai Wulo subDAS Wulo

Data debit aliran *output* hidrograf hasil proses HEC-HMS dapat dilihat pada *Time-series Table* kolom Total *results* (m^3/s). Data aliran *baseflow* pada kolom *Baseflow* (m^3/s). Debit andalan 90% sebagai aliran yang terpenuhi sepanjang satu tahun berdasarkan *Flow Duration Curve* (FDC) adalah sebesar 3 m^3/det, seperti disajikan pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17, Debit andalan 90 % Sungai Wulo subDAS Wulo

Data debit beserta waktu kejadian hasil proses HEC-HMS dianalisis menggunakan *software microsoft excel* pada komponen *input charts scatter* untuk memperoleh grafik hidrograf debit berdasarkan waktu kejadian. Grafik hidrograf debit Sungai Wulo subDAS Wulo disajikan pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18, Grafik hidrograf debit aliran Sungai Wulo subDAS Wulo 90% terpenuhi selang bulan Januari-Desember Tahun 2014.

Nilai debit aliran berdasarkan waktu kejadian disajikan pada Tabel 5.9

Tabel 5.9, Debit aliran Sungai Wulo berdasarkan waktu kejadian

Debit aliran		Waktu Kejadian
Debit minimum/ 90% terpenuhi sebagai aliran Sungai Wulo.	3,00 (m^3/det)	Debit minimum tidak terpenuhi pada Tanggal 11-12 Januari, 2-4 Februari, 1-5 Maret, 24-27 Maret, 14-15 April, 10 September, 7-8 November, dan 18 Desember 2014 turun hingga 1,22 m^3/det

Debit andalan dan debit minimum 90% terpenuhi sebagai debit aliran subDAS lainnya dianalisis seperti subDAS Wulo di atas.

5.7. Analisis Potensi Aliran Sungai untuk Sumberdaya Listrik

Potensi debit aliran sungai untuk sumberdaya listrik dianalisis berdasarkan persamaan (Arismunandar dan Kuwahara, 2000):

$P = 9{,}8 \cdot H \cdot Q \cdot ήE$ (Kilo watt)

Dengan:

P = tenaga yang dikeluarkan secara teoritis (Kilo watt)
H = tinggi jatuh air efektif (m)
Q = debit aliran sungai (m^3/s)
ήE = efisiensi pembangkit

Potensi debit aliran untuk sumberdaya listrik dianalisis berdasarkan debit rata-rata sungai dan ketinggian jatuh air yang diperoleh pada titik pengamatan debit sungai sampai lokasi pembangunan pembangkit tenaga listrik..

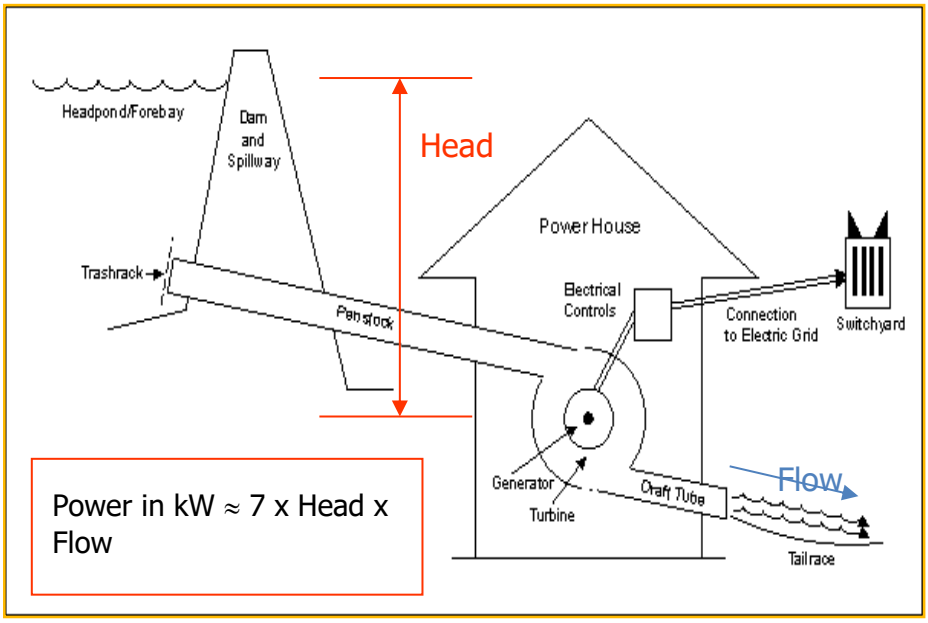
.

5.7.1 Analisis ketinggian jatuh air (*head*)

Ketinggian jatuh air dibutuhkan untuk menghasilkan *power house* sebagai tenaga mekanik yang akan memutar turbin generator. Ketinggian jatuh air diperoleh dengan cara menetapkan suatu titik ideal pada jarak tertentu yang diperkirakan dapat menghasilkan suatu ketinggian jatuh air yang memadai. Pengukuran dilakukan dari tempat pemasangan AWLR sebagai titik acuan pengamatan debit sungai. Analisis ketinggian jatuh air dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui pengukuran langsung di lapangan dengan mengukur sudut ketinggian elevasi tempat berdasarkan jarak tertentu (menggunakan alat ukur *theodolite*), dan analisis melalui hasil interpretasi citra.

Dalam penelitian ini penetapan ketinggian jatuh air dilakukan melalui analisis interpretasi citra, yaitu dengan menganalisis nilai ketinggian tempat dari tempat AWLR (pengamatan debit) dengan menarik garis sepanjang alur sungai kearah hilir. Dengan jarak tertentu ditetapkan titik ideal yang dianggap memiliki ketinggian yang memadai sebagai tempat/lokasi rencana pembangunan pembangkit tenaga listrik mikro hidro. Untuk memperoleh ketinggian jatuh air yang besar pada titik pengamatan dilakukan dengan membendung sungai sehingga dapat diperoleh tinggi maksimum sungai. Ketinggian jatuh air (*head*) merupakan penjumlahan nilai ketinggian titik pengamatan debit dan nilai ketinggian tempat bagunan pembangkit listrik dan tinggi maksimum sungai setelah dibendung.

Campbell (2010), menggambarkan penentuaan *Head* berdasarkan proses bendungan sungai dan penyaluran air melalui pipa *penstock* seperti Gambar 5.19.



Gambar 5.19, Penentuan *Head* pembangkit listrik mikro hidro (Campbell, 2010).

Dengan asumsi jarak tertentu air sungai yang telah dibendung dialirkan melalui pipa pesat (*penstock)* menuju rumah pembangkit (*power house*). *Head* diperoleh berdasarkan nilai ketinggian air sungai dan dan tempat bangunan turbin generator.

Nilai ketinggian jatuh air (*Head*) pada masing-masing sungai di DAS Bone didasarkan pada ketinggian air sungai saat dibendung dan perolehan ketinggian aliran sungai dari titik pengamatan sampai titik PLTMH pada asumsi jarak 20 meter. Nilai *head* di masing-masing sungai disajikan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.10, Nilai *Head* berdasarkan ketinggian tempat pada masing-masing sungai di DAS Bone

No	Nama Sungai	Ketinggian titik pengamatan debit sampai titik PLTMH (meter)	Ketinggian sungai setelah dibendung (meter)	Nilai *Head* Sungai (meter)
1	Bula	1,75	1,50	3,25
2	Bala	1,85	1,60	3,45
3	Bone Hulu	1,75	1,50	3,25
4	Buano	3,00	2,50	5,50
5	Bulawa	1,50	1,45	2,95
6	Butahu	1,50	2,25	3,75
7	Dulamayo	1,00	0,25	1,25
8	Lama	1,50	1,00	2,5
9	Matango	1,50	0,75	2,25
10	Mogi Daa	1,85	1,50	3,25
11	Motomboto	1,00	0,50	1,50
12	Munalo	1,00	0,50	1,50
13	Olama	2,00	2,75	4,75
14	Tulabolo	1,60	1,50	3,10
15	Ulanta	1,50	2,85	3,35
16	Wulo	1,75	1,50	3,25
17	Pinogu	1,60	1,50	3,10

Sumber: Data ketinggian tempat berdasarkan interpretasi citra.

5.7.2 Potensi Energi Aliran Sungai untuk Sumberdaya Listrik

Berdasarkan nilai variabel debit sungai dan nilai ketinggian jatuh air (*head*), dapat dihitung daya listrik pada masing-masing sungai di DAS Bone. Nilai debit sungai yang digunakan adalah debit minimum yang terpenuhi sepanjang tahun (debit andalan 95%) untuk memutar turbin generator. Potensi

sumberdaya listrik berdasarkan nilai debit minimum pada masing-masing sungai di DAS Bone disajikan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11, Potensi Sumberdaya Listrik masing-masing Sungai di DAS Bone

No	Nama Sungai	Sumberdaya Listrik PLTMH (Kilo watt)	Keterangan Kelayakan
1	Bula	12,04	Layak
2	Wulo	7,17	Layak
3	Tulabolo	9,11	Layak
4	Matango	2,07	Layak
5	Bulawa	8,02	Layak
6	Bala	12,68	Layak
7	Bone Hulu	10,03	Layak
8	Butahu	16,54	Layak
9	Dulamayo	0,14	Tidak layak
10	Lama	2,30	Layak
11	Mogi Daa	9,56	Layak
12	Motomboto	0,33	Tidak layak
13	Olama	24,44	Layak
14	Munalo	0,22	Tidak layak
15	Ulanta	16,50	Layak
16	Buano	32,34	Layak
17	Pinogu	6,84	Layak
Total		170,31	

Sumber: Hasil analisis sumberdaya listrik berdasarkan aliran dan *head* sungai

Keterangan bahwa di lokasi aliran sungai layak dibangun PLTMH, didasarkan pada kajian kelayakan pembangunan PLTMH berdasarkan kebutuhan masyarakat berbasis lingkungan DAS (BAB III).

5.8. Analisis Kebutuhan Energi Listrik Bagi Pengguna/Masyarakat

Pembangunan pembangkit listrik pada skala yang kecil (mikro hidro) dibangun untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bagi masyarakat sekitar lokasi bangunan pembangkit listrik. Pembangunan pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH) adalah untuk memasok listrik bagi masyarakat yang belum terjangkau aliran listrik dari PLN.

Sebaran pemukiman di DAS Bone dianalisis berdasarkan plot citra *Quick Birdh* perekaman Tahun 2010. Jumlah rumah dihitung berdasarkan kenampakan citra dan ditentukan titik koordinat lokasinya. Koordinat masing-masing pemukiman di *overlay* dengan peta DAS Bone untuk memperoleh sebaran spasial pemukiman dan titik potensi energi listrik pada masing-masing subDAS.

Kebutuhan energi listrik rumah tangga yang digunakan pada jaringan pembangkit listrik mikro hidro adalah 1/2 daya listrik terendah rumah tangga 450 watt (PLN). Pasokan listrik masing-masing rumah ditetapkan 220 watt. Pembatas daya listrik di masing-masing rumah menggunakan saklar *Magnetic Circuit Breaker* (MCB) dengan kapasitas 1 ampere.

Berdasarkan plot citra *Qiuck Birdh* di subDAS Bula pada koordinat 0°29'50.72"N dan 123°15'58.62"E, terdapat 144 buah rumah penduduk memanjang dari arah barat laut kearah timur laut sepanjang 2.235,46 meter. Jarak dari tempat bangunan PLTMH ke jaringan jalan adalah 88 meter. Kebutuhan daya listrik di tempat tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

- Daya listrik 144 rumah = 144 x 220 = 31.680 watt, atau 31,68 KW.
- Kebutuhan listrik pembangkit = 450 watt
- Penerangan jalan = 500 watt

Total kebutuhan daya listrik = 32.630 watt, atau 32,63 KW.

Daya listrik yang dapat dibangkitkan di Sungai Bula adalah 12,04 KW. Daya listrik yang tersedia tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik di wilayah tersebut. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan membangun 4 buah PLTMH secara berderet di Sungai Bula. Buangan air dari pembangkit pertama menjadi energi penggerak bagi pembangkit kedua, dan seterusnya sampai pada

pembangkit ke empat. Daya listrik yang dihasilkan masing-masing pembangkit di paralel pada suatu panel hubung yang dibuat khusus untuk paralel daya listrik dari generator. Daya listrik yang dihasilkan dari 4 buah PLTMH adalah 4 x 12,04 KW = 48,16 KW. Dengan daya terpasang 48,16 KW, kebutuhan daya listrik di wilayah subDAS Bula untuk 144 rumah dapat terpenuhi.

Kebutuhan daya listrik di suatu wilayah pemukiman, selain dapat menggunakan potensi energi listrik yang dibangkitkan dari potensi air sungai pada wilayah tersebut, dapat juga di pasok dari energi listrik yang dibangkitkan dari sungai-sungai lain yang berdekatan dengan wilayah tersebut. Potensi energi listrik yang berdekatan dengan subDAS Bula adalah energi listrik dari Sungai Tulabolo yang dapat membangkitkan energi listrik sebesar 9,11 KW dan energi listrik dari Sungai Matango sebesar 6,62 KW, serta energi listrik dari Sungai Motomboto sebesar 0,33 KW. Pasokan energi listrik dari subDAS lain perlu mempertimbangkan jarak jaringan listrik yang akan dibangun serta kondisi medan yang akan dilalui jaringan listrik tersebut. Jika dalam perhitungan pembiayaan tidak efisien dan kondisi medan sulit untuk pembangunan jaringan listrik, maka langkah yang diambil untuk memperbesar daya listrik adalah dengan membangun beberapa pembangkit listrik secara berderet di sungai tempat pembuatan *project* PLTMH.

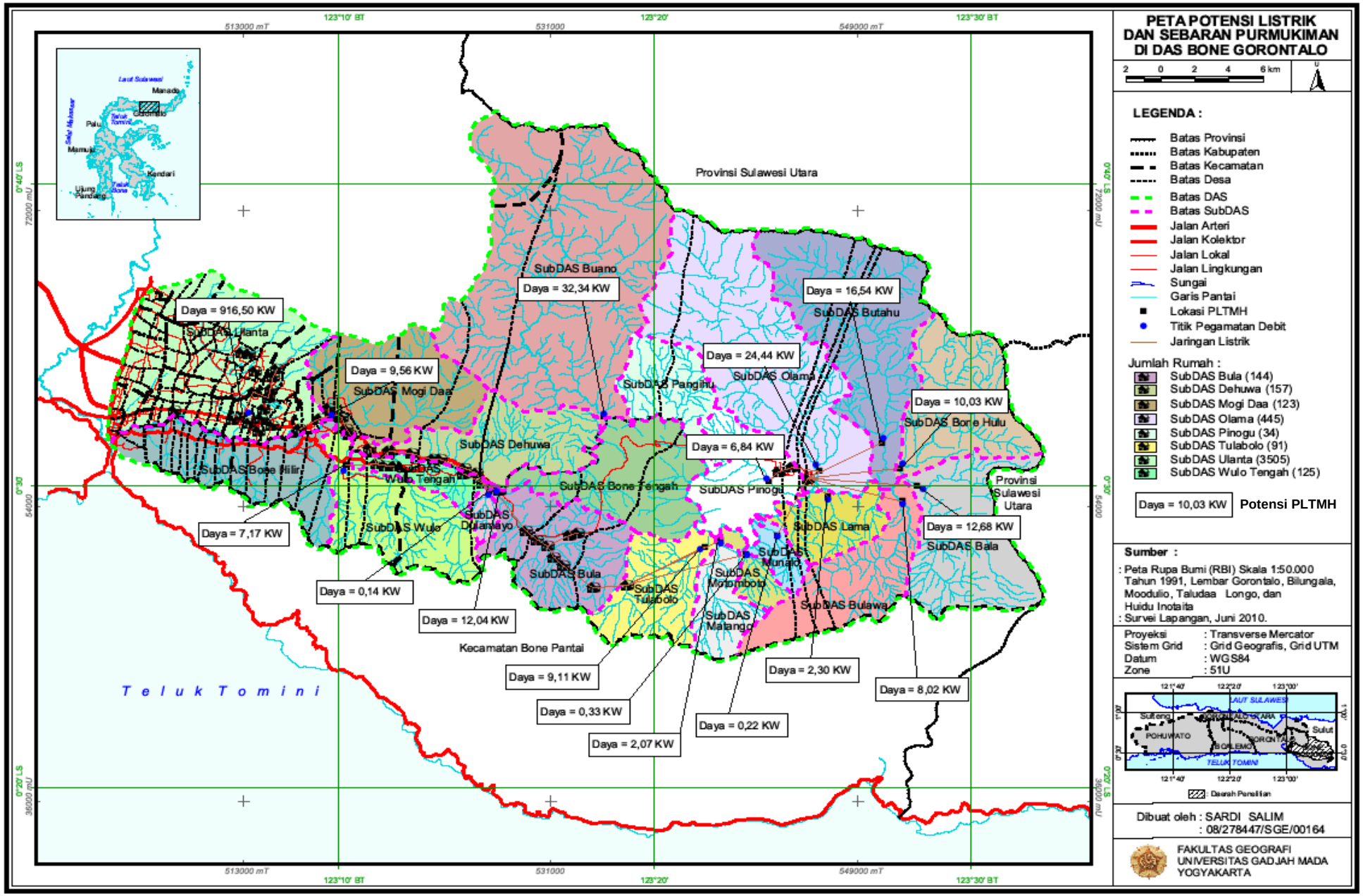
Di subDAS Pinogu Desa Pinogu yang tempatnya cukup jauh dari pusat kecamatan, berdasarkan pengamatan citra *Quick Birdh* terdapat pemukiman peduduk yang mengelompok pada titik koordinat 0°30'13.79"N dan 123°25'45.07"E, sebanyak 472 rumah, 2 sekolah dan 1 mesjid. Berdasarkan penjelasan dari penduduk yang berasal dari desa tersebut listrik yang digunakan untuk keperluan masyarakat Desa Pinogu adalah menggunakan pembangkit listrik tenaga matahari dan sebagian lagi menggunakan *Genset.* Kendala yang dihadapi pembangkit listrik tenaga matahari hanya menghasilkan daya listrik yang kecil dan biaya pembuatannya cukup mahal. Sementara untuk *genset* bahan bakar minyak sulit diperoleh.

Permasalahan kebutuhan listrik masyarakat terpencil dapat diatasi dengan membangun pembangkit listrik tenaga air skala kecil (PLTMH) melalui energi air

sungai yang mengalir di daerah tersebut. Di Sungai Olama yang berdekatan dengan Desa Pinogu dapat membangkitkan listrik sebesar 24,44 KW. Sungai yang berdekatan dengan wilayah tersebut adalah Sungai Pinogu dengan energi listrik yang dapat dibangkitkan adalah 6,84 KW, dan Sungai Lama sebesar 2,30 KW. Dengan menggunakan potensi energi listrik PLTMH pada wilayah tersebut dapat dihasilkan energi listrik sebesar 31,58 KW. Jika dipasang PLTMH secara berderet di masing-masing sungai diperoleh total daya listrik sebesar 126,32 KW, dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi masyarakat Desa Pinogu.

Sebaran pemukiman di DAS Bone di bagian tengah dan bagian timur DAS yakni di wilayah Kecamatan Suwawa Timur belum teraliri jaringan listrik dari PLN. Hal tersebut karena kondisi medan wilayah yang sangat sulit untuk pembangunan jaringan listrik. Di wilayah bagian tengah dan bagian timur DAS Bone sebagian besar merupakan wilayah Taman Nasional BOGANI Nani Wartabota dimana hutannya merupakan hutan lindung. Kondisi lahannya adalah daerah pegunungan dan perbukitan yang tidak memungkinkan untuk pembangunan jaringan listrik sampai ke wilayah pemukiman penduduk. Sebaran pemukiman di Desa Pinogu berdasarkan plot citra *Quick Birdh* disajikan pada Gambar 5.20. Peta potensi listrik dan sebaran pemukiman di DAS Bone Tahun 2010, disajikan pada Gambar 5.21.

Gambar 5.20, Peta sebaran pemukiman di Desa Pinogu berdasarkan plot citra *Quick Birdh* perekaman Tahun 2010.



Gambar 5.21, Peta sebaran sumberdaya listrik dan sebaran pemukiman di DAS Bone Gorontalo

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian dapat dirumuskan kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Pemodelan estimasi variabilitas limpasan di SubDAS Bula berdasarkan obtimasi parameter CN, abstraksi awal sebelum limpasan terjadi (Ia), dan beda waktu puncak hujan dan puncak hidrograf aliran (TL), menunjukkan nilai *Base flow*=5,5 m^3/det, CN=68,5, Ia=18,8, Rc=0,8, dan TL=73,35 menit. Berdasarkan *output* hidrograf aliran, diperoleh debit minimum Sungai Bula sebesar 5,04 m^3/det.
2. Penerapan model analisis limpasan pada subDAS lain di DAS Bone dengan input hujan wilayah DAS Bone, diperoleh hidrograf debit aliran masing-masing sungai dengan debit minimum yaitu: di Sungai Wulo = 3 m^3/det, di Sungai Tulabolo = 4 m^3/det, di Sungai Matango = 1,25 m^3/det, di Sungai Bulawa = 3,70 m^3/det, di Sungai Bala = 5 m^3/det, di Sungai Bone Hulu = 4,20 m^3/det, di Sungai Butahu = 6 m^3/det, di Sungai Dulamayo = 0,15 m^3/det, di Sungai Lama = 1,25 m^3/det, di Sungai MogiDaa = 4 m^3/det, di Sungai Motomboto = 0,3 m^3/det, di Sungai Olama = 7 m^3/det, di Sungai Munalo = 0,2 m^3/det, di Sungai Ulanta = 6,7 m^3/det, di Sungai Buano = 8 m^3/det, dan di Sungai Pinogu = 3 m^3/det.
3. Sumberdaya listrik berdasarkan potensi aliran sungai dan ketinggian jatuh air pada masing-masing subDAS di DAS Bone adalah: di Sungai Bula = 12,04 KW, di Sungai Wulo = 7,17 KW, di Sungai Tulabolo = 9,11 KW, di Sungai Matango = 2,07 KW, di Sungai Bulawa = 8,02 KW, di Sungai Bala = 12,68 KW, di Sungai Bone Hulu = 10,03 KW, di Sungai Butahu = 16,54 KW, di Sungai Dulamayo = 0,14 KW, di Sungai Lama = 2,30 KW, di Sungai MogiDaa = 9,56 KW, di Sungai Motomboto = 0,33 KW, di Sungai Olama = 24,44 KW, di Sungai Munalo = 0,22 KW, di Sungai Ulanta = 16,50 KW, di Sungai Buano = 32,34 KW, dan di Sungai Pinogu = 6,84 KW

4. Sebaran potensi energi listrik berdasarkan kebutuhan pengguna/masyarakat di DAS Bone adalah: di subDAS Bula terdapat 144 buah rumah dengan kebutuhan daya listrik sebesar 32,63 KW. Kebutuhan energi listrik dapat menggunakan potensi PLTMH Sungai Bula sebesar 12,04 KW. Untuk memperbesar kapasitas daya listrik PLTMH dapat dilakukan dengan memperbesar ketinggian jatuh air (head), atau membangun beberapa PLTMH secara berderet di sepanjang aliran Sungai Bula. Di Desa Pinogu terdapat 472 rumah, 2 sekolah dan 1 mesjid. Kebutuhan listrik masyarakat di Desa Pinogu sebesar 107.600 KW, dapat dipasok dari PLTMH yang dibangun di Sungai Olama dengan potensi energi listrik sebesar 24,44 KW. Dengan membangun 5 buah pembangkit listrik secara berderet dapat dihasilkan energi listrik sebesar 122,22 KW.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian pendugaan debit aliran sungai dengan menggunakan model *soil Concervation Cervice – Curve Number* (SCS-CN) dapat digunakan untuk menganalisis debit aliran sungai lain yang ada di Provinsi Gorontalo atau Daerah lainnya secara spasio temporal. Analisis model diterapkan pada subDAS yang kecil, dan hasil analisis model digunakan untuk menganalisis nilai debit aliran sungai-sungai lain dalam wilayah DAS. Data presipitasi berupa hujan wilayah, dan data debit lapangan merupakan komponen utama dalam analisis model. Nilai morfometri dan karakteristik DAS yang akan menjadi parameter input dalam proses analisis limpasan sungai perlu dianalisis secara akurat sehingga hasil analisis limpasan benar-benar dapat merepresentasikan nilai sesuai kondisi di lapangan.
2. Potensi energi listrik yang diperoleh dari sumberdaya air sungai hendaknya dapat diberdayakan semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan listrik, terutama bagi masyarakat terpencil yang belum terjangkau aliran listrik dari PLN. Pembangkit listrik mikro hidro dan mini hidro merupakan pembangkit

listrik ekonomis yang tidak membutuhkan pembiayaan yang terlalu besar, namun energi listrik yang dibangkitkan dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Berdasarkan potensi sumberdaya air yang cukup besar di Wilayah Indonesia sudah sepatutnya pemerintah melakukan perubahan penggunaan pembangkit listrik yang menggunakan minyak dan gas ke pembangkit listrik dengan menggunakan sumberdaya alam terbarukan khususnya sumberdaya air.

3. Sebaran potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari sungai-sungai di wilayah DAS Bone, dapat memberi informasi pasokan kebutuhan energi listrik bagi masyarakat untuk menunjang aktivitas kehidupan sehari-hari. Pembangkit listrik mikro hidro dan pembangkit listrik mini hidro dalam pembuatannya tidak membutuhkan pembiyaan yang terlalu besar, namun membutuhkan kualitas pemeliharaan yang tinggi. Oleh karenanya untuk menjaga kelestariannya pembangkit listrik dibangun dengan konstruksi bangunan yang permanen dan komponen pembangkit listrik yang baik, sehingga kebutuhan energi listrik masyarakat dapat terpenuhi untuk waktu yang lama.
4. Analisis penelitian ini hanya dilakukan pada kurun waktu 1 tahun yaitu dengan menggunakan data hujan wilayah DAS Bone Tahun 2010 sebagai input presipitasi, dalam memperoleh debit aliran minimum sungai untuk energi pembangkit tenaga listrik. Analisis dengan input data hujan secara *time series* untuk beberapa tahun dapat dilakukan pada masing-masing tahun dan hasil analisis disajikan untuk masing-masing tahun berdasarkan data hujan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

Agung, 2008, Pemanfaatan Tenaga Air, http://hydropower.wordpress.com, (Down load 8 September 2008).

Arismunandar A., S. Kuwahara, 2000, Teknik Tenaga Listrik *Jilid I: Pembangkitan dengan Tenaga Air*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Arsyad, S., 2000, *Konservasi Tanah dan Air*. Cetakan Ketiga. Institut Pertanian Bogor Press, Bogor.

Asdak, C., 2007, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gadjah Mada Univercity Press, Yogyakarta.

Asriningtyas, V., 2007, *Bahan praktikum MPPDAS*, Fakultas Geografi UGM, (Tidak dipublikasikan).

Bedient, P.B., dan W.C., Huber, 1992, *Hydrology for Floodplain Analysis*, Addison-Wetsley Publishing Company, New York

Chow, V.T., D.R. Meidment dan L.W. Mays, 1988, *Applied Hydrology*, McGraw Hill Book, New York.

Darmanto, D. dan Sudarmadji, 1985, Hidrologi, Proyek pusat latihan penanggulangan gunung berapi. UGM Yogyakarta

Dariah, A., 2003. *Erosi Dan Aliran Permukaan Pada Lahan Pertanian Berbasis Tanaman Kopi Di Sumberjaya, Lampung Barat.* Jurusan Ilmu Tanah. IPB.

Dasanto, B.D., 2006, *Pengantar Geosains : Limpasan dan Aliran Sungai*. Departemen Meteorologi dan Geofisika. IPB: Bogor.

Departemen Kehutanan, Dirjen Rehabilitasi Lahan Perhutanan Sosial, 2004, Buku Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Mangrove, Jakarta

Cole, R.A.J., 2003, *The Use of Flow Duration Curves as a Data Quality Tool*. Northern Ireland

Foth, H.D., 1998, Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Gadjah Mada University Pres, Yogyakarta..

Gorgens, A.H.M., 1983, *Conceptual Modelling of the Rainfall Runoff Process in Semi-Aried Catchments*, Report no 1/83, Hydrological Research Unit, Department of Geography, Rhodes University, Grahamstown.

Hadi, M.P., 2003, Hubungan antara hujan dan limpasan selama hujan sebagai fungsi karakteristik Daerah Aliran Sungai. (Suatu studi kasus pemodelan hidrologi di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu). *Disertasi*, Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.

James, L.D., 1972, Hydrologic Modeling, Parameter Estimation and Watershed Characteristic, *Journal of Hydrology*, 17 (2005), hal. 283-307

Jensen, J.R., 1991, *The Measurement of Mangrove Characteristic in South* – West Florida Using SPOT Multispectral Data. Geocarto International, Florida

Kadir A., 1995, Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi, Universitas Indonesia, Jakarta.

Kalsim, D.K., 2003, *Pendugaan Puncak Limpasan*. Laboratorium Teknik Tanah dan Air, IPB, Bogor

Ketut, D.N., 2009, Kajian Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Memanfaatkan Aliran Sungai Kelampuak di Desa Tamblang-Buleleng, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram, Vol. 3 No.1, 121-126.

Kirpich, P.Z., 1940, Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds, *Civil Enggineering*. 10 (6); 363.

Laoh, O.E.H., 2002, Keterkaitan factor fisik, factor social, ekonomi dan tataguna lahan di Daerah Tangkapan Air dengan erosi dan sedimemtasi, (studi kasus Tondano Sulawesi Utara), Disertasi *tidak dipublikasikan*, Pasca Sarjana IPB, Bogor.

Larsson, H., 2002, Acacia Canopy Cover Changesin Rawashda Forest Reverse, Kassala Province Eastern Sudan, Using Linear Regression NDVI Models, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, hal 102-175.

Lilesand, T.M dan J. Chipman, 2004, *Remote Sensing and Image Interpretation*: 5th edition, John Wiley and Son, New York

Linsley, R.K., M.A. Kohler dan J.L.H. Paulhus, 1988, *Hydrology of Engineers*. McGraw-Hill Book Co,. London.

Loucks,D.P., Stedinger,J.R. and Haith,D.A., 1981, *Water Resource Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall,Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp 21-23, 63-65, 307-308, 430-433.

Macaringue D., 2009, The Potential for Micro-hidro Power Plants in Mozambique, *Journal* of *Water Resources Planning and Management*,

Vol.128, 424-430.

Manning, J.C., 1987, *Applied Principles of Hydrology*, Merril Publishing Company, hal. 278.

Menteri Kehutanan R.I., 2009, Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P.32/MENHUT-II/2009, Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTkRHL-DAS)

Marjuki, B., 2008, Penerapan Teknik Perolehan Data Tutupan Kanopi (*canopy cover*) Menggunakan indeks vegetasi dan hubungannya dengan tingkat erosi tanah, *Skripsi*, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Marta J. dan Adidarma W., 1998, Mengenal Dasar-dasar Hidrologi, NCVA, Bandung.

Mustofa, Y.M., M.S.M. Amin, T.S. Lee dan A.R.M. Shariff, 2005, Evaluation of Land Development Impact on a Tropical Watershed Hydrology Using Remote Sensing and GIS. *Journal of Spatial Hydrology*, 5(2), hal 68-83.

McCuen, R.H., 1982, *A Guide to Hydrology Analysis Using SCS Methods*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs.

Neal, C.A. Robson, B. Reynolds dan A. Jenkins, 1992, Prediction of future short term stream chemistry: a modelling approach, *journal of hydrology*, vol 130. hal. 87-103.

Ponce, 1989, *Engineering Hydrologi*, *Principles and Practices*, Prentice Hall, New Jersey

Prastowo, 2003, *Masalah Sumberdaya Air di Indonesia: Kerusakan Daerah Aliran Sungai Dan Rendahnya Kinerja Pemanfaatan Air*. Makalah Falsafah Sains. Program Pasca Sarjana. IPB.

Puslittanak, 2003, *Usaha tani pada Lahan Kering*, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian, Bogor.

Setyowati, D.L., 2010, Hubungan Hujan Limpasan pada Berbagai Dinamika Spasial Penggunaan Lahan di DAS Kreao Jawa Tengah, *Disertasi*, Program Pascasarjana Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.

Seyhan, E., 1990, Dasar-dasar Hidrologi, Gadjah Mada Univercity Press, Yogyakarta.

Soemarto, C.D., 1999, Hidrologi Teknik, Edisi kedua, Erlangga, Surabaya.

Sosrodarsono dan S. Takeda, 1978, Hidrologi Untuk Pengairan, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Sri-Harto, Br., 2000, Analisis Hidrologi, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Subarkah, I., 1980, Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air, Idea Dharma, Bandung

Sulistiyo, B., dan Hartono, 1998, The Effect of Geometrically Corrected Landsat TM Data on The Acuracy of The Landuse Clasification Result; A Case Studi in Semarang Municipality and Its Vicinity, *The Indonesian Journal og Geography,* Vol, 30, No, 75, hal 175-190.

Supangat, B., B. Agung dan U.H. Murtiono, 2002, Kajian Koefisien Aliran Pada Beberapa Sub Das Di Das Solo Hulu. *Prosiding Seminar Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS*, Solo.

Suryatmo, F., 2002, Dasar-dasar Teknik Listrik, Bina Adiaksara, Jakarta

Sutanto, R., 2005, Dasar-dasar Ilmu Tanah, *Konsep dan Kenyataan*, Kanisius, Yogyakarta.

Suyono, 1989, Analisis Hidrograf Aliran Sungai Cimanuk di Atas Leuwigong Kabupaten Garut Jawa Barat, *Tesis tidak dipublikasikan,* Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.

Timothy, R.L., 1990, Urban Hydrology, *Technomic publishing company*, Inc. New Holland Avenue.

Thomas, R.W. dan R.J. Huggett, 1980, *Modelling in Geography*. Barnes & Noble Books, Totowa-New Jersey

Tivianton, T.A., 2010, Analisis Hidrograf Banjir Rancangan Terhadap Perubahan PenggunaanLahan dalam Berbagai Kala Ulang Metode Hujan-Limpasan dengan HEC-GeoHMS dan HEC-HMS, *Tesis*, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.

US Army Corps, 1981, HEC-1 Flood Hydrograph Package, *User manual*. The hidrologic Engginering Certer.

USACE, 2000, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, *Technical Reference Manual,* US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, California.

USDA NRCS, 2005, *National EngineeringHandbook Section 4: Hydrology*, Washington DC, U.S.A.

Utomo, A.R., 2007, Prospek Pemanfaatan Energi Terbarukan Sebagai Energi Konvensional, *Bahan Kuliah pada Departemen Teknik Elektro*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Viesmann, Jr.W., 1989, Intoduction to Hydrology, Harper and Row Publishers, New York.

Warrick, J. A., 2007, Suspended sediment rating curve response to urbanization and wildfire, *Journal of Geophisical Research*, Vol. 112, No.7, hal. 125-140.

Wijaya, T.A., 2004, Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Perubahan Karakteristik Hidrograf Banjir Menggunakan *Software* HEC-HMS versi 2.2, *Skripsi*, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Wanielista, M., Kersten R., Eaglin R., 1997, Water Quantity and Quality Control, John Wiley and Sons Inc., Florida

LAMPIRAN 1

1. DRAFT ARTIKEL ILMIAH …… dijilid tersendiri
2. PRODUK PENELITIAN …… dijilid tersebdiri.