

Pengelolaan Air, Infrastruktur, dan Lingkungan

Rahmadani Said dkk.

Pengelolaan Air, Infrastruktur, dan Lingkungan

ideas
PUBLISHING

IP.040.12.2022

Pengelolaan Air, Infrastruktur, dan Lingkungan

Rahmadani Said, Marike Mahmud, Aryati Alitu, Abdul Wahab Ihsan Lihawa, Barry Y. Labdul, Alvian Ahmad, Rawiyah Husnan, Indah Arifah Habibie, Indriati Martha Patuti, Fadly Achmad, Muhammad A. Ziad Sumba, Frice L. Desei, Rahmani Kadarningsih, Rifadli Bahsuan, Kasmat Saleh Nur, Maulin Wadipalapa, Moh. Yusuf Tuloli, Arfan Usman Sumaga, Sumiadi, Andre Primantyo H., Nur Faizaturrohmah, Beby Shintia Banteng

Pertama kali diterbitkan pada Desember 2022

Oleh **Ideas Publishing**

Alamat: Jalan Ir. Joesoef Dalie No. 110

Kota Gorontalo

Surel: infoideaspublishing@gmail.com

Anggota IKAPI No. 001/GORONTALO/14

ISBN: 978-623-234-270-5

Penyunting : Mira Mirnawati

Penata Letak : Siti Khumaira Dengo

Desainer Sampul : Allan Tri Putra Amilie

Dilarang mengutip, memperbanyak, atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik dan mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, maupun dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis dari penerbit.

Daftar Isi

Kata Pengantar — vii

1. **Analisis Kuantitas Danau Perintis untuk Air Irigasi di Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo**
Rahmadani Said, Marike Mahmud, Aryati Alitu 1
2. **Optimasi Pola Tanam Daerah Irigasi Lomaya Menggunakan Program Linear**
Abdul Wahab Ihsan Lihawa, Barry Y. Labdul, Aryati Alitu 15
3. **Transpor Sedimen Dasar pada Hilir Sungai Bongo yang Bermuara ke Sungai Paguyaman**
Alvian Ahmad, Rawiyah Husnan, Barry Y. Labdul..... 37
4. **Analisis Nilai Lugeon terhadap *Grouting Test* pada Bendungan Bulango Ulu**
Indah Arifah Habibie, Indriati Martha Patuti, Fadly Achmad 59
5. **Penentuan Tingkat Kerusakan Jalan dan Penanganannya Menggunakan Metode *International Roughness Index (IRI)* dan *Survey Distress Index (SDI)* (Studi Kasus Ruas Jalan Trans Sulawesi KM 93–KM 102, Kecamatan Atinggola, Kabupaten Gorontalo Utara)**
Muhammad A. Ziad Sumba, Frice L. Desei, Fadly Achmad 77
6. **Rancangan Penggunaan *Fly Ash* dan Pengaruhnya pada Kinerja Beton**
Rahmani Kadarningsih, Rifadli Bahsuan, Kasmat Saleh Nur 101
7. **Penilaian Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Proyek Konstruksi di Provinsi Gorontalo**
Maulin Wadipalapa, Moh. Yusuf Tuloli, Arfan Usman Sumaga 115

- 8. Kajian Pengendalian Banjir
dengan Normalisasi dan Tanggul pada Sungai Gunting
di Kabupaten Jombang, Jawa Timur**
Sumiadi, Andre Primantyo H., Nur Faizaturrohmah... 139

- 9. Analisis terhadap Persepsi Masyarakat
terhadap Alam dan Lingkungan di Desa Kaidundu Barat
Kabupaten Bone Bolango**
Beby Shintia Banteng, Arfan Usman Sumaga 159

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Swt., yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga *civil literacy* Jurusan Teknik Sipil dapat terbit. *Civil literacy* ini merupakan bunga rampai (*book chapters*) hasil karya ilmiah dari tenaga pengajar dan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo dan merupakan bagian dari salah satu program kegiatan Jurusan yaitu di bidang pendidikan.

Tulisan ini merupakan gabungan dari enam konsentrasi yang ada di Jurusan Teknik Sipil, yaitu: struktur, geoteknik, keairan, transportasi, manajemen rekayasa konstruksi dan lingkungan. Edisi kali ini mengambil judul ***Pengelolaan Air, Infrastruktur dan Lingkungan.***

Besar harapan kami dengan terbitnya *civil literacy* edisi ini dapat menambah referensi dan wawasan tentang ketekniksipilan bagi tenaga pengajar, mahasiswa, praktisi, serta dapat digunakan sebagai rujukan oleh berbagai pihak yang berkaitan dengan bidang Teknik Sipil.

**Ketua Jurusan Teknik Sipil
Universitas Negeri Gorontalo**

Dr. Moh. Yusuf Tuloli, S.T., M.T.

Analisis Kuantitas Danau Perintis untuk Air Irigasi di Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo

Rahmadani Said

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: andanis787@gmail.com

Marike Mahmud

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: marikemahmud@ung.ac.id

Aryati Alitu

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: aryati_alitu@ung.ac.id

Abstrak

Air dengan permukaan yang mengalir dan membentuk sebuah cekungan tanah yang berskala besar akan membentuk sebuah danau. Air danau memiliki banyak manfaat selain sebagai kebutuhan air sehari-hari, juga sebagai sarana sumber irigasi. Sumber irigasi yang dimaksud yaitu pengairan yang digunakan untuk mengairi pertanian. Tujuan penelitian ini menganalisis ketersediaan air di Danau Perintis untuk keperluan irigasi. Pengumpulan data, yaitu ada dua data yang diperlukan yaitu data primer berupa debit andalan dan data sekunder berupa data curah hujan dan data klimatologi. Pengolahan data curah hujan menggunakan satu stasiun hujan, yaitu stasiun Bone Alale lokasi di Desa Lombongo, Kec. Suwawa, Kab. Bone Bolango (koordinat 00° 32.048' LU, 123° 10.338' BT) yang letaknya terdekat dari lokasi penelitian. Data curah hujan yang digunakan dari tahun 2011–2020 (sepanjang 10 tahun terakhir) berupa data curah hujan bulanan dan hari hujan di stasiun Bolango-Bone Alale. Kuantitas air dianalisis dengan mencari debit

andalan menggunakan modifikasi F. J. Mock. Hasil analisis debit andalan menggunakan modifikasi F. J. Mock dengan probabilitas 80% diperoleh debit tertinggi terjadi pada bulan Juni, yaitu 0,080 m³/detik dan debit terendah terjadi pada bulan September, yaitu 0,014 m³/detik dengan rata-rata ketersediaan air sebesar 0,046 m³/detik.

Kata Kunci: kuantitas, air irigasi

A. Pendahuluan

Air merupakan senyawa penting yang menutupi hampir 71% permukaan bumi. Tidak dipungkiri kebutuhan dasar setiap makhluk bumi adalah air, terutama pada manusia. Air memiliki berbagai jenis yang ditentukan oleh sifat fisik, biologi, maupun kimia yang terkandung di dalamnya, salah satunya adalah air danau. Air dengan permukaan yang mengalir dan membentuk sebuah cekungan tanah berskala besar maka akan membentuk sebuah danau.

Beberapa penelitian terdahulu dengan judul analisis potensi debit yang tersedia, dengan menggunakan metode NRECA dan metode MOCK. Dalam penelitian ini jaringan irigasi yang sudah dibangun seluas $Q = 11,02 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan debit yang tersedia sebesar $11,91 \text{ m}^3/\text{detik}$ sehingga masih tersisa $Q = 0,89 \text{ m}^3/\text{detik}$, yang mampu memberi air seluas 541 [1]. Hasil penelitian yang dilakukan pada DAS asahan menunjukkan bahwa dengan probabilitas 90% yang paling minimum, yaitu sebesar $34,96 \text{ m}^3/\text{det}$ dapat memenuhi total kebutuhan air baik irigasi, domestik dan nondomestik sebesar $13.00 \text{ m}^3.\text{det}$ dapat memenuhi kebutuhan air di sepanjang sungai. [2]

Danau Perintis merupakan danau buatan yang berlokasi di Desa Huluduotamo Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango dengan luas sekitar 14,17 Ha. Selain dijadikan sebagai lokasi parwisata, Danau Perintis

juga dimanfaatkan masyarakat sebagai sarana sumber irigasi. Hal ini dikarenakan pengaliran air Sungai Alale dan Sungai Lomaya tidak dapat mencakup daerah irigasi yang berada di sekitaran danau sehingga masyarakat sekitar menggunakan air Danau Perintis untuk mengalir irigasi persawahan sekitar. Masyarakat sekitar dahulunya membuat penampungan tadah hujan yang ada di hilir untuk dimanfaatkan mengairi sawah ketika musim kering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis ketersediaan air Danau Perintis sebagai sumber air irigasi. Metode F. J. Mock digunakan untuk menghitung debit andalan sehingga diketahui ketersediaan air, baik air yang masuk maupun yang keluar danau.

B. Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Danau Perintis yang terletak di Desa Huluduotamo Kec. Suwawa Kab. Bone Bolango, dengan posisi geografis pada koordinat $0^{\circ}32'46.99''$ Lintang Utara dan $123^{\circ}08'40.95''$ Bujur Timur (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Dalam pengumpulan data, diperlukan dua data dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi debit DTA Danau Perintis.

Data sekunder meliputi data curah hujan dan data klimatologi.

Analisis kuantitas air Danau Perintis dilakukan terhadap data yang diperoleh dari data curah hujan dan rata-rata klimatologi yang terdekat dari lokasi penelitian. Melalui data tersebut akan diolah menjadi data evapotranspirasi rata-rata bulanan menggunakan metode Penman Modifikasi. Perhitungan debit andalan yang menggunakan pemodelan F. J. Mock untuk keperluan irigasi dengan metode Q80.

1. Perhitungan Hidrologi

Siklus hidrologi yaitu perputaran air dengan perubahan berbagai bentuk dan kembali pada bentuk awal. Hal ini menunjukkan bahwa volume air di permukaan bumi sifatnya tetap. Evapotranspirasi merupakan salah satu faktor terpenting pada siklus hidrologi, evaporasi sangat memengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi dan penggunaan konsumtif untuk tanaman. Perhitungan evapotranspirasi potensial dihitung dengan metode persamaan (modifikasi FAO) dengan data klimatologi terdekat sebagai stasiun referensi. Modifikasi FAO (*food and agriculture organization*) dapat ditentukan pada persamaan sebagai berikut:

$$E_{to} = c \cdot W (R_s - R_{n1}) + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \quad (1)$$

dengan,

E_{to} : indeks evapotranspirasi (mm),

c : angka koreksi,

W : faktor temperatur dan ketinggian,

R_n : radiasi bersih (mm/hari),

$f(u)$: fungsi kecepatan angin,
 e_a : tekanan uap jenuh (mbar),
 e_d : tekanan uap nyata (mbar),
 T : temperatur rata-rata (C),
 R_{n1} : radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)
 R_{ns} : radiasi bersih gelombang pendek (mm/hari)
 R_s : radiasi gelombang pendek (mm/hari),
 R_a : radiasi teraksial ekstra (mm/hari)
 R_h : kelembaban udara (%),
 n/N : lama penyinaran matahari terukur (%),
 U : kecepatan angin dalam km/hari

2. Hitungan Ketersediaan Air

Perhitungan mengenai ketersediaan air penting untuk mengetahui potensi sumber daya air di suatu wilayah [3]. Pemanfaatan air perlu diketahui sebagai informasi ketersediaan air andalan (debit, hujan). Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan besaran tertentu yang mempunyai kemungkinan terpenuhi yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Debit minimum sungai untuk keperluan irigasi ditetapkan 80%, sedangkan untuk keperluan air baku ditetapkan 90% [4].

Metode yang digunakan untuk analisis debit andalan adalah analisis probabilitas dari metode statistik rangking dengan rumus Weibul. Rumus Weibul yang digunakan untuk menetapkan rangking dapat dilihat secara detail pada persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{N+1} (2)$$

dengan,

P : probabilitas,
 M : nomor urut,
 N : jumlah data.

3. Debit Andalan

Prosedur analisis debit andalan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data. Apabila terdapat data debit dalam jumlah cukup panjang, analisis ketersediaan air dapat dilakukan dengan melakukan analisis frekuensi terhadap data debit tersebut. Ada beberapa metode untuk mendapatkan hubungan antara data debit dan data hujan, metode perhitungan yang umumnya digunakan yaitu metode FJ Mock. Pada prinsipnya, metode F. J. Mock memperhitungkan volume air yang masuk, keluar, dan disimpan di dalam tanah (*soil storage*).

Perhitungan debit andalan F. J. Mock dibagi ke dalam lima perhitungan utama, yaitu perhitungan evapotranspirasi aktual, *water balance* atau keseimbangan air, *run off* dan air tanah, total volume tersimpan dan aliran permukaan. Apabila data debit bulanan tersedia dalam beberapa tahun, penentuan debit andalan dapat dilaksanakan berdasar debit tahunan atau debit bulanan atau dua mingguan.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Analisis Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air atau debit andalan pada daerah tangkapan air (DTA) Danau Perintis menggunakan metode F. J. Mock, dikarenakan tidak tersedianya data debit Danau Perintis. Menganggap bahwa hujan yang jatuh pada *catchment area* sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi *direct run off* dan sebagiannya lagi akan masuk ke dalam tanah yang disebut dengan infiltrasi.

Hasil analisis luas Daerah Tangkapan Air (DTA) dilakukan dengan *software Arc Gis* didapat luas Danau Perintis, yaitu seluas 4,01 km². Pengolahan data curah hujan menggunakan satu stasiun hujan yaitu stasiun Bone Alale lokasi di Desa Lombongo, Kecamatan Suwawa, Kabupaten Bone Bolango (Koordinat 00° 32.048' LU, 123° 10.338' BT) yang letaknya terdekat dari lokasi penelitian. Data curah hujan yang digunakan dari tahun 2011-2020 (sepanjang 10 tahun terakhir) berupa data curah hujan bulanan dan hari hujan di stasiun Bolango-Bone Alale, seperti ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 2.

Tabel 1

Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Bolango-Bone Alale

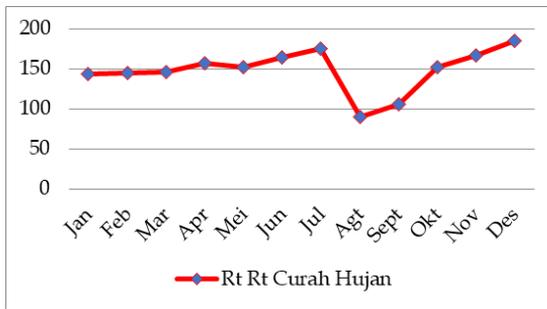
No Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1 2011	212.8	190,2	198.7	133,8	134.2	180.2	38.8	77.4	138.7	175.5	127.5	201.4
2 2012	161.8	105.6	222.2	243,9	26.1	29.0	278.6	71.9	0.0	422.3	259.7	397.3
3 2013	62.0	180,6	157.8	162,7	225.3	146.2	178.3	147.8	73.7	20.5	140.4	292.0
4 2014	62.0	180,6	157.8	162,7	225.3	146.2	178.3	147.8	73.7	20.5	140.4	292.0
5 2015	153.8	129.0	168.4	57.6	170.5	161.5	20.0	0.0	0.0	39.9	224.3	81.1
6 2016	175.4	75.5	22.9	132,6	297.9	253.0	139.4	48.3	168.4	333.8	257.7	48.7
7 2017	188.1	273.8	165.5	109.6	155.7	260.7	184.1	158.3	258.9	87.2	106.2	45.4
8 2018	277,2	108.2	205.5	242.5	92.2	143.3	104.2	67.4	10.3	212.5	167.1	251.9
9 2019	69.0	72,6	45.5	182.6	48.5	87.3	33.4	10.8	6.0	138.6	74.8	174.5
10 2020	79,5	135.2	115,9	145.2	151.2	239.7	594.9	171.9	325.0	72.9	171.7	68.9
Rata-Rata	144,2	145,1	146.0	157.3	152.7	164.7	175.0	90.2	105.5	152.4	167.0	185.3

Tabel 2

Data Hari Hujan Bolango-Bone Alale

No Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1 2011	20	18	20	15	13	15.0	3.0	5.0	10.0	12.0	16.0	13.0
2 2012	14	12	13	24	7	5.0	22.0	7.0	0.0	12.0	18.0	22.0

3	2013	8	14	8	22	22	7.0	18.0	15.0	6.0	3.0	11.0	18.0
4	2014	9	6	10	12	15	11.0	6.0	20.0	1.0	0.0	16.0	14.0
5	2015	13	15	11	10	7	13.0	3.0	0.0	0.0	4.0	15.0	10.0
6	2016	14	6	4	13	19	13.0	15.0	8.0	9.0	13.0	14.0	9.0
7	2017	18	14	15	8	19	15.0	13.0	14.0	17.0	9.0	9.0	5.0
8	2018	16	10	12	20	18	11.0	6.0	2.0	3.0	12.0	11.0	19.0
9	2019	14	8	5	10	9	13.0	6.0	3.0	1.0	16.0	4.0	12.0
10	2020	10	13	11	11	14	15.0	27.0	14.0	18.0	12.0	17.0	6.0



Gambar 2 Data Curah Hujan Rata-Rata

Berdasarkan standar perhitungan data curah hujan bahwa yang menggunakan satu stasiun curah hujan harus dikalikan dengan faktor reduksi sesuai dengan luas DTA. Dalam hasil analisis luas DTA Danau Perintis yaitu 4,01 km², setelah dimasukkan dalam grafik faktor reduksi pada Lampiran 4 yang didapat nilainya adalah 1. Untuk itu, perhitungan curah hujan tetap atau tidak berubah.

2. Analisis Evapotranspirasi

Hasil perhitungan evapotranspirasi berdasarkan data klimatologi yang meliputi suhu, kelembaban udara, penyinaran matahari, dan kecepatan angin. Data tersebut diolah menjadi data evapotranspirasi rata-rata bulanan yang menggunakan metode Penman Modifikasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4
Data Rata-rata Klimatologi Bulanan

No Jenis Data	Satuan	Rerata Tiap Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1 Suhu (T)	°C	27.1	27.1	27.4	27.7	27.1	27.2	26.8	26.9	26.9	26.2	27.8	27.6
2 Kelembaban Relatif (RH)	%	90.2	90.2	89.5	87.2	88.7	89.7	89	87.1	87.6	89.5	87.9	89.7
3 Lama Penyinaran (N)	%	42.9	42.9	49.2	51.6	55.5	45.6	48.8	55.9	58.3	48.4	49.5	42.1
4 Kecepatan Angin (μ)	m/det	50.5	50.2	52.5	44.1	39.6	38.3	39.7	43.2	41.2	41.7	49.2	46.5

Analisis evapotranspirasi potensial dengan menggunakan metode Penman modifikasi dan menggunakan data-data yang meliputi suhu rerata bulanan, kelembaban relatif, lama penyinaran, kecepatan angin, letak lintang daerah, dan angka koreksi.

3. Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit yang diharapkan selalu tersedia sepanjang tahun dengan risiko kegagalan yang diperhitungkan sekecil mungkin. Apabila ditetapkan debit andalan 90% maka risiko kegagalannya adalah 10%. Hal dapat terjadi pada debit pengambilan lebih kecil dari pada debit yang diperhitungkan. Perhitungan debit andalan menggunakan metode statistik dilakukan apabila data tersedia. Metode Mock adalah suatu metode untuk memperkirakan keberadaan air berdasarkan konsep *water balance* [5]. Perhitungan debit andalan yang menggunakan pemodelan modifikasi F. J. Mock sehingga didapat debit DTA Danau Perintis ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5
Debit DTA Danau Perintis

No	Tahun	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	2011	0.08	0.14	0.33	0.08	0.08	0.13	0.04	0.05	0.06	0.09	0.06	0.06
2	2012	0.20	0.15	0.14	0.16	0.09	0.08	0.16	0.09	0.06	0.23	0.16	0.36
3	2013	0.05	0.12	0.08	0.09	0.08	0.08	0.10	0.07	0.04	0.02	0.06	0.11
4	2014	0.05	0.05	0.07	0.05	0.06	0.08	0.03	0.11	0.04	0.03	0.07	0.12
5	2015	0.07	0.07	0.09	0.04	0.09	0.09	0.02	0.01	0.01	0.02	0.08	0.05
6	2016	0.34	0.08	0.05	0.08	0.14	0.14	0.10	0.06	0.12	0.17	0.15	0.08
7	2017	0.12	0.14	0.12	0.08	0.10	0.13	0.14	0.11	0.13	0.08	0.08	0.05
8	2018	0.14	0.30	0.09	0.13	0.08	0.10	0.07	0.05	0.03	0.07	0.11	0.11
9	2019	0.03	0.03	0.02	0.30	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.05	0.03	0.08
10	2020	0.08	0.11	0.07	0.09	0.08	0.10	0.35	0.18	0.23	0.13	0.17	0.09
	Rata-Rata	0.30	0.30	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.07	0.07	0.09	0.10	0.11
	Max	0.20	0.15	0.14	0.16	0.14	0.14	0.35	0.18	0.23	0.23	0.17	0.36
	Min	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05

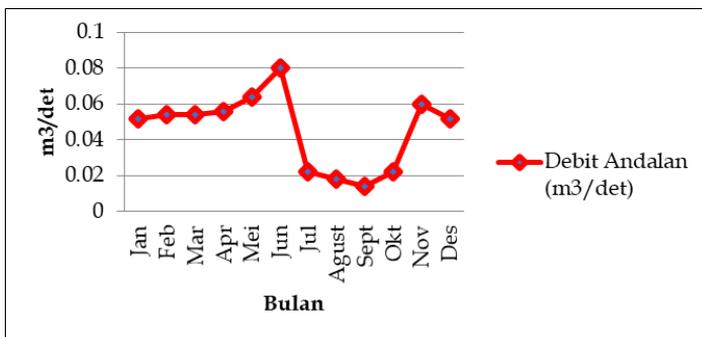
Berdasarkan Tabel 5 dihitung debit andalan untuk keperluan penyediaan air irigasi yaitu sebesar 80%, yang mengurutkan nilai terbesar sampai terkecil agar dapat menentukan kemungkinan terpenuhi atau tidaknya debit andalan 80%. Dengan menggunakan metode Q_{80} debit andalan untuk irigasi bisa didapat. Berikut rekapitulasi perhitungan debit andalan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6
Rekapitulasi Debit Andalan (m^3/det)

No	m/(n+1)	P(%)	Rerata Tiap Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
1	0.09	9.09	0.20	0.15	0.14	0.16	0.14	0.14	0.35	0.18	0.23	0.23	0.17	0.36
2	.018	18.18	0.14	0.14	0.13	0.13	0.10	0.13	0.16	0.11	0.13	0.17	0.16	0.12
3	0.27	27.27	0.14	0.14	0.12	0.10	0.09	0.13	0.14	0.11	0.12	0.13	0.15	0.11
4	0.36	36.36	0.12	0.12	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.06	0.09	0.11	0.11
5	0.45	45.45	0.08	0.11	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09
6	0.55	54.55	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.04	0.07	0.08	0.08
7	0.64	63.64	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.07	0.08
8	0.73	72.73	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.06	0.06
9	0.82	81.82	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.06	0.05

10	0.91	90.91	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05
Bulan		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des	
Q80		0.052	0.054	0.054	0.056	0.064	0.080	0.022	0.018	0.060	0.022	0.060	0.052	
Rata-Rata Q80=0.046														

Debit andalan yang digunakan untuk irigasi di Danau Perintis yaitu debit dengan probabilitas 80%, maka dihitung dengan cara menginterpolasi nilai keandalan di antara 72,73% dan 81,82%.



Gambar 4 Debit Andalan Q₈₀

Diperoleh debit andalan dengan probabilitas 80% berkisar antara 0,014 m³/detik hingga 0,080 m³/detik. Debit tertinggi terjadi pada bulan Juni sebesar 0,080 m³/detik dan terendah terjadi pada bulan September, yaitu 0,014 m³/detik dengan rata-rata ketersediaan air sebesar 0,046 m³/detik seperti ditunjukkan pada Tabel 6, dan Gambar 4. Perlu usaha untuk menjamin ketersediaan air Danau Perintis agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Penelitian yang dilakukan di Danau Toba, menunjukkan bahwa keluaran air dari Tahun 1997–2006 jumlah keluaran lebih besar dari jumlah air yang masuk [6]. Sebaliknya, pada Tahun 1998–2004 air yang masuk lebih tinggi dibandingkan dengan yang keluar. Penelitian yang sama yang dilakukan di DAS Lako [7] menunjukkan

bahwa nilai debit andalan dengan probabilitas 90% untuk DAS Loko berada antara 0 m³/det -0.849 m³/det dan DAS Teluk Kamat berada antara 0 m³/det 0,893 m³/det. Besarnya debit andalan pada bulan-bulan tertentu cenderung mendekati 0 m³/det sehingga perlu dilakukan usaha pembangunan embung untuk dapat menampung dan menjamin ketersediaan air dalam memenuhi kebutuhan air baku di Kecamatan Kotawaringi Lama.

Penelitian oleh di Sungai Cisadane menunjukkan ketersediaan air andalan yang digunakan disesuaikan dengan keberadaan daerah irigasi. Jika terdapat daerah irigasi, maka ketersediaan air andalan menggunakan debit andalan 80%. Akan tetapi, jika tidak terdapat daerah irigasi, maka ketersediaan air andalan menggunakan 90%. Hasil hitung di Sungai Cisadane Tahun 2005–2014 dengan metode F. J. Mock diperoleh besarnya di hulu 5,7 m³/det, wilayah tengah 8,3m³/det, dan hilir 8.9 m³/det [8]. Hasil perhitungan debit andalan Sungai Cisadane sangat tinggi dibanding dengan kondisi di Danau Perintis.

D. Penutup

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut: debit andalan Q₈₀ memiliki nilai antara 0,014 m³/detik hingga 0,080 m³/detik. Debit tertinggi terjadi pada bulan Juni dan debit terendah terjadi pada bulan September dengan rata-rata ketersediaan air sebesar 0,046 m³/detik.

Referensi

- [1] Hamzah and A Yusviawan, Jurusan Teknik Sipil Pengairan, Makassar, Skripsi 2018.
- [2] Asril Zevri and Faiz Isma, "Studi Keseimbangan Air (Water Balanced Daerah Aliran Sungai Asahan)," *TerasJurnal*, vol. 11, no. 1-16, Maret 2021.
- [3] C Asdak, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press, 2007.
- [4] B Triadmodjo, *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2009.
- [5] Sutrisno and Ferdhy Setiawan Saputra, "Studi Penerapan Metode Mock dan Statistik Untuk Menghitung Debit Andalan PLTA Bakaru Kabupaten Pinrang," *Teknik Hidro*, vol. 11, no. 2, pp. 38-47, Agustus 2018.
- [6] Htland Sihontang, M Yanuar J Purwanto, Widiatmaka, and Sambas Basuni, "Model Konservasi Sumber Daya Air Danau Toba," *Pengelolaan Sumber Daya Alam*, vol. 2, no. 2, pp. 65-72, Desember 2012.
- [7] Asril Zevri, "Analisis Kebutuhan Kapasitas Tampung Embung Danau Asam di Kabupaten Kotawaringin Barat," *Sumber Daya Air*, vol. 17, no. 83-94, November 2021.
- [8] Teddy W Sudinda, "Penentuan Debit Andalan Dengan Metode FJ Mock di Daerah Aliran Sungai Cisadane," *Air Indonesia*, vol. 11, no. 1, pp. 15-24, April 2019.

Optimasi Pola Tanam Daerah Irigasi Lomaya Menggunakan Program Linear

Abdul Wahab Ihsan Lihawa
Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: lihawakokon@gmail.com

Barry Y. Labdul
Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: barry.labdul@ung.ac.id

Aryati Alitu
Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: aryati_alitu@ung.ac.id

Abstrak

Irigasi adalah suatu bentuk usaha untuk mendatangkan air dengan menyediakan, mengatur pengaliran, serta pembuangan air yang teratur dengan membuat bangunan berupa saluran untuk mengalirkan air ke wilayah pertanian, ladang, ataupun sungai dengan batasan tertentu. Daerah Irigasi Lomaya seluas 2.599 ha, memerlukan perawatan dan pemeliharaan secara berkala agar dapat menjamin keselamatan dan kelestarian jaringan irigasi dengan mengoptimalkan pola tanam irigasi dan membandingkannya dengan kondisi eksisting. Data yang digunakan berupa data curah hujan, klimatologi, skema jaringan, dan pola tanam DI Lomaya. Analisis data berupa analisis curah hujan efektif, debit andalan, dan evapotranspirasi. Hasil pengolahan data selanjutnya dioptimalkan dengan metode program linear menggunakan aplikasi *QM for Windows 5*. Hasil analisis debit berdasarkan modifikasi F. J. Mock diperoleh debit 1,64–34,8 m³/detik, dan ketersediaan air pada MT 1 sebesar 24.428.695 m³, untuk MT 2 sebesar 26.630.941 m³, dan untuk MT 3 sebesar 27.930.047 m³ sehingga jumlah ketersediaan air untuk satu tahun sebanyak 78.989.684 m³.

Kebutuhan air padi MT 1 sebesar 11.638,94 m³/ha, untuk MT 2 sebesar 11.186,46 m³/ha dan untuk MT 3 sebesar 10.620,59 m³/ha. Optimasi menggunakan *QM for Windows 5* mendapatkan hasil optimal untuk alternatif awal tanam I dengan MT 1 sebesar 2.098,87 ha, MT 2 sebesar 2.380,74 ha, dan MT 3 sebesar 2.599 ha. Total pendapatan setelah dioptimalkan sebesar Rp60.966.029.290,00 dan untuk kondisi eksisting sebesar Rp57.524.303.448,00 sehingga keuntungan produksi sebesar Rp3.441.725.842,00 per tahun dengan pola tanam padi-padi-padi.

Kata Kunci: daerah irigasi lomaya, optimasi, program linear

A. Pendahuluan

Penyimpangan dalam pelaksanaan tanam yang diterapkan sering kali tidak sesuai dengan pola tanam rencana atau rencana tata tanam detail yang diusulkan. Kasus ini umumnya terjadi pada saat musim kemarau petani lebih banyak menanam jagung dari pada tanaman padi sehingga tanaman jagung yang ditanam melebihi dari luas yang direncanakan. Kondisi semacam ini tentunya akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dari tanaman padi itu sendiri yang pada akhirnya akan menyebabkan hasil produksi yang kurang maksimal. Hal ini akan menyebabkan air yang tersedia tidak dapat mencukupi kebutuhan irigasi dan berakibat pemberian air tidak merata [1].

Kesalahan menentukan pola tanam pada daerah irigasi merupakan salah satu faktor yang menyebabkan tidak maksimalnya hasil panen. Distribusi air dan pengalokasikan air pada daerah irigasi harus dijadwalkan sebaik mungkin dengan menyesuaikan ketersediaan air yang ada dengan menggunakan program Linear. Program ini sering digunakan dalam penyelesaian problema-

problema alokasi sumber daya, seperti dalam bidang *manufacturing*, pemasaran, keuangan, personalia, administrasi, dan lain sebagainya. [2]

Sungai Bolango terletak di Daerah Gorontalo yang memiliki dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau yang menyebabkan curah hujannya terbatas pada bulan tertentu dan memengaruhi debit di Sungai Bolango yang menjadi sumber utama pengambilan air untuk daerah Irigasi Lomaya. Akibatnya pemanfaatan areal potensial tanam sebesar 2.599 ha tidak dapat berproduksi secara maksimal. Untuk mengoptimalkan air irigasi pada pola tanam padi agar mendapat hasil panen yang maksimal, maka perlu dilakukan analisis optimasi pola tanam pada daerah Irigasi Lomaya.

Penelitian-penelitian tentang analisis pola tanam sudah pernah dilakukan sebelumnya di antaranya oleh Wirosodarmo dkk. (2014) melakukan penelitian tentang studi optimasi pola tanam pada daerah Irigasi Mrican Kanan dengan menggunakan *program linier*. Direncanakan empat alternatif pola tanam, yaitu padi-padi-padi (X_1), padi-padi-palawija (X_2), padi-palawija-palawija (X_3), dan tebu (X_4). Model matematis fungsi tujuan optimasi menjadi $Z = (P_1.X_1) + (P_2.X_2) + (P_3.X_3) + (P_4.X_4)$, dengan P sebagai luas lahan yang akan dioptimalkan untuk mencapai keuntungan maksimum. Dari 100% penggunaan lahan didapatkan luas lahan optimal untuk X_1 sebesar 19.53%, X_2 sebesar 80.47%, untuk X_3 dan X_4 adalah 0. Berdasarkan hasil optimasi menggunakan *software QM for Windows 2* didapatkan keuntungan sebesar Rp 157.026.904.661,00 pertahun. [3]

B. Kajian Teoretis

Irigasi adalah suatu bentuk usaha untuk mendatangkan air dengan menyediakan, mengatur pengaliran, serta pembuangan air yang teratur dengan membuat bangunan berupa saluran untuk mengalirkan air ke wilayah pertanian, ladang ataupun sungai dengan batasan tertentu. Menurut UU No. 7 Tahun 2004 Pasal 41 Ayat 1 tentang Sumber Daya Air, irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan, dan pembuangan air untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak.

1. Efisiensi Irigasi

Saluran primer, sekunder, maupun tersier terdapat jumlah kehilangan air yang berbeda-beda di setiap daerah irigasi. Menurut standar perencanaan irigasi: KP-01 mengenai efisiensi untuk saluran primer, sekunder, dan tersier adalah saluran primer 90%; saluran sekunder 90% dan saluran tersier 85%. Total efisiensi irigasi adalah $90\% \times 90\% \times 80\% = 65\%$. [4]

2. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air bagi tanaman didefinisikan sebagai tebal air yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah air yang melalui evapotranspirasi suatu tanaman sehat, tumbuh pada areal yang luas, pada tanah yang menjamin cukup lengas tanah, kesuburan tanah, dan lingkungan hidup tanaman cukup baik sehingga secara potensial tanaman akan berproduksi secara baik [5]. Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$KAI = \left(\frac{ETC + IR + WLR + P.Re}{EI} \right) \times A \quad (1)$$

dengan,

KAI : kebutuhan air irigasi (liter/detik),

Etc : kebutuhan air konsumtif (mm/hari),

IR : kebutuhan air untuk penyiapan lahan
(mm/hari),

WLR : kebutuhan air untuk mengganti lapisan air
(mm/hari),

P : perkolasi (mm/hari),

Re : hujan efektif (mm/hari),

EI : efisiensi irigasi (%),

A : luas areal irigasi (ha).

3. Curah Hujan Efektif

Curah hujan dinyatakan oleh ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat datar, tidak menguap, tidak mengalir, dan tidak meresap (sebesar 80%).

$$R_{80} = \frac{m}{n+1} m = R_{80} x (n + 1)(2)$$

4. Penyiapan Lahan

Perhitungan penyiapan lahan menggunakan metode Van de Goor dan Zijlsha (1968), didasarkan pada laju air konstan dalam lt/det/ha selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut:

$$IR = M \cdot e^k / (e^k - 1)(3)$$

$$M = E_o + P = 1,1 \cdot E_{To} + P(4)$$

$$K = M \cdot T / S(5)$$

5. Kebutuhan Air Pengganti Lapisan Air

Besar kebutuhan air pengganti lapisan air/*Water Layer Requirement* (WLR) ditetapkan berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi 2010, KP-01 adalah 50 mm/bulan (atau 3,3 mm/hari selama 1/2 bulan) selama satu dan dua bulan setelah transplatasi.

6. Neraca Air Model F. J. Mock

Komponen-komponen proses dalam model Mock dibagi menjadi tiga bagian yaitu hujan dan evapotranspirasi, keseimbangan air di permukaan tanah, dan tampungan air tanah [6]. Untuk menghitung *water balance* metode F. J. Mock mengikuti langkah-langkah yaitu: 1) Menghitung *limited evapotranspiration* (E_t); 2) Menghitung *water surplus* (w_s) dan 3) Menghitung besarnya *base flow* (aliran dasar).

7. Optimasi Program Linear

Program linear merupakan model matematis perumusan masalah umum dalam pengalokasian sumber daya untuk berbagai kegiatan. Dalam program linear terdapat dua macam fungsi, yaitu fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi batasan (*constrain function*). Fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan tujuan/sasaran di dalam permasalahan program linear yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal dari sumber daya yang ada, untuk memperoleh keuntungan yang maksimal atau biaya yang optimal. Pada umumnya, nilai yang akan dioptimalkan dinyatakan sebagai Z . Sementara itu, fungsi batasan merupakan bentuk penyajian secara matematis batasan-batasan kapasitas yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan [7]. Persamaan optimasi program linear adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

$$Z = A.X_1 + B.X_2 + C.X_3 + \dots \text{dst} \quad (6)$$

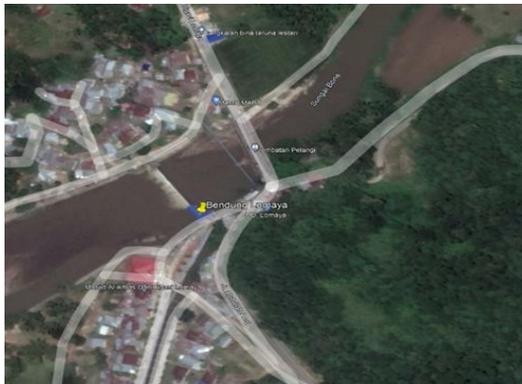
Fungsi kendala:

$$V_1.X_1 + V_2.X_2 + V_3.X_3 + \dots \leq V_b \text{ batas maksimum debit andalan} \quad (7)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq \text{batas maksimum luas areal yang dioptimasi } X_1, X_2, X_3 \geq 0 \quad (8)$$

C. Metode Penelitian

Lokasi penelitian berada di Daerah Irigasi Lomaya dengan luas 2.932 Ha. Secara geografis berada pada posisi $0^{\circ}37' \text{ LU}-0^{\circ}32' \text{ LS}$ dan $123^{\circ}05' \text{ BT}-123^{\circ}01' \text{ BT}$. Sumber air yang digunakan berasal dari Sungai Bolango. Daerah Irigasi ini memiliki saluran primer dengan panjang 5.120 meter, saluran sekunder 25.733 meter dan memiliki 25 bangunan pembagi dan bangunan sadap. Lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data-data sekunder yang digunakan:

1. Skema jaringan irigasi daerah Irigasi Lomaya untuk mengetahui daerah suplai air irigasi dan besar luasannya.
2. Data curah hujan selama sepuluh tahun terakhir yang akan digunakan untuk menghitung curah hujan efektif dan analisis hidrologi.
3. Data klimatologi untuk mengolah data besarnya evapotranspirasi di daerah Irigasi Lomaya.

4. Data pola tanam pada daerah Irigasi Lomaya yang digunakan sebagai acuan untuk perencanaan pola tanam yang baik.

Analisis perhitungan:

1. Analisis hidrologi: curah hujan efektif dan debit andalan. Curah hujan efektif dan debit andalan masing-masing dihitung dengan menggunakan metode R80.
2. Analisis evapotranspirasi menggunakan metode Penman modifikasi FAO.
3. Analisis pola tanam sebagai alternatif yang akan diambil guna mencapai suatu kondisi yang optimal.
4. Analisis kebutuhan air dari tiap-tiap alternatif pola tanam yang disajikan.

Hasil analisis kebutuhan air dari tiap-tiap alternatif yang diambil dan volume andalan menjadi input dari program linear untuk mendapatkan pola tanam yang optimal. Langkah-langkah melakukan optimasi:

1. Tentukan model optimasi.
2. Tentukan peubah yang akan dioptimasi.
3. Menghitung nilai batasan/kendala.
4. Menentukan model matematika.
5. Mengoperasikan model optimasi untuk memperoleh luasan tertentu sehingga diperoleh keuntungan maksimum.

D. Hasil dan Pembahasan

1. Curah Hujan

Data hujan di stasiun yang berdekatan dan berada dalam cakupan areal Irigasi Lomaya yaitu stasiun Bolango Longalo, stasiun Bolango Boidu, dan stasiun

Dulamayo Selatan. Data yang digunakan merupakan data hujan selama sepuluh tahun terakhir yaitu dari tahun 2010 sampai dengan 2019. Curah hujan rata daerah dihitung menggunakan cara rerata aljabar dari ketiga stasiun tersebut. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1
Rekapitulasi Rerata Data Curah Hujan

Bulan	Periode	Hujan Rerata 3 Stasiun									
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Januari	I	36,90	46,47	44,83	10,50	73,27	48,07	36,47	25,73	100,13	23,57
	II	83,57	16,93	17,23	36,60	41,87	33,33	70,80	57,53	67,93	40,13
	III	20,33	114,10	67,17	50,00	3,50	12,40	33,33	75,97	8,97	29,60
Februari	I	5,43	176,58	17,40	78,03	33,33	102,13	7,60	47,77	40,10	20,73
	II	61,83	46,90	47,17	37,63	18,23	9,07	0,00	42,73	32,83	2,87
	III	0,00	51,57	110,23	44,90	8,13	9,07	6,50	101,33	26,63	19,73
Maret	I	0,20	38,40	102,67	4,40	0,00	5,87	18,43	30,60	94,73	29,90
	II	0,23	95,83	19,77	69,23	43,20	22,90	0,43	46,27	5,57	15,80
	III	70,83	131,20	48,67	55,20	30,93	19,47	1,57	42,20	93,20	31,23
April	I	58,60	43,60	58,10	47,53	12,60	46,70	17,17	43,33	28,10	0,50
	II	50,43	42,87	73,90	57,60	30,77	39,80	71,57	24,10	56,60	50,07
	III	198,33	96,67	24,70	71,80	82,63	48,73	44,30	44,67	104,87	121,80
Mei	I	44,83	53,03	60,10	78,20	81,77	107,27	148,00	70,07	15,27	72,20
	II	144,17	44,90	82,00	170,63	91,10	14,03	29,93	36,90	16,83	16,30
	III	77,87	11,67	0,97	98,70	27,50	41,17	72,07	73,03	217,73	28,27
Juni	I	76,80	24,00	1,03	21,03	44,73	122,40	82,80	129,57	24,97	44,87
	II	177,77	60,33	42,53	71,83	40,10	66,60	70,20	45,40	9,40	47,23
	III	46,30	16,53	0,30	17,97	58,03	54,07	122,17	41,67	105,90	0,17
Juli	I	86,67	0,00	97,63	51,50	0,00	0,30	32,10	91,83	96,17	11,73
	II	107,17	33,23	139,97	144,50	6,20	2,00	91,43	28,27	0,00	14,00
	III	120,73	4,63	56,20	26,13	0,00	8,97	13,63	29,00	2,93	2,33
Agustus	I	105,83	0,00	0,00	48,90	64,97	0,00	32,40	6,13	3,67	0,00
	II	103,27	1,10	7,10	57,90	74,73	0,00	10,33	80,07	48,83	4,20
	III	57,23	7,73	52,30	70,20	13,23	1,77	25,13	46,83	0,63	5,97
September	I	125,07	5,17	7,80	9,93	1,87	0,00	19,03	35,90	2,63	5,80
	II	116,23	37,63	7,63	54,40	1,67	0,00	66,30	14,77	2,97	11,70
	III	129,30	0,00	16,40	0,00	1,40	0,00	86,10	52,67	0,00	24,80
Oktober	I	89,70	27,23	0,00	2,13	0,03	0,00	49,97	35,63	87,37	15,97
	II	28,30	62,43	67,17	23,73	4,10	0,00	15,83	37,13	35,30	36,70
	III	153,67	106,43	64,80	28,07	28,10	115,63	200,33	40,13	0,00	47,13
November	I	55,83	29,53	144,17	56,40	43,87	111,83	38,80	32,77	51,73	8,67
	II	85,17	38,60	54,87	19,17	89,97	64,17	48,57	21,20	52,77	17,33
	III	41,13	77,90	85,37	71,30	139,23	92,27	54,50	77,33	25,23	57,90
Desember	I	141,67	79,23	117,70	92,40	62,10	36,40	33,77	30,93	126,97	87,53
	II	71,33	13,57	133,77	123,13	62,87	42,27	38,83	23,00	2,03	73,53
	III	74,20	75,60	82,43	28,57	80,50	0,07	22,23	14,00	75,00	23,53

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa jumlah nilai curah hujan 15 harian tertinggi terjadi pada tahun 2010 dan jumlah nilai curah hujan 15 harian terendah terjadi pada tahun 2019.

Pengolahan data curah hujan dilakukan uji konsistensi. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah data curah hujan telah berubah

atau menyimpang. Pengujian konsistensi data curah hujan menggunakan metode kurva massa ganda, yaitu membandingkan data curah hujan tahunan suatu stasiun hujan tertentu dengan data curah hujan rata-rata stasiun curah hujan lainnya pada periode waktu yang sama. Berdasarkan hasil pengujian konsistensi data curah hujan untuk tiga stasiun diperoleh nilai determinasi (R^2) untuk masing-masing stasiun hujan mendekati 1 (satu) atau mendekati 100%. Hal ini menunjukkan bahwa data curah hujan untuk ketiga stasiun saling berpengaruh sehingga dapat disimpulkan data hujan yang diperoleh sudah *valid*. Nilai koefisien determinasi tiap stasiun dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2
 Nilai Koefisien Determinasi (R^2)

Nama Stasiun	Nilai R^2
Bolango Longalo	0,9996
Bolango Boidu	0,9992
Dulamayo Selatan	0,9988

Curah Hujan Andalan dan Curah Hujan Efektif Padi

Curah hujan andalan digunakan untuk menentukan curah hujan efektif yang merupakan curah hujan yang digunakan untuk pertumbuhan tanaman atau kebutuhan air tanaman padi. Curah hujan tersebut digunakan untuk mengganti kehilangan air yang terjadi akibat evapotranspirasi, perkolasi, kebutuhan penyiapan lahan dan pengolahan lahan. Curah hujan andalan untuk tanaman padi dihitung berdasarkan data hujan yang tersedia dengan peluang andalan sebesar 80%. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3
Curah Hujan Andalan dan Curah Hujan Efektif

Bulan	Periode	R_{80}	Curah Hujan Padi (mm)	Jumlah Hari	Recurah Hujan Padi (mm/hari)
Januari	I	25,7	18,01	10	1,801
	II	33,3	23,33	10	2,333
	III	12,4	8,68	11	0,789
Februari	I	17,4	12,18	10	1,218
	II	9,1	6,35	10	0,635
	III	8,1	5,69	8	0,712
Maret	I	4,4	3,08	10	0,308
	II	5,6	3,90	10	0,390
	III	30,9	21,65	11	1,968
April	I	17,2	12,02	10	1,202
	II	39,8	27,86	10	2,786
	III	44,7	31,27	10	3,127
Mei	I	53,0	37,12	10	3,712
	II	16,8	11,78	10	1,178
	III	27,5	19,25	11	1,750
Juni	I	24,0	16,80	10	1,680
	II	42,5	29,77	10	2,977
	III	16,5	11,57	10	1,157
Juli	I	0,3	0,21	10	0,021
	II	6,2	4,34	10	0,434
	III	2,9	2,05	11	0,187
Agustus	I	0,0	0,00	10	0,000
	II	4,2	2,94	10	0,294
	III	6,0	4,18	11	0,380
September	I	2,6	1,84	10	0,184
	II	3,0	2,08	10	0,208
	III	0,0	0,00	10	0,000
Oktober	I	0,0	0,02	10	0,002
	II	15,8	11,08	10	1,108
	III	28,1	19,67	11	1,788
November	I	32,8	22,94	10	2,294
	II	21,2	14,84	10	1,484
	III	54,5	38,15	10	3,815
Desember	I	36,4	25,48	10	2,548
	II	23,0	16,10	10	1,610
	III	22,2	15,56	11	1,415

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa hujan andalan terendah September periode III tidak ada hujan (0) dan tertinggi pada bulan November periode

III 54,5 mm/hari. Sedangkan curah hujan efektif terendah terjadi pada bulan September periode ke III 0,002 mm/hari dan tertinggi pada November periode III 3,815 mm/hari.

2. Iklim dan Evapotranspirasi

Perhitungan iklim meliputi suhu, kecepatan angin, kelembaban relatif dan waktu paparan sinar matahari dapat digunakan untuk perhitungan evapotranspirasi. Data iklim yang digunakan adalah data iklim Kabupaten Gorontalo sepuluh tahun terakhir, kemudian diolah menjadi data evapotranspirasi rata-rata bulanan menggunakan metode Penman Modifikasi. Hasil rata-rata data bulanan iklim dan evapotranspirasi ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4
Iklim dan Evapotranspirasi

Bulan	T °C	Rh %	n/N %	U m/det	Eto mm/hr
Januari	27,04	90,28	41,76	53,68	4,26
Februari	27,01	90,72	50,81	53,84	4,78
Maret	27,44	89,85	51,39	53,55	4,50
April	27,88	89,87	51,25	46,93	4,40
Mei	27,51	89,20	56,87	43,45	4,09
Juni	27,04	90,18	44,55	40,89	3,48
Juli	26,70	89,22	45,93	44,99	3,84
Agustus	26,82	88,08	53,56	49,72	4,28
September	26,92	88,21	60,26	50,94	5,16
Oktober	26,39	83,94	49,08	51,25	4,80
November	27,68	87,71	48,10	49,85	4,89
Desember	27,52	89,69	43,73	50,39	4,53

Berdasarkan Tabel 4 didapat nilai evapotranspirasi tertinggi terjadi pada bulan September sebesar 5,16 mm/hr dan nilai evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Juni sebesar 3.48 mm/hr.

Hubungan antara data klimatologi menunjukkan bahwa semakin tingginya nilai evapotranspirasi maka nilai suhu udara, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan lama penyinaran matahari juga akan meningkat. Sedangkan apabila rendahnya nilai evapotranspirasi dipengaruhi oleh rendahnya kecepatan angin.

3. Debit Andalan

Analisis debit andalan menggunakan data debit dari Bendung Lomaya dengan pemodelan modifikasi F. J. Mock. Penentuan kemungkinan debit terpenuhi atau tidak terpenuhi dapat dilihat dari data debit yang sudah diamati dan disusun secara berurutan dari terbesar menuju terkecil. Debit andalan menggunakan Q_{80} dan hasilnya untuk debit tertinggi terjadi pada bulan Juni sebesar 11,68 m³/det dan terendah terjadi pada bulan September sebesar 3,38 m³/det. Hasilnya secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5
Debit Andalan Bendung Lomaya

No	Debit Bulanan (m ³ /dtk)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sep	Okt	Nov	Des
1	21,06	20,87	19,41	24,00	23,58	29,37	30,36	26,65	34,86	27,45	27,46	26,77
2	17,68	16,20	14,12	22,10	22,47	18,62	16,32	19,10	16,50	17,12	16,56	24,89
3	14,96	15,85	12,18	18,01	15,47	14,17	16,17	11,34	10,16	8,69	15,56	14,91
4	11,89	15,28	9,35	15,52	14,17	14,05	13,57	10,24	7,88	8,03	15,22	13,57
5	11,11	10,09	9,11	13,08	13,39	13,57	12,53	8,63	5,99	7,77	14,92	13,00
6	10,13	9,60	8,11	12,69	12,84	11,78	9,47	7,89	5,67	7,75	11,61	11,68
7	10,10	8,65	6,53	9,59	11,86	11,71	7,28	6,67	4,17	7,30	10,36	9,76
8	9,34	7,57	4,69	9,22	10,32	11,68	5,22	5,10	3,38	6,96	8,89	9,05
9	7,46	5,36	4,43	8,77	9,05	5,43	3,87	3,98	3,31	4,67	8,74	7,80
10	5,41	3,58	4,24	7,43	6,47	5,38	2,53	1,64	2,75	3,74	4,09	4,92

4. Kebutuhan Air dan Penyiapan Lahan

Tanaman padi membutuhkan banyak air agar tanah tetap dalam keadaan lunak dan gembur, untuk itu kondisi lahan untuk pembibitan harus lembab sehingga memadahi untuk persemaian yang baru tumbuh. Pengolahan lahan ini dilakukan antara 20

sampai dengan 30 hari sebelum masa tanam untuk keperluan tanaman agar sesuai dengan pertumbuhannya. Kebutuhan air untuk pengolahan tanah dipengaruhi oleh proses evapotranspirasi potensial. Besarnya air untuk penyiapan lahan bergantung pada kondisi tanah, lama penyiapan lahan dan pola tanam yang diterapkan.

Tekstur tanah di Desa Lomaya Kecamatan Tapa merupakan tanah lempung sehingga laju perkolasi di Daerah Irigasi Lomaya sebesar 1–3 mm/hari. Mengikuti kondisi eksisting di lapangan, laju perkolasi yang diambil sebesar 3 mm/hari. Masa penyiapan lahan di DI Lomaya dibutuhkan 30 hari sebelum masa tanam awal padi. Perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan selama satu tahun ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6
Perhitungan Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
1	Eto	mm/hr	4,26	4,78	4,50	4,40	4,09	3,48	3,84	4,28	5,16	4,80	4,89	4,53
2	Eo=Eto x 1,1	mm/hr	4,69	5,26	4,95	4,84	4,50	3,83	4,23	4,71	5,67	5,28	5,38	4,99
3	P	mm/hr	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
4	M=Eo+P	mm/hr	7,69	8,26	7,95	7,84	7,50	6,83	7,23	7,71	8,67	8,28	8,38	7,99
5	T	hr	31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00
6	S	mm	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
7	k=MT/s		0,79	0,77	0,82	0,78	0,77	0,68	0,75	0,80	0,87	0,86	0,84	0,83
8	LP=(M.e%)/(e%-1)		14,03	15,37	14,19	14,43	13,91	13,80	13,74	14,04	14,96	14,40	14,77	14,21
			1,62	1,78	1,64	1,67	1,61	1,60	1,59	1,62	1,73	1,67	1,71	1,65

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa kebutuhan air untuk penyiapan lahan terbesar terjadi pada bulan Februari sebesar 15,37 mm/hari dan terkecil terjadi pada bulan Juli sebesar 13,74 mm/hari.

5. Kebutuhan Air Irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi berdasarkan tujuh alternatif yang direncanakan yaitu alternatif awal tanam I, alternatif awal tanam II, alternatif awal tanam III, alternatif awal tanam IV,

alternatif awal tanam V, alternatif awal tanam VI, dan alternatif awal tanam VII, pada setiap musim tanam di daerah Irigasi Lomaya yang ditanami padi, jumlah kebutuhan air irigasi setiap tanaman selama setahun penuh dipisahkan menjadi tiga musim tanam yaitu musim tanam I, II dan III. Perhitungan air irigasi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7.

a. Kebutuhan Air Bersih di Sawah (NFR)

Kebutuhan air irigasi di sawah ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain penyiapan lahan, penggunaan konsumtif, perkolasi, penggantian lapisan air, curah hujan efektif, dan pola tanam. Nilai kebutuhan bersih air di sawah dapat dilihat pada Tabel 7. Hasilnya dapat dilihat bahwa nilai kebutuhan bersih air di sawah dari terkecil sampai terbesar adalah pola tanam I sebesar $0.636 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{ha}$, pola tanam II sebesar $1.123 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{ha}$, dan pola tanam III sebesar $1.396 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{ha}$. Pada awal pola tanam I memiliki kebutuhan air terbesar karena tanaman padi banyak membutuhkan air dibandingkan tanaman palawija dan tebu.

b. Kebutuhan Air Irigasi di Intake (DR)

Kebutuhan air di intake ditentukan dengan memperhitungkan faktor efisiensi irigasi secara keseluruhan dan tidak terlepas dari kebutuhan air di sawah. Nilai kebutuhan air irigasi di intake pada masing-masing pola tanam tiap bulan dapat dilihat pada Tabel 7. Hasilnya didapat kebutuhan air irigasi di intake (DR) terbesar terjadi pada pola tanam III sebesar $2,148 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{ha}$, kebutuhan air terbesar kedua terjadi pada pola tanam II sebesar

1,727 m³/dt/ha, kebutuhan air terbesar ketiga terjadi pada pola tanam III sebesar 0.978 m³/dt/ha.

Tabel 7
Perhitungan Kebutuhan Air Bersih Irigas NFR dan DR Untuk Tanaman Padi

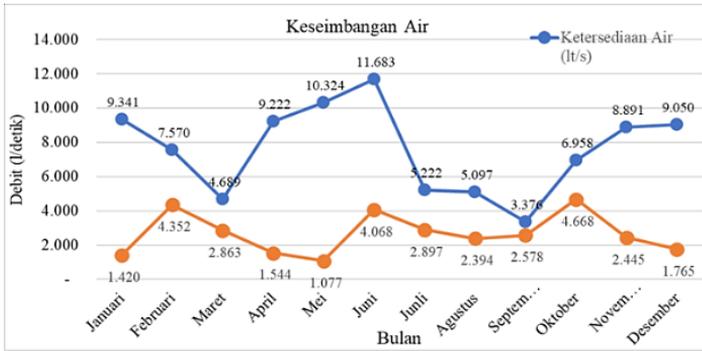
No	Pada	November	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

6. Keseimbangan Air

Keseimbangan air dapat dihitung dengan membandingkan debit tersedia dengan kebutuhan air sawah tiap alternatif pola tanam yang direncanakan. Jumlah keseimbangan air untuk tiap bulan ditampilkan pada Tabel 8 Gambar 2.

Tabel 8
Keseimbangan Air Daerah Irigasi Lomaya

Bulan	Ketersediaan Air (l/detik)	Kebutuhan Air Luas Lahan 2.599 ha (l/detik)	Keseimbangan Air (l/detik)
Januari	9.341	1.420	7.922
Februari	7.570	4.352	3.218
Maret	4.689	2.863	1.827
April	9.222	1.544	7.678
Mei	10.324	1.077	9.247
Juni	11.683	4.068	7.616
Juli	5.222	2.897	2.325
Agustus	5.097	2.394	2.702
September	3.376	2.578	797
Oktober	6.958	4.668	2.290
November	8.891	2.445	6.446
Desember	9.050	1.765	7.285



Gambar 2 Grafik Keseimbangan Air

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa pola tanam yang direncanakan mengalami surplus atau kelebihan air. Surplus terbesar terjadi pada bulan Mei sebesar $9,247 \text{ m}^3/\text{det}$ dan surplus terkecil terjadi pada bulan September sebesar $0,798 \text{ m}^3/\text{det}$.

7. Analisis Usaha Tani

Total pendapatan di daerah Irigasi Lomaya didapat dari luas tanam dikali dengan pendapatan bersih petani per hektar Daerah Irigasi Lomaya. Data luas tanam dapat dilihat pada Tabel 13 yaitu sebesar 2401 ha. Dahar & Winskayati (2018) dalam penelitiannya yang menganalisis pendapatan petani padi pada sawah anggota P3A didapatkan bahwa pendapatan bersih petani daerah Irigasi Lomaya per hektar sebesar Rp8.612.712. Total pendapatan petani di Daerah Irigasi Lomaya untuk setiap musim tanam ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9
Pendapatan Bersih Petani Daerah Irigasi Lomaya

No	Jenis Tanaman	Pendapatan bersih per Hektar Daerah Irigasi Lomaya	
1	Padi	Rp	8.612.712,00
Musim	Total Pendapatan		
MT 1	Rp	20.679.121.512,00	
MT 2	Rp	19.619.757.936,00	
MT 3	Rp	17.225.424.000,00	
Total	Rp	57.524.303.448,00	

8. Analisis Optimasi

Optimasi dengan program linear dilakukan dengan memasukkan persamaan pada model matematika optimasi ke dalam tabel untuk dilakukan iterasi. Optimasi tersebut menggunakan program bantu, yaitu *Quantity Methods for Windows 5*. Model optimasi ditampilkan pada Tabel 10 untuk alternatif awal tanam I.

Tabel 10
Model Optimasi untuk Alternatif Awal Tanam I

	Padi MT 1	Padi MT 2	Padi MT 3		RHS
Maximize	Rp 8.612.712,00	Rp 8.612.712,00	Rp 8.612.712,00	<=	
Luas Maksimum 1	1,00	-	-	<=	2.599,00
Luas Maksimum 2	-	1,00	-	<=	2.599,00
Luas Maksimum 3	-	-	1,00	<=	2.599,00
Volume Andalan Sungai 1	11.638,94	-	-	<=	24.428.695,41
Volume Andalan Sungai 2	-	11.186,46	-	<=	26.630.940,70
Volume Andalan Sungai 3	-	-	10.620,59	<=	27.930.047,45
Kapasitas Intake 1	11.638,94	-	-	<=	49.486.464,00
Kapasitas Intake 2	-	11.186,46	-	<=	49.486.464,00
Kapasitas Intake 3	-	-	10.620,59	<=	49.486.464,00

Analisis hasil optimasi ditampilkan setelah melakukan proses running dilakukan setelah model matematika selesai dibuat dan persamaan fungsi tujuan beserta fungsi pembatas telah dimasukkan ke dalam program bantu *Quantity Methods for Windows 5*. Hasil optimasi pada alternatif awal tanam I ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11
Hasil Optimasi untuk Alternatif Awal Tanam I 5

	Padi MT 1	Padi MT 2	Padi MT 3	RHS
Maximize	Rp 8.612.712,00	Rp 8.612.712,00	Rp 8.612.712,00	<=
Luas Maksimum 1	1,00	-	-	<= 2.599,00
Luas Maksimum 2	-	1,00	-	<= 2.599,00
Luas Maksimum 3	-	-	1,00	<= 2.599,00
Volume Andalan Sungai 1	11.638,94	-	-	<= 24.428.695,41
Volume Andalan Sungai 2	-	11.186,46	-	<= 26.630.940,70
Volume Andalan Sungai 3	-	-	10.620,59	<= 27.930.047,45
Kapasitas Intake 1	11.638,94	-	-	<= 49.486.464,00
Kapasitas Intake 2	-	11.186,46	-	<= 49.486.464,00
Kapasitas Intake 3	-	-	10.620,59	<= 49.486.464,00
Solution	2.098,87	2.380,74	2.599,00	Rp 60.966.029.290,32

Berdasarkan hasil optimasi di atas, didapat pola tanam untuk alternatif awal tanam I yaitu padi-padi-padi dengan intensitas tanam ditampilkan pada Tabel 12.

Tabel 12
Intensitas Tanam Alternatif Awal Tanam I

Musim	Tanaman		Intensitas (%)
	Padi	Total	
MT 1	2098,87	2098,87	80,76
MT 2	2380,74	2380,74	91,60
MT 3	2599,00	2599,00	100,00
	Total		90,79

Setelah nilai luasan optimum tanaman diketahui, nilai tersebut dimasukkan ke tabel persamaan dengan tujuan untuk mendapatkan pendapatan maksimum sehingga dapat dihitung hasil keuntungan setelah dilakukan optimasi. Rekapitan hasil perhitungan optimasi luas tanam dan keuntungan untuk semua alternatif awal tanam selengkapnya ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13**Rekapan Perhitungan Optimasi**

Alt Awal Tanam	Musim Tanam	Luas Tanaman Padi		Luas Total	Instensitas (%)	Total %	Pendapatan		Keuntungan	
		ha	ha				Rp	Rp	Rp	Rp
Alt I	MT 1	2.098,87	2.098,87	2.098,87	80,76					
	MT 2	2.380,74	2.380,74	2.380,74	91,60	90,79	Rp 60.966.029.290,32	Rp 3.441.725.842,32		
	MT 3	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
Alt II	MT 1	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
	MT 2	2.560,81	2.560,81	2.560,81	98,53	89,50	Rp 60.098.901.446,16	Rp 2.574.597.998,16		
	MT 3	1.818,12	1.818,12	1.818,12	69,95					
Alt III	MT 1	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
	MT 2	2.586,84	2.586,84	2.586,84	99,53	89,91	Rp 60.377.781.060,72	Rp 2.853.477.612,72		
	MT 3	1.824,47	1.824,47	1.824,47	70,20					
Alt IV	MT 1	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
	MT 2	2.502,91	2.502,91	2.502,91	96,30	88,39	Rp 59.354.935.383,60	Rp 1.830.631.935,60		
	MT 3	1.789,64	1.789,64	1.789,64	68,86					
Alt V	MT 1	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
	MT 2	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00	84,29	Rp 56.603.346.153,84	-Rp 920.957.294,16		
	MT 3	1.374,07	1.374,07	1.374,07	52,87					
Alt VI	MT 1	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
	MT 2	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00	84,31	Rp 56.614.284.298,08	-Rp 910.019.149,92		
	MT 3	1.375,34	1.375,34	1.375,34	52,92					
Alt VII	MT 1	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00					
	MT 2	2.599,00	2.599,00	2.599,00	100,00	84,21	Rp 56.550.722.483,52	-Rp 973.580.964,48		
	MT 3	1.367,96	1.367,96	1.367,96	52,63					

E. Penutup

1. Debit tertinggi pada bulan September tahun 2010 sebesar 34,86 m³/detik dan debit terkecil pada bulan Agustus tahun 2019 sebesar 1,64 m³/detik. Jumlah ketersediaan air pada MT 1 yaitu 24.428.695 m³, untuk MT 2 yaitu 26.630.941 m³ dan untuk MT 3 yaitu 27.930.047 m³ sehingga total ketersediaan air untuk satu tahun adalah 78.989.684 m³.
2. Kebutuhan air dibagi menjadi beberapa awal tanam dari alternatif awal tanam I sampai alternatif awal tanam VII. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan air maksimum untuk tanaman padi dipilih alternatif awal tanam I. Untuk MT 1 kebutuhan air untuk tanaman padi sebesar 11.638,94 m³/ha, untuk MT 2 sebesar 11.186,46 m³/ha dan untuk MT 3 sebesar 10.620,59 m³/ha.
3. Optimasi untuk setiap awal tanam menunjukkan bahwa alternatif awal tanam I dengan MT 1 sebesar 2.098,87 ha, untuk MT 2 sebesar 2.380,74 ha, dan untuk MT 3 sebesar 2.599 ha. Total intensitas tanam pada alternatif awal tanam I sebesar 90,79%.

4. Hasil optimasi alternatif awal tanam I sampai alternatif awal tanam VII, diperoleh pendapatan maksimum pada alternatif awal tanam I sebesar Rp60.966.029.290,00 (enam puluh miliar sembilan ratus enam puluh enam juta dua puluh sembilan ribu dua ratus sembilan puluh rupiah) dan untuk kondisi eksisting sebesar Rp57.524.303.448,00 (lima puluh tujuh miliar lima ratus dua puluh empat juta tiga ratus tiga ribu empat ratus empat puluh delapan rupiah) sehingga keuntungan produksi sebesar Rp3.441.725.842,00 (tiga miliar empat ratus empat puluh satu juta tujuh ratus dua puluh lima ribu delapan ratus empat puluh dua rupiah).

Referensi

- [1] Suetopo. W dan Hari P, "Studi Optimasi Pola Tanam Untuk Memaksimalkan Keuntungan Hasil Produksi Pertanian di Jaringan Irigasi Prambanan Kiri Kecamatan Bumiaji Kota Batu," 2011.
- [2] Parlin. S, Program Linear, Jakarta: Universitas Trisakti, 1997.
- [3] Wirosoedarmo R, Rahadi B and Karunia D.S, "Studi Optimasi Pola Tanam pada Daerah Irigasi Mrican Kanan dengan Menggunakan Program Linear," *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 2019.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, "Kriteria Perencanaan KP-01," *Direktorat Irigasi I*, 2010.
- [5] Triatmodjo B, "Hidrologi Terapan," *Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada*, 2010.
- [6] Mock, F.J., "Land Capability Appraisal Indonesia Water," *Indonesia Food and Agriculture Organization of The United Nations*, 1973.
- [7] Subagyo, P., Asri, M dan Handoko, H., "Dasar Dasar Operations Research," *Yogyakarta: BPFE*, 1993.
- [8] Nadjadi, A., Wahyudi, A. dan E., Studi Optimasi Pola Tanam pada Daerah Irigasi Warujayeng Kertosono dengan Program Linier. *Jurnal Teknik Pomits*, Volume 3, pp. 31-35., 2014

Transpor Sedimen Dasar pada Hilir Sungai Bongo yang Bermuara ke Sungai Paguyaman

Alvian Ahmad

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: alvianahmad2021@gmail.com

Rawiyah Husnan

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: rawiyah@ung.ac.id

Barry Y. Labdul

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: barry.labdul@ung.ac.id

Abstrak

Sungai Bongo menjadi salah satu penyuplai material sedimen yang menyebabkan permasalahan pendangkalan Sungai Paguyaman yang akibatnya mengurangi kapasitas tampung sungai sehingga sering meluap ketika hujan turun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sedimen dasar, menganalisis besar transpor sedimen dasar, dan menganalisis sisa waktu tampung angkutan sedimen dasar di hilir Sungai Bongo. Karakteristik sedimen dasar didapatkan dengan mengambil sampel sedimen di Sungai Bongo dan selanjutnya diuji di laboratorium untuk mendapatkan data kadar air, berat jenis, kadar lumpur, berat volume, dan distribusi ukuran butiran. Analisis besarnya angkutan sedimen dasar menggunakan rumus empiris Meyer-Peter & Muller, Einstein, dan Engelund & Hansen. Hasil pengujian sampel di laboratorium untuk karakteristik sedimen dasar di hilir Sungai Bongo menunjukkan hasil kadar air rata-rata sebesar 31,08%, berat jenis rata-rata sebesar 2,69, kadar lumpur rata-rata sebesar 1,91%, berat volume rata-rata sebesar 1,63 gr/cm³, dan hasil ukuran butiran < 4 mm. Hasil analisis angkutan sedimen dasar

dengan debit aliran hasil pengukuran langsung berdasarkan analisis menggunakan persamaan Meyer-Peter & Muller rata-rata sebesar 15.387,159 ton/tahun, persamaan Einstein rata-rata 483.788,654 ton/tahun, persamaan Engelund & Hansen rata-rata 234.205,202 ton/tahun. Sisa waktu yang dibutuhkan hingga kapasitas tampung sungai penuh dengan menggunakan debit sedimen Meyer-Peter & Muller adalah $\pm 32,591$ bulan, menggunakan debit sedimen Einstein sebesar $\pm 1,037$ bulan, serta dengan menggunakan debit sedimen Engelund & Hansen sebesar $\pm 2,141$ bulan.

Kata Kunci: sedimen, debit, sungai bongo

A. Pendahuluan

Sungai merupakan saluran alamiah di permukaan bumi yang menampung dan menyalurkan air hujan dari daerah yang tinggi ke daerah yang lebih rendah dan akhirnya bermuara di danau atau di laut [1]. Arus air di daerah yang tinggi atau biasa disebut dengan daerah hulu sungai biasanya lebih deras dibandingkan dengan arus sungai di bagian yang lebih rendah atau biasa disebut dengan daerah hilir sungai.

DAS merupakan suatu ekosistem di mana di dalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, non biotik, dan manusia. Sebagai suatu ekosistem, maka setiap ada masukan (*input*) ke dalamnya, proses yang terjadi dan berlangsung di dalamnya dapat dievaluasi berdasarkan keluaran (*output*) dari ekosistem tersebut. Komponen masukan dalam ekosistem DAS adalah curah hujan, sedangkan keluaran terdiri atas debit air dan muatan sedimen.

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya.

Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk [2]. Proses sedimentasi pada daerah sungai merupakan kejadian yang simultan yang dapat mengakibatkan pendangkalan pada dasar sungai dan perubahan elevasi sehingga akan memengaruhi morfologi sungai.

Pergerakan sedimen menunjukkan makna yang mendalam bagi sungai. Proses pengangkutan dan pengendapan sedimen dapat mengubah topografi dasar sungai. Pengendapan sedimen merupakan faktor kunci untuk membatasi pengembangan dan pengelolaan sungai. Akibat aktivitas manusia yang semakin meningkat, seperti pembendungan yang ekstensif, telah meningkatkan pengendapan sedimen di saluran sungai dan waduk. [3]

Sungai Bongo merupakan salah satu anak sungai dari Sungai Paguyaman yang terletak di Kabupaten Gorontalo Provinsi Gorontalo yang potensinya terus dikembangkan karena aliran sungai ini dimanfaatkan sebagai sumber air untuk daerah Irigasi Bongo yang memenuhi kebutuhan air irigasi untuk lahan seluas 1.298 Ha, yang pengelolaannya merupakan kewenangan pemerintah Provinsi Gorontalo.

Sungai Bongo bermuara ke Sungai Paguyaman dan menjadi salah satu penyuplai material sedimen yang menyebabkan permasalahan pendangkalan Sungai Paguyaman sehingga mengurangi kapasitas tampung sungai yang akibatnya Sungai Paguyaman yang merupakan sungai utama pada DAS Paguyaman ini sering kali meluap ketika hujan turun. Luapan sungai tersebut sering kali merendam hingga ratusan rumah warga terutama yang bermukim tidak jauh dari aliran Sungai Paguyaman tersebut.

Permasalahan diatas merupakan dasar dilakukan penelitian untuk menganalisis karakteristik sedimen dasar, menganalisis besar transpor sedimen dasar, dan menganalisis sisa waktu tumpang angkutan sedimen dasar di hilir Sungai Bongo sebagai acuan untuk merencanakan solusi atas permasalahan sedimen yang terjadi pada sungai tersebut.

B. Metode

1. Debit Aliran Sungai

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lokasi penelitian yang terletak di Desa Lakeya, Kecamatan Tolangohula, Kabupaten Gorontalo, yaitu berupa data geometri penampang sungai, kecepatan aliran, dan sampel sedimen dasar. Data sekunder berupa peta topografi diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II.

Debit aliran sungai, diberi notasi Q , adalah jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3/d). Debit sungai, dengan distribusinya dalam ruang dan waktu, merupakan informasi penting yang diperlukan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumber daya air. [4]

Pengukuran debit sungai dilakukan dengan membagi lebar sungai menjadi sejumlah pias, dengan lebar dapat dibuat sama atau berbeda. Kecepatan aliran dan kedalaman air di ukur di masing-masing pias, yaitu pada vertikal yang mewakili pias tersebut.

Debit di setiap pias dihitung dengan mengalikan kecepatan rerata dan luas tampang alirannya. Debit sungai adalah jumlah debit di seluruh pias [4].

Alat-alat yang digunakan dalam berupa alat untuk pengukuran geometri penampang sungai, kecepatan aliran dan pengambilan 1 sampel sedimen dasar sungai. Pengujian laboratorium berupa pengujian berat volume, pengujian kadar air, analisis saringan, pengujian berat jenis, dan pengujian kadar lumpur. Analisis data yang dilakukan adalah analisis debit dan analisis sedimen dasar.

2. Sedimen

Sedimen merupakan tanah atau bagian bagian tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat yang mengalami erosi pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dan masuk ke dalam suatu badan air. [1]

Sedimentasi terjadi apabila banyaknya sedimen yang terangkut lebih besar daripada kapasitas sedimen yang ada. Sedimentasi dapat menyebabkan masalah sebagai berikut.

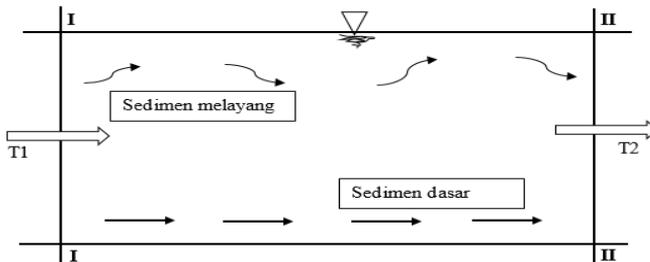
- a. Menurunkan tinggi muka air (kedalaman aliran turun).
- b. Berkurangnya tampungan tampang sungai.
- c. *Water stagnant* (terhentinya aliran air) sehingga dapat mengurangi tingkat kesehatan lingkungan.
- d. Menyebabkan masalah pada waduk/*reservoir*.

3. Mekanisme Angkutan Sedimen

Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendap yang

dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran. [5]

Mekanisme transpor sedimen (TS) pada sungai terdiri atas dua cara, antara lain sedimen melayang (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*). Jenis-jenis muatan sedimen pada sungai ditunjukkan pada Gambar 1. [6]



Gambar 1 Jenis-Jenis Angkutan Sedimen Sedimen pada Sungai

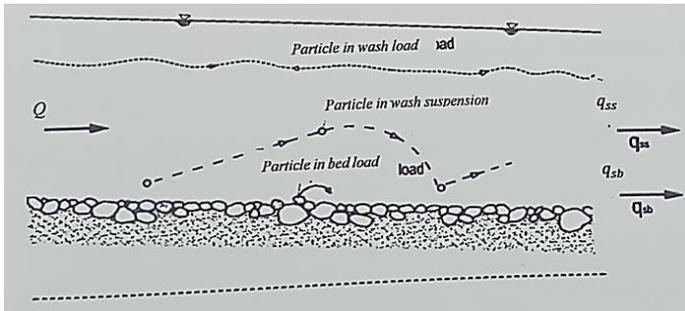
Proses perubahan dasar sungai di antara 2 (dua) penampang melintang akibat adanya angkutan sedimen ditunjukkan pada Tabel 1. [5,7]

Tabel 1

Proses Perubahan Dasar Sungai

Perbandingan T	Kondisi Perubahan Dasar Sungai
$T_1 < T_2$	Erosi atau Degradasi
$T_1 = T_2$	<i>Equilibrium</i> atau Stabil
$T_1 > T_2$	<i>Sedimentasi</i> atau Agradasi

Angkutan sedimen oleh aliran air adalah angkutan seluruh butir padat (solid) yang melewati tampang lintang suatu aliran air. Angkutan sedimen umumnya dikelompokkan berdasarkan cara transpor. Skema angkutan sedimen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. [7]



Gambar 2 Skema Angkutan Sedimen

- a. Angkutan sedimen dasar (*bed load*) adalah gerak butir sedimen yang selalu berada di dekat dasar saluran atau sungai. Butir sedimen bergerak dengan cara bergeser atau meluncur, mengguling, atau dengan lompatan pendek. Angkutan dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran relatif besar.
- b. Angkutan sedimen melayang (*suspended load*) adalah gerak butir sedimen yang sesekali bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Butir sedimen bergerak dengan lompatan yang jauh dan tetap di dalam aliran. Angkutan dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran relatif kecil.
- c. Angkutan sedimen total adalah gerak butir sedimen yang selalu berkaitan atau bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran (*bed load + suspended load*).
- d. Angkutan sedimen *wash load* adalah gerak butir sedimen yang hampir tidak pernah bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Pada *wash load*, butir sedimen bergerak bagaikan digelontor oleh aliran dan tidak pernah

menyentuh dasar sungai atau saluran. Angkutan dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran sangat halus.

4. Hitungan Angkutan Sedimen Dasar

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam analisis sedimen dasar pada penelitian ini yaitu Persamaan Meyer-Peter & Muller, persamaan Einstein, dan persamaan Engelund & Hansen.

a. Rumus Meyer-Peter & Muller (MPM)

Meyer-Peter & Muller menyatakan bahwa gesekan (kehilangan energi) yang terjadi pada dasar yang bergelombang disebabkan oleh karena bentuk gelombang dan oleh ukuran butiran. Dengan memperhitungkan faktor gesekan tersebut dan dengan didukung oleh data pengukuran dengan *range* data yang cukup besar, rumus Meyer-Peter & Muller ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$\gamma \frac{R}{h} \left(\frac{k}{k'} \right)^{\frac{3}{2}} S h - 0,047(\gamma_s - \gamma) d_m = 0,25 \left(\frac{\gamma}{g} \right)^{\frac{1}{3}} (q_b)^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

dengan:

γ : berat jenis air (kg/m³),

R : jari-jari hidraulis (m),

h : kedalaman aliran (m),

k : koefisien kekasaran *strickler*,

k' : koefisien kekasaran akibat butiran,

S : kemiringan dasar sungai,

γ_s : berat jenis sedimen (kg/m³),

d_m : diameter signifikan (d_{50-60}) (mm),

g : percepatan gravitasi (m/s²),

q_b : berat sedimen (padat) dalam air tiap satuan lebar tiap satuan waktu (kg/m.detik).

b. Rumus Einstein

Metode pendekatan yang digunakan didasarkan pada beberapa konsep yang ditunjang oleh hasil pengamatan laboratorium (*eksperimental*). Einstein menetapkan persamaan *bed load* sebagai persamaan yang menghubungkan gerak bahan dasar dengan aliran setempat (*local flow*). Persamaan ini melukiskan keseimbangan pertukaran butiran dasar sungai antara *bed layer* dengan dasarnya (endapan berimbang dengan gerusan). Rumus Einstein ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$F(\phi, \Psi) = 0 \quad (2)$$

Pendekatan yang dilakukan adalah dengan metode statistik dengan konsep yang sangat kompleks, tetapi penggunaan menjadi relatif mudah dengan menggunakan bantuan grafik.

$$\Psi = \frac{\Delta d_{35}}{\mu R S} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{T_b}{\rho_s \Delta^2 (g d_{35})^2} \quad (4)$$

$$U_* = \sqrt{g h S} \quad (5)$$

$$\underline{U} = 5,75 U_* \log \log \frac{12 h}{k} \quad (6)$$

$$\mu = \left(\frac{C}{C_{d90}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

$$C = 18 \log \frac{12R}{k} \quad (8)$$

$$C_{d90} = 18 \log \frac{12R}{d_{90}} \quad (9)$$

dengan:

μ : ripple factor,

C : koefisien Chezy total ($m^{1/2}/detik$),

- $C_{d_{90}}$: koefisien Chezy akibat kekasaran butiran dengan diameter representatifnya d_{90} ($m^{1/2}/detik$),
- R : jari-jari hidrolik (m),
- K : tinggi kekasaran dasar (m),
- Φ : parameter intensitas *bed load*,
- Ψ : parameter intensitas aliran,
- Δ : $\rho_s - \rho_w / \rho_w$,
- d_{35} : diameter butiran (m),
- ρ_s : rapat massa sedimen (kg/m^3),
- Tb : volume sedimen (padat) tiap lebar sungai ($N/m.det$),
- S : kemiringan dasar sungai,
- U_* : kecepatan gesek material (m/detik),
- \underline{U} : kecepatan aliran (m/detik).

c. Rumus Engelund & Hansen

Metode Engelund & Hansen adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung muatan sedimen dasar (*bed load*). Rumus yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 11.

$$\tau_0 = \gamma D S \quad (10)$$

$$q_s = 0.05 \gamma_s V^2 \left[\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right]^{1/2} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \right]^{3/2} \quad (11)$$

dengan:

- τ_0 : tegangan geser (kg/m^2),
- γ : berat jenis air (kg/m^3),
- γ_s : berat jenis sedimen (kg/m^3),
- D : kedalaman estuary,
- S : kemiringan,
- V : kecepatan aliran (m/s),
- g : gravitasi (m/s^2),
- d_{50} : diameter partikel sedimen yang 50% lolos saringan (m),
- q_s : muatan sedimen dasar ($kg/s/m$).

Dari ketiga persamaan tersebut diperoleh nilai angkutan sedimen dasar pada hilir Sungai Bongo yang selanjutnya nilai angkutan sedimen tersebut digunakan untuk menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan hingga sungai tersebut penuh dengan sedimen.

C. Hasil dan Pembahasan

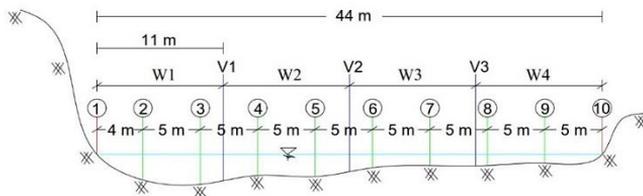
1. Hasil

a. Geometri Penampang Sungai

Pengukuran penampang sungai dilakukan dengan mengukur tinggi muka air sungai dan lebar sungai. Pengukuran kedalaman aliran dilakukan dengan membagi sungai dalam beberapa pias dengan jarak antar pias sebesar 5 meter. Hasil pengukuran tampang sungai dapat dilihat pada Tabel 2 dan pada Gambar 3.

Tabel 2
Hasil Pengukuran Tampang Sungai

Lebar Total (m)	Kedalaman Rata-Rata (m)	Luas (m ²)
39,00	0,203	7,911
44,00	0,160	7,040
44,30	0,151	6,700



Gambar 3 Sketsa Penampang Melintang Sungai

b. Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan arus secara langsung dilakukan dengan menggunakan pelampung, yaitu dengan mengukur selang waktu yang diperlukan oleh pelampung untuk menempuh suatu jarak tertentu. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan di hilir sungai pada bagian sungai yang lurus dengan menggunakan pelampung permukaan. Penggunaan pelampung permukaan dilakukan karena kondisi kedalaman sungai yang sangat dangkal baik di sisi kiri, tengah, maupun kanan aliran. Pengukuran dilakukan dengan cara melepaskan pelampung dari titik awal 0 menuju segmen I dimaksudkan agar kecepatan pelampung stabil setelah mencapai segmen I di mana akan dimulai perhitungan waktu tempuh pelampung hingga mencapai segmen II, dan III dengan menggunakan *stopwatch* dengan jarak setiap segmen sebesar 20 meter. Kecepatan aliran rata-rata yang diambil dari pengukuran pelampung permukaan dikalikan dengan faktor koreksi 0,85. Hasil pengukuran kecepatan aliran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3
Data Kecepatan Rata-rata Aliran

No	Segmen	Kecepatan (m/det)
1	I	0,466
2	II	0,430
3	III	0,432
Kecepatan Rata-rata		0,436

c. Karakteristik Sediman Dasar

Sampel sedimen dasar yang telah diambil dari lokasi penelitian diuji di laboratorium. Pengujian

di laboratorium bertujuan untuk mengetahui kadar air sedimen, berat jenis sedimen, kadar lumpur sedimen, berat volume sedimen dan distribusi ukuran butiran sedimen. Pada pengujian analisis saringan, setelah didapat data hasil pengujian, maka dilakukan pengolahan data ukuran saringan dan kumulatif persentase lolos, selanjutnya hubungan antara diameter butir (mm) dan persentase lolos saringan diplot pada grafik untuk mendapatkan nilai d_{35} , d_{50} , d_{65} , dan d_{90} . Rekapitulasi hasil pengujian material sedimen dasar yang diuji di Laboratorium Teknik Sipil UNG ditunjukkan pada Tabel 4. hasil analisis distribusi ukuran butiran ditunjukkan pada Tabel 5. Grafik hasil analisis distribusi ukuran butiran ditunjukkan pada Gambar 4.

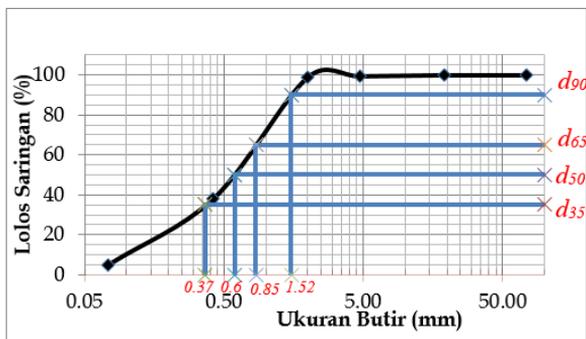
Tabel 4
Rekapitulasi Hasil Pengujian Material Sedimen Dasar

No	Parameter	Satuan	Segmen			Rata-Rata
			I	II	III	
1	Kadar air	%	17,25	38,46	37,53	31,08
2	Berat Jenis	-	2,702	2,703	2,66	2,69
3	Kadar Lumpur	%	1,67	1,58	2,48	1,91
4	Berat Volume	gr/cm ³	1,58	1,70	1,61	1,63

Tabel 5
Hasil Analisis Distribusi Ukuran Butiran

Sampel Uji	Titik Sampel	Diameter Butiran (mm)			
		d_{35}	d_{50}	d_{65}	d_{90}
Segmen I	1.1	0.370	0.600	0.850	1.520
	1.2	0.370	0.600	0.850	1.520
	1.3	0.260	0.460	0.720	1.440
Rata-rata		0.333	0.553	0.807	1.493

Segmen II	2.1	0.097	0.136	0.190	0.380
	2.2	0.120	0.150	0.200	0.330
	2.3	0.120	0.150	0.200	0.330
Rata-rata		0.112	0.145	0.197	0.347
Segmen III	3.1	0.135	0.185	0.250	0.550
	3.2	0.120	0.160	0.210	0.370
	3.3	0.106	0.140	0.190	0.330
Rata-rata		0.120	0.162	0.217	0.417
Rata-rata semua segmen		0.189	0.287	0.407	0.752



Gambar 4 Distribusi Ukuran Butiran

d. Analisis Debit

Debit aliran dihitung berdasarkan kecepatan aliran dan luas penampang basah yang telah di hitung sebelumnya, untuk hasil perhitungan debit ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6.
Debit Rata-Rata

1	Luas (m ²)	Kecepatan (m/det)	Debit Rata-Rata (m ³ /det)
I	7.911	0.446	2.612
II	7.040	0.430	3.151
III	6.700	0.432	2.935
Rata-rata			2.899

e. Analisis Sedimen Dasar

Analisis sedimen dasar bertujuan untuk mengetahui berapa besaran angka produksi sedimen dasar, untuk menganalisis angkutan sedimen dasar digunakan tiga persamaan, yaitu Meyer-Peter & Muller (MPM), Einstein dan Engelund-Hansen, berikut diuraikan hasil analisis angkutan sedimen dari ketiga persamaan tersebut.

1) Persamaan Meyer-Peter & Muller (MPM)

Untuk menghitung angkutan sedimen dasar dengan menggunakan persamaan ini dibutuhkan beberapa data berupa data kecepatan aliran (V), lebar sungai (W), kemiringan garis energi (S), radius hidrolis (R), berat jenis sedimen, ukuran butiran d_{50} dan ukuran butiran d_{90} . Selanjutnya mencari nilai koefisien k dengan rumus strickler, kekasaran dasar alur sungai (k') dan *ripple factor* (u). setelah nilai-nilai tersebut didapat selanjutnya dimasukan pada persamaan MPM untuk mendapatkan nilai angkutan sedimen dasar (Qb), hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7
Debit Sedimen Formula Meyer-Peter & Muller

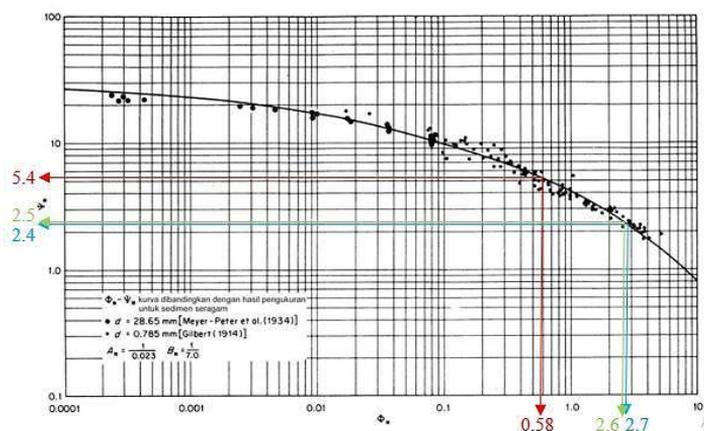
Segmen	V (m/det)	R	k	k'	μ	qb (kg/m.det)	Qb (kg/hari)	Qb (ton/thn)
I	0.436	0.203	22.14	76.91	0.154	0.0110	36974.62	13495.737
II	0.436	0.160	25.95	98.08	0.136	0.0114	43321.51	15812.352
III	0.436	0.151	26.97	95.12	0.151	0.0121	46173.67	16853.390
Rata-Rata							42156.60	15387.159

2) Persamaan Einstein

Untuk menghitung angkutan sedimen dasar dengan menggunakan persamaan Einstein ini digunakan beberapa data berupa data kecepatan aliran (V), lebar sungai (W), kemiringan garis energi (S), radius hidrolis (R), berat jenis sedimen, ukuran butiran d_{35} dan ukuran butiran d_{90} . Selanjutnya menentukan tinggi kekasaran dasar (k), mencari nilai C , nilai C_{d90} , menghitung *ripple factor* (u), mencari nilai ψ , dan ϕ yang diperoleh dari grafik Einstein. Setelah nilai-nilai tersebut didapat selanjutnya dimasukkan pada persamaan-persamaan Einstein untuk mendapatkan nilai angkutan sedimen dasar (Qb), hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 8 dan untuk grafik Einstein ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 8
Debit Sedimen Formula Einstein

Segmen	V (m/det)	R	k	μ	ϕ	Tb (kg/m.det)	Qb (kg/hari)	Qb (ton/thn)
I	0.436	0.203	0.278	0.159	0.58	0.381	1284330.894	468780.776
II	0.436	0.160	0.166	0.151	2.70	0.346	1316587.418	480554.407
III	0.436	0.151	0.146	0.165	2.60	0.359	1375426.793	502030.779
Rata-rata							1325448.3	483788.65
							68	4



Gambar 5. Penentuan ϕ Debit Pengukuran Langsung

3) Persamaan Engelund & Hansen

Untuk menghitung angkutan sedimen dasar dengan menggunakan persamaan ini diperlukan beberapa data berupa data kecepatan aliran (V), lebar sungai (W), kemiringan garis energi (S), radius hidrolis (R), berat jenis sedimen, ukuran butiran d_{50} . Pertama dihitung nilai tegangan geser (τ_o), selanjutnya dengan persamaan Engelund & Hansen untuk mendapatkan nilai angkutan sedimen dasar (Q_s), hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8
Debit Sedimen Formula Engelund & Hansen

Segmen	V (m/det)	R	τ_o	qs (kg/m.det)	Qs (kg/det)	Qs (kg/hari)	Qs (ton/thn)
I	0.436	0.203	0.660	0.087	3.385	292427.691	106736.107
II	0.436	0.160	0.520	0.231	10.182	879731.468	321101.986
III	0.436	0.151	0.491	0.197	8.713	752815.101	274777.512
					Rata-Rata	7.427	641658.08
						7	234205.
							202

- f. Volume Kapasitas Tampung Sungai
 Kapasitas sungai untuk panjang 200 meter dihitung volumenya berdasarkan data topografi yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II yang data-datanya dihitung dan ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9
 Perhitungan Volume Sungai 200 Meter

Titik	Tinggi tebing sungai kr (m)	Tinggi tebing sungai kn (m)	Rata-rata tinggi tebing sungai (m)	Lebar sungai (m)	Luas tampang sungai (m ²)	Volume (m ³)
1	1.32	1.66	1.49	59.8	89.10	17820.40
2	1.74	2.01	1.88	66.62	124.91	24982.50
3	2.16	2.35	2.26	71.94	162.22	32444.94
4	1.75	1.73	1.74	62.52	108.78	21756.96
5	1.44	1.19	1.32	53.09	69.81	13962.67
Rata-rata						22193.49

- g. Sisa Waktu Tampung Sungai Berdasarkan Besar Angkutan Sedimen
 Perhitungan angkutan sedimen memperoleh debit sedimen MPM sebesar 15.387,159 ton/tahun, debit sedimen Einstein sebesar 483.788,654 ton/tahun, dan debit sedimen Engelund-Hansen sebesar 234.205,202 ton/tahun. Kemudian dihitung volume sedimen dengan rumus $V_S = \frac{\text{debit sedimen}}{\text{bulk density}}$, *bulk density* didapat dari $\rho_b = (1-\alpha)\rho_s$, dengan α adalah nilai porositas = 30% dan ρ_s adalah nilai rata-rata berat jenis = 2.690 kg/m³, maka diperoleh nilai *bulk density* sebesar 1,883 ton/m³. Sehingga diperoleh volume sedimen untuk MPM sebesar 8.171,619 m³/tahun,

volume sedimen untuk Einstein sebesar 256.924,405 m³/tahun, volume sedimen untuk Engelund-Hansen sebesar 124.378,758 m³/tahun. Karena volume sedimen sudah diketahui, maka sisa waktu tampung sungai dapat dihitung dengan cara membagi volume sungai dengan volume sedimen sehingga di dapat sisa waktu tampung sungai untuk MPM sebesar 32,591 bulan, untuk Einstein sebesar 1,037 bulan dan Engelund-Hansen sebesar 2,141 bulan.

2. Pembahasan

Angkutan sedimen dasar berdasarkan persamaan Meyer-Peter & Muller terbesar terdapat pada segmen III sebesar 16.853,390 ton/tahun dan angkutan sedimen yang terkecil pada segmen I, yaitu sebesar 13.495,737 ton/tahun. Jika dirata-ratakan nilai semua segmen, maka nilai angkutan sedimen dasar pada Sungai Bongo sebesar 15.387,159 ton/tahun.

Angkutan sedimen dari analisis menggunakan persamaan Einstein menampilkan angkutan sedimen yang berbeda-beda setiap segmen. Angkutan sedimen dasar yang terbesar terdapat pada segmen III sebesar 502.030,779 ton/tahun dan angkutan sedimen yang terkecil pada segmen I yaitu sebesar 468.780,776 ton/tahun. Jika dirata-ratakan nilai semua segmen, maka nilai angkutan sedimen dasar pada Sungai Bongo sebesar 483.788,654 ton/tahun.

Angkutan sedimen dasar berdasarkan persamaan Engelund & Hansen terbesar terdapat pada segmen II yaitu 321.101,986 ton/tahun dan angkutan sedimen yang terkecil pada segmen I dengan nilai sebesar 106.736,107 ton/tahun. Jika

dirata-ratakan nilai semua segmen, maka nilai angkutan sedimen dasar pada Sungai Bongo dengan formula Engelund & Hansen sebesar 234.205,202 ton/tahun.

Sisa waktu kapasitas tampung sungai ketiga perhitungan di atas dengan menggunakan data debit angkutan sedimen, untuk metode Meyer-Peter & Muller yaitu 32,591 bulan, metode Einstein adalah 1,037 bulan, dan untuk metode Engelund & Hansen 2,141 bulan. Hasil perhitungan sisa waktu kapasitas tampung sungai dengan metode Einstein dan Engelund & Hansen menunjukkan waktu yang sangat singkat, hal ini disebabkan volume angkutan sedimen yang begitu besar sedangkan volume tampungan sungai sangat kecil.

Berdasarkan pengamatan dan fakta di lapangan kondisi sedimen pada Bendung Irigasi Bongo, selalu penuh dengan sedimen dalam waktu singkat. Bila musim hujan kemungkinan penuh dalam waktu $\pm 1-2$ bulan dan bila musim kemarau bisa penuh dalam waktu ± 3 bulan. Dari ketiga metode yang digunakan untuk perhitungan sedimen di atas, maka yang mendekati nilai sesuai sesuai pengamatan dan fakta di lapangan adalah metode Einstein dan metode Engelund & Hansen.

D. Penutup

Karakteristik sedimen dasar di hilir Sungai Bongo menunjukkan hasil kadar air rata-rata sebesar 31,08%, berat jenis rata-rata sebesar 2,69, kadar lumpur rata-rata sebesar 1,91%, berat volume rata-rata sebesar 1,63 gr/cm³,

dan hasil ukuran butiran < 4 mm yang menunjukkan klasifikasi jenis tanah pasir.

Angkutan sedimen dasar dengan debit aliran hasil pengukuran langsung berdasarkan analisis menggunakan persamaan Meyer-Peter & Muller rata-rata sebesar 15.387,159 ton/tahun, persamaan Einstein rata-rata 483.788,654 ton/tahun, persamaan Engelund & Hansen rata-rata 234.205,202 ton/tahun.

Sisa waktu yang dibutuhkan hingga kapasitas tampung sungai sepanjang 200 m penuh dengan menggunakan persamaan angkutan sedimen Meyer-Peter & Muller adalah $\pm 32,591$ bulan, persamaan Einstein sebesar $\pm 1,037$ bulan, serta dengan menggunakan persamaan Engelund & Hansen selama $\pm 2,141$ bulan.

Referensi

- [1] Mokonio, O., Mananoma, T., Tanudjaja, L., & Binilang, A. Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Saluwangko di Desa Tounelet Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, 1(6), 452-458.
- [2] Asdak, C. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press; 1995.
- [3] hang, W., Xu, Y., Wang, Y., & Peng, H. Modeling Sedimen Transport and River Bed Evolution in River System. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(2), 174-179.
- [4] Triatmodjo, B. Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset; 2008
- [5] Mardjiko, P. Angkutan Sedimen. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 1987.
- [2] Kumuri, Y. Angkutan Sedimen Dasar Di Hulu Bendung Alale (skripsi). Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo; 2016.
- [5] Rahim, A. W. Analisis Angkutan Sedimen Pada Hulu Bendung Lomaya Sungai Bolango (skripsi). Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo; 2020.

Analisis Nilai *Lugeon* terhadap *Grouting Test* pada Bendungan Bulango Ulu

Indah Arifah Habibie

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: indaharifah446@gmail.com

Indriati Martha Patuti

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: indri.m.patuti@ung.ac.id

Fadly Achmad

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: fadly@ung.ac.id

Abstrak

G*routing* merupakan suatu proses injeksi di mana campuran semen akan dimasukkan dengan tekanan ke dalam celah, rongga maupun rekahan, dan retakan pada batuan/tanah. Setelah dilakukan tes *grouting* kemudian dilakukan perhitungan nilai *lugeon* untuk menentukan campuran *grouting* yang tepat serta mengetahui efektivitas *grouting* yang dinyatakan dalam persen. Pekerjaan pemboran dan *grouting* pada lereng *face outlet spillway* bendungan Bulango Ulu yang memiliki panjang kurang lebih 82 m dengan 189 titik bor *Grouting*. Pada titik 1 diperoleh volume campuran yang diperlukan yaitu sebanyak 397,64 liter, pada titik 10 sebanyak 289,70 liter, dan pada titik 26 sebanyak 463,52 liter. Berdasarkan hasil pekerjaan *checkhole* untuk pekerjaan *Grouting* yang dilakukan diperoleh Lu sebesar 49,13 pada *stage* 1 dan pada *stage* 2 diperoleh nilai Lu sebesar 12,31. Nilai efektivitas pada *stage* 1 diperoleh 69,27% pada titik 129, diperoleh 64,31% pada titik 139, dan 67,12% dengan klasifikasi baik. Pada *stage* 2 diperoleh nilai efektivitas 69,17% pada titik 129 klasifikasi baik, pada titik 139 dan

140 diperoleh 56,97% dan 55,19% dengan klasifikasi sedang.

Kata Kunci: nilai *lugeon*, *grouting test*, efektivitas *grouting*

A. Pendahuluan

Terowongan pelimpah (*spillway*) merupakan salah satu struktur pelengkap yang harus dibangun untuk mencapai fungsi utama suatu bendungan. Pembangunan struktur terowongan pelimpah terdiri atas dua bagian yaitu bagian *inlet* dan *outlet* pelimpah. *Spillway* merupakan bangunan hidrolis yang dibangun untuk menyalurkan aliran banjir yang berada pada bendungan agar tidak membahayakan keamanan dari tubuh bendungan. Pembangunan *spillway* perlu memperhatikan keamanan lereng yang berada pada bagian *face outlet*. Keamanan lereng dapat ditingkatkan dengan menggunakan perkuatan *grouting*.

Grouting merupakan suatu proses injeksi di mana campuran semen akan dimasukkan dengan tekanan ke dalam celah, rongga maupun rekahan, dan retakan pada batuan/tanah. Campuran *grouting* biasanya telah ditambahkan zat adiktif guna meningkatkan kinerja beton. Proses *grouting* dilakukan dengan tujuan untuk memperkuat tanah atau batuan, menjadikan struktur tanah atau batuan lebih padat, serta untuk mengisi rongga dan celah yang sulit dijangkau. Campuran *grouting* yang telah mengeras kemudian akan menjadi satu kesatuan dengan tanah/batuan sehingga kestabilan suatu permukaan tanah/batuan akan tetap terjaga. *Grouting* juga dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan nilai permeabilitas, meningkatkan kuat geser, mengurangi kompresibilitas, dan mengurangi erosi internal.

Bendungan Bulango Ulu merupakan bendungan pertama yang dibangun di Provinsi Gorontalo, di mana *spillway* merupakan salah satu bangunan pelengkap bendungan yang diperlukan untuk mengalirkan kelebihan air pada bendungan. Proses pembangunan *face outlet spillway* terletak pada lereng yang memiliki jenis batuan tersier. Batuan tersier merupakan batuan tua yang memiliki umur sekitar 23 juta tahun sehingga batuanya lebih mudah mengalami pelapukan. Pelapukan yang terjadi pada batuan dapat mengurangi stabilitas lereng serta kekuatan lereng sehingga *grouting* perlu dilakukan sebagai upaya perkuatan lereng *face outlet spillway*. Proses *grouting* perlu melakukan uji permeabilitas lapangan di mana dilakukan pencucian dan pengujian kelolosan air (*lugeon test*) sebelum melakukan *grouting*. Berdasarkan hal ini maka diperlukan analisis nilai *lugeon* untuk menentukan campuran *grouting* yang tepat serta nilai efektivitas pelaksanaan *grouting* pada lereng *face outlet spillway* bendungan Bulango Ulu, di mana hal ini memengaruhi kestabilan dari lereng *face outlet Spillway* bendungan Bulango Ulu.

Penelitian-penelitian tentang analisis *grouting* sudah pernah dilakukan sebelumnya di antaranya adalah dilakukan oleh Asy'ari, dkk. (2021), Kurniawan, dkk. (2019), Sumirin & Arif (2017). Analisis pengaruh *grouting* terhadap nilai *lugeon* pada dasar fondasi bendungan Tapin dilakukan setelah proses *grouting*/injeksi dilakukan. Analisis yang dilakukan berupa perhitungan nilai *lugeon* yang bertujuan untuk mengetahui *grouting* tersebut telah berhasil atau belum. Nilai *lugeon* rata-rata area *main dam* titik bor PH5 diperoleh nilai *Lu* sebesar 6,53 untuk kedalaman 0–5 m, *Lu* sebesar 4,84 untuk kedalaman

5–10 m, pada titik bor CH5 diperoleh Lu sebesar 1,93 untuk kedalaman 0-5 m, Lu sebesar 1,81 untuk kedalaman 5–10 m. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan nilai *lugeon* sebelum dan sesudah pekerjaan *grouting*. Berdasarkan hasil pekerjaan *check hole* 6 diperoleh rata-rata Lu sebesar 1,18 pada bagian kanan, rata-rata Lu sebesar 2,46 pada bagian kiri. Berdasarkan perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa bagian bawah pondasi tidak terdapat lagi rekahan atau retakan, yang menandakan proses *grouting* pada area *main dam* berhasil [1].

Penelitian tentang analisis pengaruh nilai *lugeon* terhadap tes *grouting*, di mana tes *grouting* bertujuan untuk mendapatkan perbandingan variasi campuran berdasarkan nilai *lugeon* (Lu) sebelum dan sesudah *grouting*. Perhitungan hasil nilai *lugeon* sebelum *grouting* diperoleh Lu sebesar 48,12 lt/menit/m' pada *stage* pertama PH1, pada CD1 *stage* kedua didapat Lu sebesar 20,61 lt/menit/m', pada PH1 *stage* ketiga didapat Lu sebesar 61,01 lt/menit/m', pada PH1 *stage* keempat didapat Lu sebesar 22,86 lt/menit/m', dan pada PH1 *stage* kelima didapat Lu sebesar 21,46 lt/menit/m'. Nilai *lugeon* rata-rata sebelum *grouting* > 30 lt/menit/m', dengan demikian desain campuran yang digunakan yaitu 1:2. Perhitungan hasil nilai *lugeon* (Lu) sesudah *grouting* pada lubang CH1 diperoleh Lu sebesar 2,96 lt/menit/m' pada *stage* pertama, Lu sebesar 2,58 lt/menit/m' pada *stage* kedua, Lu sebesar 2,19 lt/menit/m' pada *stage* tiga, Lu sebesar 2,48 lt/menit/m' pada *stage* empat, dan Lu sebesar 2,95 lt/menit/m' pada *stage* lima. Nilai *lugeon* rata-rata sesudah *grouting* < 3 lt/menit/m'. Dengan demikian, berdasarkan perbandingan hasil Lu sebelum dan sesudah *grouting*, maka *grouting* yang dilakukan berhasil [2].

Sumirin & Arief (2017) melakukan analisis efektivitas pengaruh injeksi terhadap angka keamanan lereng, di mana perkuatan berupa injeksi (*grouting*) dilakukan untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada kondisi lereng yang cukup terjal. Analisis dilakukan menggunakan faktor w/c sebesar 1,5 dengan kondisi sudut lereng mula-mula sebesar 45° yang meningkat secara bertahap hingga mencapai sudut 90° . Pengujian dilakukan pada 6 sampel dengan campuran persentase pasir dan batu krosok yang bervariasi. Peningkatan faktor aman terjadi hingga campuran kandungan batu krosok sampai 60%. Hal ini menunjukkan injeksi (*grouting*) efektif dalam memperkuat lereng. Adapun faktor yang memengaruhi efektivitas suatu injeksi yaitu faktor air semen optimum w/c sebesar 1,5, rasio jarak dan diameter injeksi Lg/Dg sebesar 8, dan kedalaman injeksi sebesar $0,75H$ [3].

B. Kajian Teoretis

Grouting adalah salah satu upaya perbaikan tanah, di mana *grouting* merupakan suatu pekerjaan mengisi bahan berupa pasta semen dengan tekanan ke dalam rongga atau rekahan tanah/batuan. Tekanan injeksi yang digunakan adalah tekanan yang diizinkan sesuai uji tekanan air (*water pressure test*) dengan debit air yang masuk, kemudian dicatat setiap menitnya. Debit air yang masuk pada lubang-lubang pada saat pengujian *water pressure test* (WPT) dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan volume kebutuhan campuran, di mana debit air sama dengan volume campuran yang dibutuhkan untuk mengisi rongga-rongga lereng *face outlet spillway*.

Grouting dilakukan dengan cara memasukkan pasta dalam keadaan cair dengan tekanan sehingga pasta dapat

masuk ke dalam rongga dan mengisi semua retakan dan lubang yang ada. Pasta kemudian akan mengeras menjadi satu kesatuan dengan tanah, di mana hal ini dapat menjaga kestabilan tanah, menurunkan permeabilitas, meningkatkan kuat geser, mengurangi kompresibilitas, dan mengurangi erosi internal [1].

Grouting umumnya dilakukan pada tanah yang memiliki nilai permeabilitas yang tinggi, di mana permeabilitas memengaruhi kekuatan dan stabilitas tanah. Tanah granular pada umumnya memiliki nilai permeabilitas yang tinggi di mana kekuatan geser tanah granular dipengaruhi oleh butiran-butiran sehingga saat *Grouting* dilakukan butiran akan saling mengunci yang kemudian hal ini dapat meningkatkan kekuatan geser tanah. *Grouting* dengan campuran semen dianggap memberikan pengaruh signifikan dibanding campuran kimia [4].

Setelah dilakukan proses *grouting*, kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui *grouting* tersebut sudah berhasil atau belum dengan menggunakan perhitungan nilai *Lugeon*. Nilai *lugeon* dapat digunakan untuk mendefinisikan tingkat permeabilitas dari lapisan batuan serta memperkirakan sistem retakan (*joint*) lapisan batuan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1
Prediksi Retakan (*Joint*) pada Batuan dari Nilai *Lugeon*

Nilai <i>Lugeon</i>	Klasifikasi	Kondisi Retakan
< 1	Rendah	Retakan Tertutup
1-5	Rendah-Sedang	Retakan Kecil Terbuka
5-50	Sedang-Tinggi	Sebagian Kecil Retakan Terbuka
> 50	Tinggi	Sebagian Besar Retakan Terbuka

1. Kebutuhan Campuran

Campuran material yang akan digunakan sangat menentukan tingkat efektivitas dari *Grouting* yang akan digunakan. Material yang digunakan yaitu semen dan air, di mana kedua campuran ini akan diinjeksi ke dalam rekahan yang kemudian akan menjadi padat dan mengeras sehingga dapat menahan laju rembesan air [5].

Desain perbandingan campuran pasta *grouting* yang akan digunakan pada lereng *face outlet spillway* diperoleh dari perhitungan nilai *lugeon* (*Lu*). Perhitungan dilakukan untuk memperoleh volume semen dan air yang akan digunakan. Pada umumnya, bahan campuran yang sering digunakan dalam pekerjaan *grouting* adalah campuran semen dan air sehingga dalam perhitungan desain campuran akan diperoleh perbandingan antara semen dan air yang akan digunakan [2].

Penggunaan campuran yang digunakan direncanakan berdasarkan nilai *lugeon* (*Lu*) hasil pengujian *water pressure test* (WPT) yang telah diperoleh. Analisis yang dilakukan yaitu berupa penentuan perbandingan yang akan digunakan serta volume campuran yang akan digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2
Hubungan Nilai *Lugeon* terhadap Campuran *Grouting*

Rasio campuran semen:air	Penggantian rasio	Keterangan
1:6	Pemasukan > 200 liter dalam 3 menit, campuran dikentalkan 1:4	Untuk nilai $5 < Lu < 10$

1:4	Pemasukan > 200 liter dalam 3 menit, campuran dikentalkan 1:3	Untuk nilai $10 < Lu < 25$
1:3	Pemasukan > 200 liter dalam 3 menit, campuran dikentalkan 1:2	Untuk nilai $25 < Lu < 50$
1:2	Pemasukan > 200 liter dalam 3 menit, campuran dikentalkan 1:1	Untuk nilai $50 < Lu < 100$
1:1	Digunakan sampai selesai	Dipakai langsung apabila terjadi <i>water loss</i> atau $Lu > 100$

2. Nilai *Lugeon*

Nilai *lugeon* memiliki pengaruh terhadap keadaan *Grouting*. Nilai 1 *lugeon* dalam SNI 8460-2017 dinyatakan setara dengan koefisien permeabilitas 1×10^{-5} cm/detik [6]. Nilai *lugeon* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Lu = \frac{10.Q}{p.L} \text{ atau } Lu = \frac{10.V}{p.L.t} \quad (1)$$

dengan,

Lu : nilai *lugeon*,

Q : debit air yang masuk (liter/menit),

L : panjang bagian yang diuji (m),

V : volume air yang diinjeksikan ke dalam lubang bor (liter),

t : waktu (menit),

p : tekanan uji (kg/cm²).

3. Efektivitas *Grouting*

Untuk mengetahui pengaruh *grouting*, dilakukan evaluasi terhadap efektifitas *grouting* yang ditunjukkan

oleh besarnya perubahan kelulusan air sebelum dan sesudah *grouting* dilakukan. Efektivitas memberikan pertimbangan mengenai faktor efek *ggrouting* terhadap parameter terukur. Faktor ini meliputi rembesan, kebocoran, tekanan, pergerakan tanah atau struktur, ketinggian air dan faktor lainnya. Nilai efektivitas *grouting* dinyatakan dalam persen (%), untuk menentukan apakah pengerjaan *grouting* sudah efektif atau belum, dinyatakan dengan Persamaan 2:

$$E_{fs} = 100 - (k_g - k) \times 100 \quad (2)$$

dengan:

E_{fs} : Efektivitas *grouting* dalam persen (%),

k_g : Kelulusan air sesudah *grouting*,

k : Kelulusan air sebelum *grouting*

Dalam penentuan besarnya nilai efektivitas *grouting* belum diperoleh klasifikasi efektivitas yang dijabarkan secara kualitatif sehingga berdasarkan nilai subjektif dan kualitatif efektivitas *grouting* dikelompokkan seperti dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3
Efektivitas dan Pengaruh *Grouting* [7]

Efektivitas <i>Grouting</i> (%)	Pengaruh <i>Grouting</i>
> 90	Sangat Baik
60–90	Baik
30–60	Sedang
10–30	Kurang
< 10	Buruk

C. Metode Penelitian

Pembangunan Bendungan Bulango Ulu terletak pada tiga desa di Kecamatan Bulango Utara, Kabupaten Bone

Bolango yaitu Desa Tuloa, Desa Owata, dan Desa Mongiilo seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Lokasi penelitian adalah pada pembangunan *face outlet spillway* bendungan Bulango Ulu berada di Desa Tuloa, Kecamatan Bulango Utara, Kabupaten Bone Bolango. Bagian lereng *face outlet spillway* yang diberikan perkuatan *grouting* memiliki bentang kurang lebih 82 m dengan 189 titik *grouting*. Adapun situasi *spillway* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi Bendungan Bulango Ulu



Gambar 2. Lokasi Situasi *Spillway*

Berdasarkan Gambar 3 kondisi geologi terowongan pengelak (*spillway*) dengan massa batuan yang dikategorikan menjadi tiga kelas, yaitu D, CL, CM-CH, dengan klasifikasi seperti berikut:

1. Kategori D

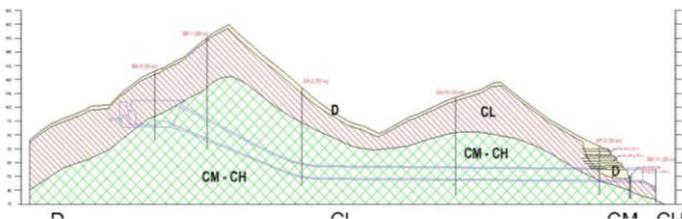
Pelapukan kuat hingga sedang dengan batuan sebagian besar menjadi soil kecoklatan, tetapi tekstur batuan asli masih tampak. Pada umumnya, batuan ini terdiri atas granit, diorit, dan granidiorit. Butiran mineral batuan tidak rusak, sementasi rendah pada beberapa bagian sampel.

2. Kategori CL

Pelapukan sedang di mana batuan sebagian menjadi soil kecoklatan, tetapi tekstur batuan asli masih tampak. Pada umumnya, batuan ini terdiri atas diorit. Butiran mineral batuan tidak rusak, sementasi rendah pada beberapa bagian sampel.

3. Kategori CM-CH

Pelapukan ringan hingga batuan segar. Komponen penyusun utama terdiri atas granit, diorit, dan granidiorit. Fragmen batuan umumnya keras, dengan kondisi sementasi di beberapa bagian segar dan sebagainya lapuk, tetapi kekerasan dari keseluruhan batuan hampir sama.



Gambar 3. Klasifikasi Massa Batuan Lereng *Spillway*

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder. Data sekunder diperoleh dari instansi terkait dalam proses pembangunan *spillway* Bendungan Bulango Ulu, dalam hal ini yaitu Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi II. Adapun data-data yang diperlukan seperti:

1. Data pelaksanaan *injection/grouting*;
2. Data kebutuhan campuran yang digunakan;
3. Data pengujian bor;
4. Data *water pressure test* (WPT);
5. Gambar teknis, elevasi *face outlet spillway*, dan dokumentasi saat pelaksanaan.

Analisis perhitungan nilai *lugeon* (*Lu*) dilakukan setelah melakukan proses pengujian permeabilitas, di mana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanah/batuan dalam meloloskan air. Pengujian permeabilitas yang dilakukan yaitu berupa *water pressure test* dengan memasukkan air dengan tekanan maksimum yang diijinkan, debit air yang masuk kemudian dicatat setiap menitnya. Debit air yang masuk pada lubang-lubang pada saat *water pressure test* dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan volume kebutuhan campuran, di mana debit air sama dengan volume campuran yang dibutuhkan untuk mengisi rongga-rongga lereng *face outlet spillway*.

Perbandingan campuran yang telah direncanakan kemudian diinjeksi ke dalam lubang bor, pada saat ini dilakukan analisis berikutnya dengan melihat *injection rate*. Nilai ini kemudian dapat memengaruhi perubahan perbandingan campuran yang akan digunakan dalam pelaksanaan *grouting*. Analisis dilakukan juga terhadap pengaruh nilai *lugeon* dengan menggunakan Persamaan 1, di mana nilai *lugeon* digunakan untuk mengetahui

keadaan retakan/rekahan dari tanah atau batuan. Analisis efektivitas *grouting* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2. Nilai efektivitas *grouting* dinyatakan dalam persen, di mana nilai efektivitas menggambarkan apakah sudah berhasil atau belumnya proses *grouting* yang dilakukan. Hasil dari analisis yang dilakukan kemudian diolah menggunakan bantuan *Microsoft Excel* dengan membuat diagram perbandingan. Dalam penelitian yang dilakukan, perhitungan analisis disesuaikan dengan SNI 2411-2008 dan SNI 8460-2017.

D. Hasil dan Pembahasan

1. Analisis Kebutuhan Campuran

Variasi desain campuran semen dan air ($\rho_s = 3,15 \text{ ton/m}^3$ dan $\rho_{air} = 1 \text{ ton/m}^3$) yang digunakan dalam pekerjaan *grouting* pada lereng *face outlet spillway* bendungan Bulango Ulu ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4
Variasi Kebutuhan Campuran *Grouting*

Perbandingan campuran	Berat semen (kg)	Berat air (liter)	Volume campuran (liter)
1: 6	31,66	189,95	200
1: 4	51,47	183,66	200
1: 3	60,29	180,86	200
1: 2	86,30	172,61	200
1: 1	151,81	151,81	200

Campuran *grouting* yang akan digunakan dalam proses injeksi adalah berdasarkan nilai *Lu* yang diperoleh. Kebutuhan volume campuran yang diperlukan untuk mengisi lubang *grouting* sama dengan banyaknya air yang masuk saat proses uji *packer* dilakukan. Adapun beberapa sampel

penggunaan campuran dan banyak volume campuran *grouting* yang digunakan dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5

Penggunaan Perbandingan dan Volume Campuran *Grouting*

Nomor Lubang 1 <i>Lu</i> = 22,64		Nomor Lubang 10 <i>Lu</i> = 26,45		Nomor Lubang 26 <i>Lu</i> = 29,28	
Semen: air	Volume campuran (Liter)	Semen: air	Volume campuran (Liter)	Semen: air	Volume campuran (Liter)
1:4	107,94	1:4	107,94	1:4	107,94
1:4	107,94	1:2	57,94	1:4	107,94
1:2	57,94	1:2	57,94	1:2	57,94
1:2	57,94	1:1	32,94	1:2	57,94
1:1	32,94	1:1	32,94	1:1	32,94
1:1	32,94			1:1	32,94
				1:1	32,94
				1:1	32,94
Total	397,64	Total	289,70	Total	463,52

2. Analisis Nilai *Lugeon* terhadap Efektivitas *Grouting*

Perkuatan *grouting* yang dilakukan pada lereng *face outlet spillway* perlu dilakukan pengecekan terhadap nilai *lugeon* (*Lu*). Nilai *lugeon* yang diperoleh dapat menentukan kondisi retakan dari lereng yang akan diberikan perkuatan. Pekerjaan *grouting* perlu dilakukan pengecekan terhadap efektivitas, di mana pengecekan dapat memberikan persentase berhasil atau tidaknya terhadap proses *grouting* yang dilakukan. Nilai efektivitas diperoleh dengan membandingkan nilai *Lu* sebelum dan sesudah *grouting* dilakukan. Hasil analisis nilai *Lu* dan efektivitas *grouting* dijelaskan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6

Hasil Analisis Nilai *Lugeon* dan Efektivitas Grouting *Stage 1*

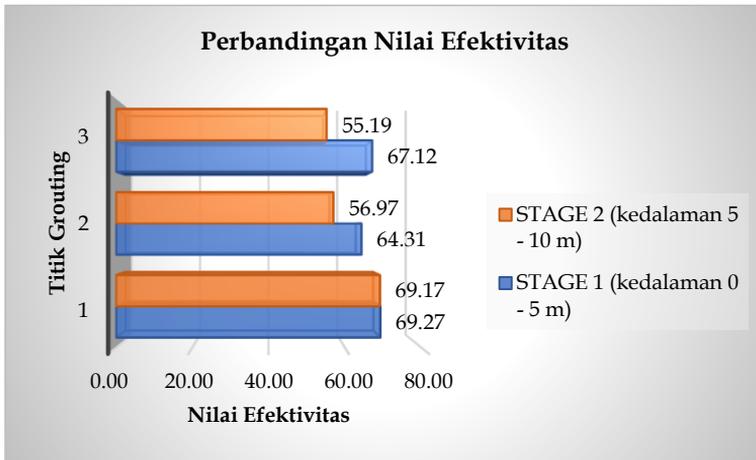
No.	Sampel Lubang	Q (ltr/min)	P _m (kg/cm ²)	P _s (kg/cm ²)	d ₁ (m)	d ₂ (m)	L (m)	P (kg/cm ²)	Lu (ltr/min/m)	Efs (%)	Ket
1	129	41,72	1,00	-0,42	0,50	5,00	4,50	0,58	159,85	69,27	Baik
2	139	45,22	1,00	-0,27	0,50	5,00	4,50	0,73	137,66	64,31	Baik
3	140	49,08	1,00	-0,27	0,50	5,00	4,50	0,73	149,41	67,12	Baik
4	Checkhole	41,12	1,00	0,86	0,50	5,00	4,50	1,86	49,13		Baik

Tabel 7

Hasil Analisis Nilai *Lugeon* dan Efektivitas Grouting *Stage 2*

No.	Sampel Lubang	Q (ltr/min)	P _m (kg/cm ²)	P _s (kg/cm ²)	d ₁ (m)	d ₂ (m)	L (m)	P (kg/cm ²)	Lu (ltr/min/m)	Efs (%)	Ket
1	129	31,54	2,00	-0,42	5,00	10,00	5,00	1,58	39,92	69,17	Baik
2	139	24,74	2,00	-0,27	5,00	10,00	5,00	1,73	28,60	56,97	Sedang
3	140	23,76	2,00	-0,27	5,00	10,00	5,00	1,73	27,47	55,19	Sedang
4	Checkhole	17,60	2,00	0,86	5,00	10,00	5,00	2,86	12,31		Baik

Berdasarkan hasil analisis nilai efektivitas *grouting 1* titik *checkhole* terhadap 3 titik *grouting* dengan 2 *stage*, yaitu pada kedalaman 0–5 m *stage 1* dan *stage 2* pada kedalaman 5–10 m diperoleh perbandingan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan Nilai Efektivitas Grouting

E. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan campuran semen dan air dihitung dengan menerapkan berat jenis semen sebesar 3,15 ton/m³. Pada titik 1 diperoleh volume campuran yang diperlukan yaitu sebanyak 397,64 liter, pada titik 10 sebanyak 289,70 liter, dan pada titik 26 sebanyak 463,52 liter.
2. Pada *stage* 1 titik 129 diperoleh *Lu* sebesar 159,85, titik 139 *Lu* sebesar 137,66, dan titik 140 *Lu* sebesar 149,41 dengan klasifikasi tinggi sebagian besar retakan terbuka. Pada *stage* 2 titik 129 diperoleh *Lu* sebesar 39,92, titik 139 *Lu* sebesar 28,60, dan titik 140 *Lu* sebesar 27,47 dengan klasifikasi sedang sebagian kecil retakan terbuka. Pada titik *checkhole* diperoleh *Lu* sebesar 49,13 pada *stage* 1 dengan klasifikasi sedang sebagian kecil retakan terbuka, sedangkan pada *stage* 2 diperoleh nilai *Lu* sebesar 12,31 dengan klasifikasi sedang dengan sebagian kecil retakan terbuka.
3. Nilai efektivitas pada *stage* 1 diperoleh 69,27% pada titik 129, 64,31% pada titik 139, dan 67,12% dengan klasifikasi baik. Pada *stage* 2 diperoleh nilai efektivitas 69,17% pada titik 129 klasifikasi baik, pada titik 139 dan 140 diperoleh 56,97% dan 55,19% dengan klasifikasi sedang.

Referensi

- [1] M. A. Asy'ari, R. Hidayatulah, D. Lestari, S. B. Kahar and M. Kristoyono, "Pengaruh *Grouting* terhadap Nilai *Lugeon* Pada Batuan Dasar Pondasi Bendungan Tapin," *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, vol. V, no. 2, pp. 103-116, 2021.
- [2] Kurniawan, A. Nursandah and D. A. Hutama, "Pengaruh Nilai *Lugeon* (*Lv*) pada Test *Grouting* Proyek Pembangunan Waduk Gongseng di Kabupaten Bojonegoro," *Agregat*, vol. IV, no. 2, pp. 343-349, 2019.

- [3] Sumirin and R. B. Arief, "Analisis Efektivitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 23, no. 1, pp. 23-28, 2017.
- [4] R. H. Karol, *Chemical Grouting and Soil Stabilization*, 3rd ed., New York: Marcel Dekker, 2003.
- [5] B. S. Prayogo, "Metode Pelaksanaan Efektivitas Perbaikan Pondasi dengan Metode *Grouting* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Bendungan Beringin Sila Paket II Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat)," *Repository Universitas Jember*, pp. 4-29, 2020.
- [6] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, SNI 8460 Persyaratan Perancangan Geoteknik, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2017.
- [7] D. R. Pangesti, "Pedoman *Grouting* untuk Bendungan," Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Sungai, Danau dan Waduk, Jakarta, 2005.

Penentuan Tingkat Kerusakan Jalan dan Penanganannya
Menggunakan Metode *International Roughness Index* (IRI)
dan *Survey Distress Index* (SDI)
(Studi Kasus Ruas Jalan Trans Sulawesi KM 93–KM 102,
Kecamatan Atinggola, Kabupaten Gorontalo Utara)

Muhammad A. Ziad Sumba

Universitas Negeri Gorontalo

Pos-el: muhammad_005854_s1sipil2016@mahasiswa.ung.ac.id

Frice L. Desei

Universitas Negeri Gorontalo

Pos-el: fricedesei@ung.ac.id

Fadly Achmad

Universitas Negeri Gorontalo

Pos-el: fadly@ung.ac.id

Abstrak

A decrease in road quality occurs in this segment, where the traffic load is so high that it causes damage to the road surface, causing drivers discomfort, longer travel times, and accidents. This study aims to find the value of the *International Roughness Index* (IRI) and *surface Distress Index* (SDI) in this 9 km long road study. This research applied two methods, namely the *Surface Distress Index* (SDI) method, and the *International Roughness Index* (IRI) method. The *International Roughness Index* (IRI) method is a method for measuring road surface unevenness using an application on a smartphone, namely the *RoadLab Pro* application. Whereas, the *Surface Distress Index* (SDI) method is a method of assessing the condition of damage to roads based on visual observations or directly in the field. Subsequently, the types of damage included the area and width of the cracks, the number of holes, and the depth of the grooves on the road pavement surface. The results showed that the percentage of unevenness index using the IRI method was 6% in good condition, 52% in moderate damage, 35% in minor damage, and 7% in major damage condition. Meanwhile using

the SDI method found that 60% were in good condition, 30% were in moderate damage, 8.89% were in minor damage, and 1.11% were in major damage. In sum, the assessment of the IRI method was obtained at 6.29% with moderate conditions, while using the SDI method obtained at 50,611% in moderate conditions. Therefore, the proper handling on the Trans Sulawesi road of the Atinggola Sub-district is to carry out routine maintenance.

Kata Kunci: *international roughness index (IRI), surface distress index (SDI), road damage handling*

A. Pendahuluan

Perencanaan program penanganan jalan, baik itu perbaikan, pemeliharaan maupun rekonstruksi, pada umumnya sangat diperlukan untuk memperpanjang masa pakai jalan (Hardiyatmo, 2015). Evaluasi kondisi perkerasan jalan sangat menentukan langkah selanjutnya yang akan dilakukan dalam program perbaikan dan pemeliharaan pada perkerasan jalan. Hal ini akan terlihat banyak jenis-jenis kerusakan yang terjadi di sepanjang ruas ataupun daerah yang menjadi program penanganan [1].

Kerusakan jalan yang terjadi di berbagai daerah khususnya di Provinsi Gorontalo saat ini merupakan permasalahan yang kompleks dan kerugian yang diderita sungguh besar, seperti terjadinya waktu tempuh yang lama, kemacetan, kecelakaan lalu lintas, dan lain-lain. Kerusakan pada konstruksi jalan juga sering terjadi lebih cepat sebelum umur rencana yang diperhitungkan tercapai. Penurunan kualitas jalan terjadi pada ruas Jalan Trans Sulawesi km.93–km.102, Kecamatan Atinggola, Kabupaten Gorontalo Utara. Jalan ini merupakan lintas penghubung antara Provinsi Gorontalo dan Provinsi

Sulawesi Utara. Pada ruas ini terdapat banyak kerusakan yang membuat tidak nyamannya pengendara sekaligus menghambat aktivitas masyarakat untuk melintasi jalan tersebut. Penurunan kualitas jalan ini terlihat dari banyaknya lubang, tidak rataanya jalan, retak-retak, dan ambblas di sepanjang ruas jalan, apabila dibiarkan dalam waktu yang cukup lama, maka akan dapat memperparah kondisi lapisan perkerasan.

Melihat kemampuan layanan jalan semakin menurun, dibutuhkan program pemeliharaan atau dilakukannya perbaikan kualitas jalan. Penanganan dilakukan dengan perencanaan pemeliharaan atau peningkatan jalan. Pemilihan bentuk pemeliharaan jalan yang tepat dilakukan dengan melakukan pengukuran menggunakan beberapa metode. Metode yang menjadi parameter penilaian kondisi jalan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode IRI (*International Roughness Index*), dan SDI (*Surface Distress Index*).

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai penilaian kondisi kerusakan jalan menggunakan metode *IRI* dan *SDI*, di antaranya dilakukan oleh Octavia (2020), Irianto (2020), Zulmi, dkk. (2018), Baihaqi, dkk. (2018). [2]

Penelitian yang dilakukan oleh Baihaqi, dkk. (2018), tentang tinjauan kondisi perkerasan jalan dengan kombinasi nilai *International Roughness Index (IRI)* dan *Surface Distress Index (SDI)* pada jalan Takengon-Blangkejeren. Hasil penelitian yang diperoleh dari keseluruhan panjang jalan yang menjadi objek penelitian sepanjang 12,63 km yaitu 45,02% baik, 45,81% sedang, 6,87% rusak ringan, dan 2,29% rusak berat [3]. Perlu dilakukan pengambilan data atau survei lapangan antara

data nilai IRI dan SDI secara bersamaan atau dalam waktu yang berdekatan agar tidak terjadi perbedaan dalam menentukan jenis penanganan kerusakan jalan yang tepat.

B. Kajian Teoretis

1. Bagian-Bagian Jalan

Bagian-bagian jalan meliputi ruang bebas jalan (rubeja), ruang manfaat jalan (rumaja), ruang milik jalan (rumija), dan ruang pengawas jalan (ruwasja). Ruang bebas jalan adalah area sisi jalan yang bersih dari objek berbahaya seperti segala bentuk bangunan atau penghalang atau bentuk muka tanah yang berisiko tertabrak oleh kendaraan yang keluar dari jalur lintasan. Ruang manfaat jalan adalah daerah sepanjang jalan dibatasi oleh lebar tinggi dan kedalaman ruang batas tertentu. Yang termasuk dalam daerah ruang manfaat jalan adalah badan jalan, saluran tepi jalan dan ambang pengaman. Ruang milik jalan yaitu ruang manfaat jalan dan sejalar tanah tertentu di luar ruang manfaat jalan. Rumija diperuntukkan bagi daerah atau ruang manfaat jalan dan pelebaran jalan, maupun penambahan jalur lalu lintas di kemudian hari. Ruang pengawasan jalan merupakan ruang tertentu di luar ruang milik jalan yang ada di bawah pengawasan penyelenggara jalan, ruang ini diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengaman konstruksi jalan. Bagian-bagian jalan ditunjukkan pada Gambar 1.

4. Jenis Kerusakan Perkerasan

Menurut Manual Pemeliharaan Jalan, “survei kondisi jalan” yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga (2011), kerusakan jalan dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Retak (*Cracking*)
 - 1) Retak halus (*hair cracking*) atau retak garis
 - 2) Retak kulit buaya (*alligator crack*)
 - 3) Retak pinggir (*edge crack*)
 - 4) Retak sambungan bahu dan perkerasan (*edge joint crack*)
 - 5) Retak sambungan jalan (*lane joint cracks*)
 - 6) Retak sambungan pelebaran jalan (*widening cracks*)
 - 7) Retak refleksi (*reflection cracks*)
 - 8) Retak susut (*shrinkage cracks*)
 - 9) Retak selip (*slippage cracks*)
- b. Distorsi (*Distortion*)
 - 1) Alur (*ruts*)
 - 2) Keriting (*corrugation*)
 - 3) Sungkur (*shoving*)
 - 4) Jembul (*upheaval*)
- c. Cacat Permukaan (*surface defect*)
 - 1) Lubang (*potholes*)
 - 2) Pelepasan butiran (*raveling*),
 - 3) Pengelupasan lapisan permukaan (*stripping*)
 - 4) Pengausan (*Polished Aggregate*)
 - 5) Kegemukan (*bleeding or flushing*) [6]

5. Penilaian Kondisi Jalan

a. *Surface Distress Index (SDI)*

Menurut Manual Pemeliharaan Jalan atau SKJ 2011, untuk menghitung besaran nilai *SDI*, hanya

ada 4 unsur yang dipergunakan sebagai dukungan yaitu:

1) Persentase luas retak

Persentase luas retak yaitu luas bagian permukaan jalan yang mengalami retakan. Perhitungan luas setiap jenis kerusakan yang ada dengan menggunakan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$Ar = Pr \times Lr \quad (1)$$

$$At = Pt \times Lt \quad (2)$$

dengan:

Ar : luas rusak jalan (m^2),

At : luas total jalan (m^2),

Pr : panjang rusak jalan (m),

Pt : panjang jalan (m),

Lr : lebar rusak jalan (m),

Lt : lebar jalan (m).

Persentase luas retak jalan dihitung dengan Persamaan 2.3:

$$\%r = \frac{Ar}{At} \times 100\% \quad (3)$$

2) Rata-rata lebar retak

Lebar retak yaitu jarak antara celah bidang retak pada permukaan perkerasan. Periksa dan tandai pada formulir pengisian lebar celah retakan yang paling banyak ditemui pada permukaan jalan yang sedang disurvei. Lebar retakan dikategorikan menjadi:

a) Halus < 1 mm;

b) Medium 1–3 mm;

c) Lebar > 3 mm.

- 3) Jumlah lubang per km
Jumlah lubang yang terdapat pada permukaan jalan yang disurvei sepanjang 100 m. Jumlah lubang yang ada pada suatu bagian jalan yang disurvei agar diperkirakan dan dicatat di dalam lembaran survei.
- 4) Rata-rata kedalaman bekas roda (*rutting*) penurunan permukaan jalan pada daerah yang sering dilalui oleh bekas roda kendaraan. Bekas roda harus dilihat kedalamannya sesuai dengan kategori berikut:
 - a) kedalaman < 1 cm;
 - b) kedalaman antara 1-3 cm;
 - c) kedalaman > 3 cm. [6]

b. *International Roughness Index (IRI)*

International Roughness Index (IRI) adalah metode untuk mengukur ketidakrataan permukaan jalan. Beberapa penyebab ketidakrataan jalan yaitu beban lalu lintas, efek dari lingkungan, bahan dari pembuatan jalan, serta penyimpangan pada proses konstruksi jalan.

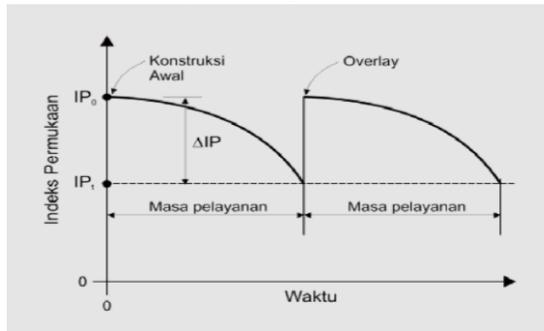
Adapun alat ukur yang digunakan dalam mencari nilai ketidakrataan jalan salah satunya dengan menggunakan *aplikasi smartphone*, yakni *RoadLab Pro* yang merupakan aplikasi yang diciptakan oleh *The World Bank* yang berkerja sama dengan *Beldor Center, Softteco, and Progress Analytics LLC* sebagai alat pengumpulan data untuk insinyur. Aplikasi ini dirilis pada 7 Mei 2016 dan telah diperbaharui kembali pada 12 September 2018. *RoadLab Pro* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Aplikasi *RoadLab Pro*

6. Preservasi Jalan

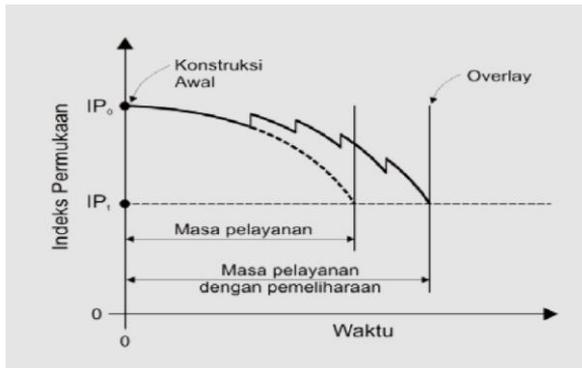
Struktur perkerasan jalan mengalami penurunan kinerja akibat berbagai sebab antara lain repetisi beban lalu lintas, air, sistem drainase yang kurang baik, perubahan temperatur dan intensitas curah hujan, kondisi geologi lingkungan, kondisi tanah dasar yang kurang stabil, dan proses pelaksanaan yang kurang baik. Selama masa pelayanan struktur perkerasan mengalami penurunan kinerja dari kinerja awal (IP_0) yang diharapkan sampai dengan kinerja akhir (IP_t), [10]. Penurunan kinerja tanpa adanya pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Penurunan Kinerja Perkerasan dari IP_0 ke IP_t Tanpa Pemeliharaan

Waktu penurunan kinerja dari IP_0 sampai dengan IP_t diharapkan sama dengan umur rencana. Jika dilakukan pemeliharaan secara periodik

penurunan dari IP_0 sampai mencapai IP_t terjadi pada waktu yang lebih panjang. Penurunan kinerja dengan adanya pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Penurunan Kinerja Perkerasan dari IP_0 ke IP_t dengan Pemeliharaan

Struktur perkerasan jalan yang telah mencapai indeks permukaan sama dengan IP_t disebut sebagai perkerasan yang telah habis masa pelayanannya. Preservasi selain merupakan program peningkatan kinerja struktur perkerasan agar mampu melayani repetisi lalu lintas selama umur rencana atau masa layanan berikutnya, juga adalah kegiatan penanganan jalan berupa pencegahan, perawatan, dan perbaikan yang diperlukan untuk mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi secara optimal melayani lalu lintas sehingga umur rencana yang ditetapkan dapat tercapai. Preservasi jalan bertujuan untuk mempertahankan kondisi jalan, menurunkan biaya transportasi, dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi.

Data metode *SDI* dan *IRI* berdasarkan data visual untuk memastikan jenis penanganan yang akan dilaksanakan, merujuk pada spesifikasi Bina Marga 2018 (revisi 2), adapun jenis penanganan jalan pada

pekerjaan preservasi jalan nasional diklasifikasikan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. [7]

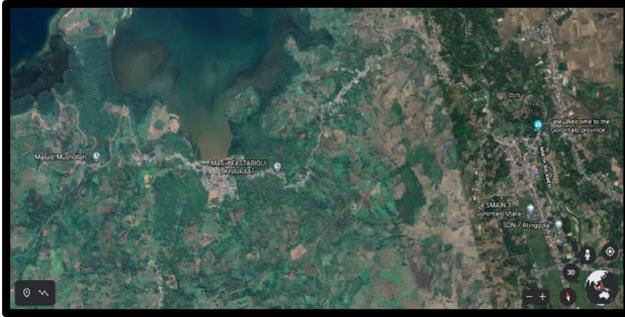
Tabel 1

Klasifikasi Penanganan Preservasi Jalan Nasional

No.	Klasifikasi Penanganan
1	Pemeliharaan rutin (untuk bangunan pelengkap, seperti trotoar, kerb, saluran dan tanaman)
2	Pemeliharaan rutin kondisi
3	Preventif
4	<i> Holding</i>
5	Rehabilitas minor
6	Rehabilitas mayor
7	Rekonstruksi
8	Peningkatan jalan tanah
9	Pelebaran menuju standar

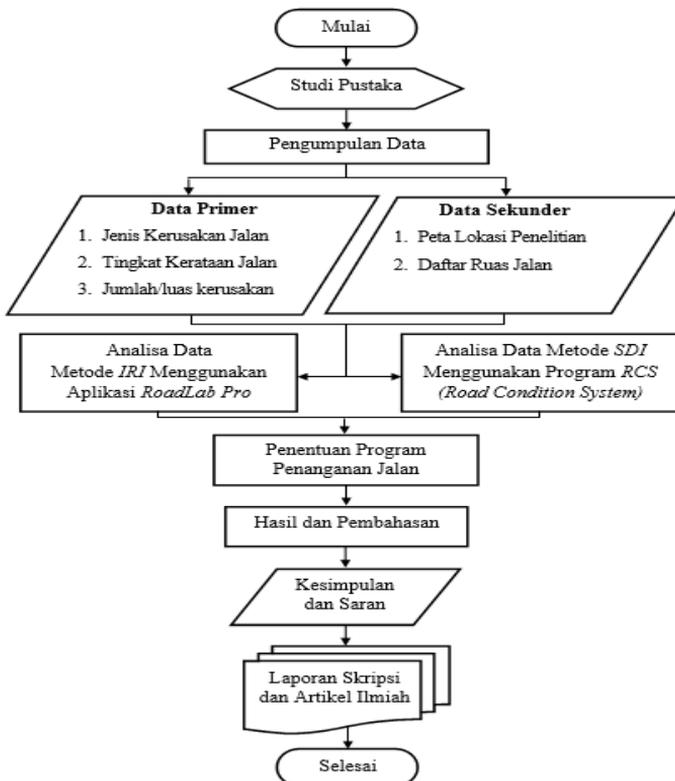
C. Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada ruas Jalan Trans Sulawesi, Kecamatan Atinggola, Kabupaten Gorontalo Utara sepanjang 9 km, penelitian dimulai dari km 93 s.d km 102. Jalan ini merupakan jalan nasional penghubung antara Provinsi Gorontalo dan Provinsi Sulawesi Utara yang berada pada kewenangan Satker Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah Provinsi Gorontalo, dengan konstruksi menggunakan tipe pekerasan lentur (*flexibel pavement*), berstatus jalan nasional yang masuk pada ruas Jalan Atinggola-Kwandang dengan nomor ruas 001, sistem jaringan jalan kelas I (arteri primer). Hambatan samping relatif rendah, kemudian memiliki markah jalan, paku jalan, tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi (2/2 UD), dengan lebar badan jalan pada segmen yang diteliti rata-rata yaitu 7 meter, lebar bahu di dua sisi masing-masing 1,5 meter dan memiliki saluran samping disebagian kecil ruas jalan.



Gambar 6 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth)

Tahapan penelitian dijelaskan pada bagan alir Gambar 7.



Gambar 7 Bagan Alir Penelitian

D. Hasil dan Pembahasan

1. Identifikasi Kerusakan Jalan

Jenis kerusakan jalan dan luasan yang terdapat pada ruas jalan Trans Sulawesi km 93+000 s.d km 102+000 ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2
Persentase Jenis kerusakan jalan

No	Jenis Kerusakan	Luasan (m ²)	Persentase Kerusakan (%)
1	Retak (<i>Cracking</i>)	7.291,98	65,74
2	Lubang (<i>Potholes</i>)	339,15	3,06
3	Pelepasan Butiran (<i>Raveling</i>)	2.531,26	22,82
4	Alur Bekas Roda (<i>Rutting</i>)	186,89	1,68
5	Tambalan (<i>Patching end Uniliti Cut Patching</i>)	698,09	6,29
6	Sungkur (<i>Shoving</i>)	44,26	0,40
Total		11.091,63	100

2. Analisis Metode *International Roughness Index (IRI)*

Pembacaan Nilai *IRI* oleh aplikasi *RoadLab Pro* terbaca per 100 meter, dan didapatkan hasil dari survei penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3
Hasil Pengukuran Nilai *IRI*

Jalan Tras Sulawesi km. 93–km. 102 Kecamatan Atinggola					
No.	Stasioning (m)	IRI Jalur Kiri	Kondisi Jalan	IRI Jalur Kanan	Kondisi Jalan
1	93+000-93+100	5,79	Sedang	3.73	Baik
2	93+100-93+200	5,27	Sedang	4.86	Sedang
3	93+200-93+300	7,24	Buruk	5.12	Sedang
4	93+300-93+400	4,75	Sedang	5.53	Sedang
5	93+400-93+500	4,74	Sedang	8.36	Buruk

6	93+500-93+600	4.17	Sedang	3.62	Baik
7	93+600-93+700	4.92	Sedang	4.47	Sedang
8	93+700-93+800	3.84	Baik	5.98	Sedang
9	93+800-93+900	6.04	Buruk	3.7	Baik
10	93+900-94+000	7.13	Buruk	8.23	Buruk
11	94+000-94+100	7.89	Buruk	7.38	Buruk
12	94+100-94+200	3.6	Baik	4.95	Sedang
13	94+200-94+300	5.5	Sedang	3.86	Baik
14	94+300-94+400	4.96	Sedang	6.09	Buruk
15	94+400-94+500	5	Sedang	10.46	Sangat Buruk
16	94+500-94+600	9.06	Buruk	11.32	Sangat Buruk
17	94+600-94+700	6.72	Buruk	6.91	Buruk
18	94+700-94+800	4.72	Sedang	5.29	Sedang
19	94+800-94+900	4.89	Sedang	8.13	Buruk
20	94+900-95+000	4.61	Sedang	6.21	Buruk
21	95+000-95+100	4.56	Sedang	5.39	Sedang
22	95+100-95+200	5	Sedang	5.54	Sedang
23	95+200-95+300	5.21	Sedang	8.18	Buruk
24	95+300-95+400	6.59	Buruk	7.95	Buruk
25	95+400-95+500	5.46	Sedang	5.63	Sedang
26	95+500-95+600	4.56	Sedang	6.82	Buruk
27	95+600-95+700	4.87	Sedang	7.61	Buruk
28	95+700-95+800	5.01	Sedang	6.46	Buruk
29	95+800-95+900	4.88	Sedang	5.49	Sedang
30	95+900-96+000	5.18	Sedang	5.5	Sedang
31	96+000-96+100	4.09	Sedang	5.51	Sedang
32	96+100-96+200	4.3	Sedang	4.85	Sedang
33	96+200-96+300	4.95	Sedang	6.53	Sedang
34	96+300-96+400	3.76	Sedang	5.67	Buruk
35	96+400-96+500	4.07	Sedang	5.06	Sedang
36	96+500-96+600	5.25	Sedang	5.24	Sedang
37	96+600-96+700	3.78	Baik	4.05	Sedang
38	96+700-96+800	4.73	Sedang	4.72	Sedang
39	96+800-96+900	4.31	Sedang	4.33	Sedang
40	96+900-97+000	4.64	Sedang	7.68	Buruk
41	97+000-97+100	5.72	Sedang	3.84	Baik
42	97+100-97+200	5.83	Sedang	6.19	Buruk

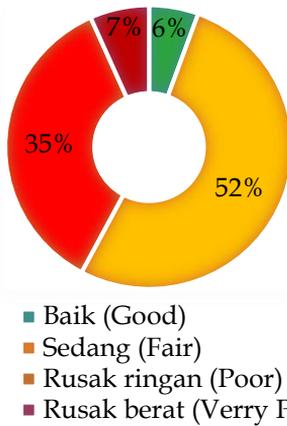
43	97+200-97+300	4.4	Sedang	5.83	Sedang
44	97+300-97+400	7.8	Buruk	7.69	Buruk
45	97+400-97+500	4.8	Sedang	6.38	Buruk
46	97+500-97+600	6.11	Buruk	14.51	Sangat Buruk
47	97+600-97+700	6.02	Buruk	15.03	Sangat Buruk
48	97+700-97+800	5.41	Sedang	12.55	Sangat Buruk
49	97+800-97+900	8.31	Buruk	7.55	Buruk
50	97+900-98+000	6.12	Buruk	10.49	Sangat Buruk
51	98+000-98+100	6.57	Buruk	12.97	Sangat Buruk
52	98+100-98+200	9.03	Buruk	7.42	Buruk
53	98+200-98+300	8.14	Buruk	11.45	Sangat Buruk
54	98+300-98+400	7.28	Buruk	8.17	Buruk
55	98+400-98+500	7.68	Buruk	9.26	Buruk
56	98+500-98+600	7.19	Buruk	7.27	Buruk
57	98+600-98+700	5.23	Sedang	12.76	Sangat Buruk
58	98+700-98+800	4.88	Sedang	8.42	Buruk
59	98+800-98+900	4.27	Sedang	5.28	Buruk
60	98+900-99+000	5.34	Sedang	5.24	Sedang
61	99+000-99+100	4.31	Sedang	6.9	Sedang
62	99+100-99+200	4.56	Sedang	10.5	Sangat Buruk
63	99+200-99+300	4.04	Sedang	5.35	Sedang
64	99+300-99+400	4.2	Sedang	4.7	Sedang
65	99+400-99+500	4.3	Sedang	5	Sedang
66	99+500-99+600	5.3	Sedang	6.77	Buruk
67	99+600-99+700	4.06	Sedang	9.1	Buruk
68	99+700-99+800	4.93	Sedang	5.89	Sedang
69	99+800-99+900	4.27	Sedang	5.12	Sedang
70	99+900-100+000	4.09	Sedang	7.66	Buruk
71	100+000-100+100	8	Buruk	5.91	Sedang
72	100+100-100+200	9.03	Buruk	8.49	Buruk
73	100+200-100+300	5.73	Sedang	7.15	Buruk
74	100+300-100+400	6.36	Buruk	6.86	Buruk
75	100+400-100+500	7.93	Buruk	6.52	Buruk
76	100+500-100+600	5.42	Sedang	6.77	Buruk
77	100+600-100+700	7	Buruk	5.56	Sedang
78	100+700-100+800	6.22	Buruk	8.64	Buruk
79	100+800-100+900	6.74	Buruk	9.38	Buruk

80	100+900-101+000	5.02	Sedang	13.17	Sangat Buruk
81	101+000-101+100	4.5	Sedang	5.98	Sedang
82	101+100-101+200	6.15	Buruk	9.25	Buruk
83	101+200-101+300	5.93	Sedang	14.51	Sangat Buruk
84	101+300-101+400	7.5	Buruk	7.23	Buruk
85	101+400-101+500	4.6	Sedang	9.06	Buruk
86	101+500-101+600	4.9	Sedang	5.05	Sedang
87	101+600-101+700	4.07	Sedang	4.94	Sedang
88	101+700-101+800	3.59	Baik	5.55	Sedang
89	101+800-101+900	3.6	Baik	4.87	Sedang
90	101+900-102+000	5.12	Sedang	5.45	Sedang
Jumlah		493.64	<i>Sedang</i>	638.04	<i>Sedang</i>
Nilai IRI Rata-rata		5.48		7.09	
Nilai IRI Rata-rata Jalur Kiri dan Kanan		6.29		Sedang/Fair	

Berdasarkan Tabel 3 telah diperoleh tingkat dan kondisi ketidakrataan permukaan jalan, dan didapatkan persentase penilaian IRI ditunjukkan pada Tabel 4, dan Gambar 8.

Tabel 4
Persentase Kerusakan Jalan Metode IRI

Kondisi Jalan	Jumlah Segmen	Persentase (%)
Baik (<i>Good</i>)	10	5.56
Sedang (<i>Fair</i>)	94	52.22
Rusak ringan (<i>Poor</i>)	64	35.56
Rusak berat (<i>Verry Poor</i>)	12	6.67
Total	180	100.00



Gambar 8 Persentase Ketidakrataan Penilaian IRI

3. Analisis Metode *Surface Distress Index (SDI)*

Berdasarkan data kerusakan jalan yang diperoleh dari survei lapangan, maka selanjutnya dilakukan penilaian kondisi untuk menentukan nilai *SDI* pada ruas Jalan Trans Sulawesi Kecamatan Atinggola, KM 93 s.d KM 102. Data hasil pengamatan kemudian diolah berdasarkan penjelasan yang sesuai dengan metode penelitian pada Bab III. Hasil perhitungan nilai *SDI* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5
Hasil Pengukuran Nilai *SDI*

No.	STA (m)	Nilai <i>SDI</i>	Kondisi Jalan
1	93+000-93+100	25	Baik
2	93+100-93+200	27.5	Baik
3	93+200-93+300	50	Sedang
4	93+300-93+400	65	Sedang
5	93+400-93+500	35	Baik
6	93+500-93+600	30	Baik
7	93+600-93+700	35	Baik
8	93+700-93+800	20	Baik
9	93+800-93+900	35	Baik

10	93+900-94+000	35	Baik
11	94+000-94+100	50	Sedang
12	94+100-94+200	50	Sedang
13	94+200-94+300	20	Baik
14	94+300-94+400	27.5	Baik
15	94+400-94+500	35	Baik
16	94+500-94+600	35	Baik
17	94+600-94+700	75	Sedang
18	94+700-94+800	27.5	Baik
19	94+800-94+900	27.5	Baik
20	94+900-95+000	27.5	Baik
21	95+000-95+100	35	Baik
22	95+100-95+200	35	Baik
23	95+200-95+300	35	Baik
24	95+300-95+400	45	Baik
25	95+400-95+500	20	Baik
26	95+500-95+600	27.5	Baik
27	95+600-95+700	27.5	Baik
28	95+700-95+800	35	Baik
29	95+800-95+900	30	Baik
30	95+900-96+000	20	Baik
31	96+000-96+100	75	Sedang
32	96+100-96+200	75	Sedang
33	96+200-96+300	35	Baik
34	96+300-96+400	75	Sedang
35	96+400-96+500	75	Sedang
36	96+500-96+600	65	Sedang
37	96+600-96+700	155	Rusak Berat
38	96+700-96+800	75	Sedang
39	96+800-96+900	60	Sedang
40	96+900-97+000	60	Sedang
41	97+000-97+100	115	Rusak Ringan
42	97+100-97+200	115	Rusak Ringan
43	97+200-97+300	115	Rusak Ringan
44	97+300-97+400	105	Rusak Ringan
45	97+400-97+500	65	Sedang
46	97+500-97+600	65	Sedang
47	97+600-97+700	65	Sedang
48	97+700-97+800	65	Sedang
49	97+800-97+900	65	Sedang

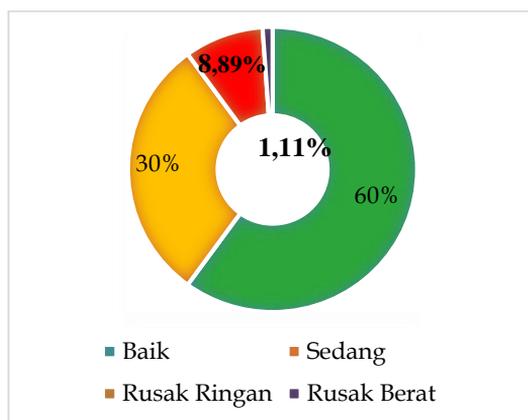
50	97+900-98+000	65	Sedang
51	98+000-98+100	135	Rusak Ringan
52	98+100-98+200	65	Sedang
53	98+200-98+300	65	Sedang
54	98+300-98+400	45	Baik
55	98+400-98+500	20	Baik
56	98+500-98+600	45	Baik
57	98+600-98+700	20	Baik
58	98+700-98+800	35	Baik
59	98+800-98+900	35	Baik
60	98+900-99+000	15	Baik
61	99+000-99+100	45	Baik
62	99+100-99+200	45	Baik
63	99+200-99+300	30	Baik
64	99+300-99+400	45	Baik
65	99+400-99+500	20	Baik
66	99+500-99+600	45	Baik
67	99+600-99+700	115	Rusak Ringan
68	99+700-99+800	65	Sedang
69	99+800-99+900	65	Sedang
70	99+900-100+000	105	Rusak Ringan
71	100+000-100+100	20	Baik
72	100+100-100+200	15	Baik
73	100+200-100+300	30	Baik
74	100+300-100+400	30	Baik
75	100+400-100+500	35	Baik
76	100+500-100+600	35	Baik
77	100+600-100+700	75	Sedang
78	100+700-100+800	65	Sedang
79	100+800-100+900	87.5	Sedang
80	100+900-101+000	27.5	Baik
81	101+000-101+100	45	Baik
82	101+100-101+200	115	Rusak Ringan
83	101+200-101+300	57.5	Sedang
84	101+300-101+400	35	Baik
85	101+400-101+500	27.5	Baik
86	101+500-101+600	27.5	Baik
87	101+600-101+700	27.5	Baik
88	101+700-101+800	27.5	Baik
89	101+800-101+900	45	Baik

90	101+900-102+000	35	Baik
	$SDI_f = \Sigma SDI_s/N$	4555	
<i>Jumlah</i>	3560/90	50.611	<i>Sedang</i>

Berdasarkan Tabel 5 telah diperoleh tingkat dan kondisi kerusakan permukaan jalan dan didapatkan persentase penilaian SDI ditunjukkan pada Tabel 6, dan Gambar 9.

Tabel 6
Persentase Kerusakan Jalan Metode SDI

Kondisi Jalan	Jumlah Segmen	Persentase (%)
Baik	54	60,00
Sedang	27	30,00
Rusak Ringan	8	8,89
Rusak Berat	1	1,11
Total	90	100.00



Gambar 9 Persentase Kerusakan Penilaian SDI

4. Analisis Program Penanganan Kerusakan

Penentuan kondisi jalan dan penanganan menurut nilai IRI dan SDI yang didapatkan dari rekapitulasi data keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7

Penentuan Kondisi Jalan dan Penanganan Berdasarkan Nilai IRI dan SDI

No	STA	Nilai		Kondisi Jalan (IRI/SDI)	Usulan Penanganan
		IRI	SDI		
1	93+009 s.d 94+000	5.37	35.75	Sedang/Baik	Pemeliharaan Rutin
2	94+000 s.d 95+000	6.39	37.5	Sedang/Baik	Pemeliharaan Rutin
3	95+000 s.d 96+000	5.80	31	Sedang/Baik	Pemeliharaan Rutin
4	96+000 s.d 97+000	4.88	75	Sedang/ Sedang	Pemeliharaan Rutin
5	97+000 s.d 98+000	7.53	84	Sedang/ Sedang	Pemeliharaan Rutin
6	98+000 s.d 99+000	7.69	48	Sedang/Baik	Pemeliharaan Rutin
7	99+000 s.d 100+000	5.56	58	Sedang/ Sedang	Pemeliharaan rutin
8	100+000 s.d 101+000	7.30	42	Sedang/Baik	Pemeliharaan Rutin
9	101+000 s.d 102+000	6.10	44.25	Sedang/Baik	Pemeliharaan Rutin

Tabel 7 menunjukkan bahwa kondisi perkerasan jalan Trans Sulawesi KM. 93+000-KM. 102+000, nilai IRI dan SDI kondisinya termasuk kategori sedang, maka program penanganan yang tepat sesuai standar peraturan Menteri Pekerjaan Umum Bina Marga No. 13/PRT/M/2011 adalah pemeliharaan rutin. [8]

E. Penutup

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Kerusakan Jalan

Ada 6 jenis kerusakan jalan dengan persentase yang tertinggi yaitu, retak sebesar 65,74%, pelepasan

butiran 22,82%, tambalan 6,29%, lubang 3,06%, alur 1,68%, dan sungkur 0,40%.

2. Metode *International Roughness Index* (IRI)

Nilai persentase indeks ketidakrataan permukaan jalan berdasarkan nilai IRI menggunakan aplikasi *RoadLab Pro* dimulai pada Sta. 93+000 s.d Sta 102+000 sebanyak 180 segmen. Kondisi permukaan jalan kondisi baik sebesar 5,56%, kondisi sedang sebesar 52,22%, kondisi rusak ringan sebesar 35,56%, kondisi rusak berat sebesar 6,67%.

3. Metode *Surface Distress Index* (SDI)

a. Nilai persentase indeks kerusakan perkerasan jalan berdasarkan nilai *SDI* sebanyak 90 segmen. Kondisi baik sebesar 60%, kondisi sedang sebesar 30%, kerusakan ringan sebesar 8,89% dan kerusakan berat sebesar 1,11%.

b. Jenis kerusakan yang paling dominan adalah retak (*cracking*) dan lubang (*pothole*).

4. Program penanganan kerusakan jalan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai SDI dan IRI, didapatkan nilai IRI termasuk kondisi sedang dengan nilai 4–8, sedangkan metode SDI kondisi sedang dengan nilai 50–100. Nilai kedua metode tersebut terdapat pada ruas keseluruhan panjang jalan yang menjadi lokasi penelitian.

Usulan penanganan yang dilakukan yakni pemeliharaan rutin dengan lingkup kegiatan berupa pemeliharaan dan pembersihan bahu jalan, pemeliharaan sistem drainase, pemeliharaan dan pembersihan rumaja, pemeliharaan pemotongan tumbuhan atau tanaman liar, dan penambalan permukaan.

Referensi

- [1] Hardiyatmo, H. C., "Pemeliharaan Jalan Raya." Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [2] Octavia, S. N., "Analisis Penerapan Metode *International Roughness Index* (IRI) Menggunakan Aplikasi RoadLab Pro dan *Surface Distress Index* (SDI) Sebagai Dasar Penentuan Kondisi Fungsional Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Pakah-Pucangan-Gesikharjo Kabupaten Tuban)," Surabaya: Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2020
- [3] Baihaqi, Saleh, M. S., Anggraini, R., "Tinjauan Kondisi Perkerasan Jalan dengan Kombinasi Nilai *International Roughness Index* (IRI) dan *Surface Distress Index* (SDI) pada Jalan Takengon-Blangkejeren," *Jurnal Teknik Sipil Unsyiah*, Volume 1, Nomor 3, pp. 543-552, 2018.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, "Pedoman Desain Geometrik Jalan," 2021
- [5] Sukirman, Silvia, "Perkerasan Lentur Jalan Raya", Nova, Bandung, 2010.
- [6] Manual Pemeliharaan Jalan, "Survei Kondisi Jalan Untuk Pemeliharaan Rutin," Nomor: 001-01/M/BM/ Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum, untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (revisi 2). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, "Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan". Jakarta: Permen PU No. 13/PRT/M/, 2011

Rancangan Penggunaan *Fly Ash* dan Pengaruhnya pada Kinerja Beton

Rahmani Kadarningsih

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: rkadarningsih@ung.ac.id.

Rifadli Bahsuan

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: rifadli@ung.ac.id

Kasmat Saleh Nur

Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: kasmatnur@ung.ac.id

Abstrak

Fly ash merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap. Di Indonesia, fly ash tersedia dalam jumlah yang melimpah dan tidak memiliki nilai ekonomis. Penggunaan fly ash sebagai material beton tentunya sangat bermanfaat bagi pelestarian lingkungan. Fly ash dalam penelitian ini digunakan dalam tiga metode. Pertama bahan baku mortar, kedua dan ketiga bahan baku beton dan geopolimer beton. Fly ash sebagai bahan utama beton geopolimer dengan larutan alkali akan menghasilkan pasta pengikat yang menentukan kekuatan beton. Aktivator alkali terdiri atas NaOH cair dan natrium silikat. Selain menggunakan aktivator alkali juga digunakan tanpa menggunakan aktivator alkali yang artinya sebagai bahan tambahan. Selanjutnya untuk mendapatkan hubungan antara kuat tekan dengan proporsi bahan, diperlukan studi *literature review*. Dari studi tinjauan pustaka, diusulkan beberapa penelitian tentang penggunaan fly ash dalam beton.

Kata Kunci: fly ash, mortar, beton geopolimer

A. Pendahuluan

Material utama dari pembuatan beton adalah semen. Namun, semen ini merupakan salah satu material yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan di mana pabrik yang memproduksi semen menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) yang dapat mencemari lingkungan dan meningkatkan pemanasan global.

Penggunaan batu bara pada industri PLTU melebihi dari 70% total bahan baku (Statistik Ketenagalistrikan, 2018). Pembakaran batu bara dalam skala besar dapat menimbulkan dampak berupa limbah, baik itu limbah padat, cair, maupun gas. Pengendalian terhadap pencemaran merupakan salah satu kewajiban yang harus dilakukan oleh industri.

Untuk itu, telah dilakukan berbagai inovasi dalam upaya menggantikan semen sebagai bahan dasar pembentuk beton yang ramah lingkungan, yaitu dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan dasar pengganti semen. *Fly ash* merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada alat pembangkit listrik. Abu yang dihasilkan memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batu bara terdiri atas butiran halus yang berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batu bara lebih kecil dari 0,075 mm. Dengan menambahkan *fly ash* pada campuran mortar akan menghasilkan sifat *pozzolan*.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai telah banyak dilakukan. Pemanfaatan *fly ash* dibagi menjadi pengganti sebagian semen, sebagai bahan tambah dan sebagai pengganti semen (beton *geopolymer*). Namun demikian, penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* pada beton masih perlu dilakukan agar dapat diaplikasikan tidak hanya pada

skala laboratorium, tetapi juga dapat dipabrikasi dalam skala besar. Untuk dapat menentukan proposal penelitian selanjutnya, maka dilakukan literatur *review study*. Dalam studi ini pemanfaatan *fly ash* dibagi menjadi tiga, yaitu pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan mortar, pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan beton, dan pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti semen (beton *geopolymer*).

Pemanfaatan *fly ash* pada PLTU Molotabu, Bone Bolango, Gorontalo masih belum banyak dilakukan. Abu batu bara yang dihasilkan dari operasionalisasi PLTU Molotabu dalam sehari adalah 30 ton atau 9000 ton/tahun. Hal ini akan mengakibatkan permasalahan apabila tidak dimanfaatkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi tentang pemanfaatan limbah *fly ash* pada PLTU Molotabu.

B. Tinjauan Pustaka

Abu terbang adalah bagian dari sisa pembakaran batu bara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan bersifat *pozzoland*, berarti abu terbang tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar (24°C–27°C) dengan adanya media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Dengan sifat *pozzolan* tersebut abu terbang mempunyai prospek untuk digunakan berbagai keperluan bangunan. Abu bahan anorganik sisa pembakaran batu bara dan terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. Pada pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik terbentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut abu terbang, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut abu dasar.

Sebagian abu dasar berupa lelehan abu disebut terak (*slag*). Abu terbang ditangkap dengan *electric precipitator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. *Pozzolan* dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti sebagian semen *portland*. Bila dipakai sebagai pengganti sebagian semen portland umumnya berkisar antara 10%–35% berat semen (Tjokrodimulyo, 1996). Dalam SK SNI S-15-1990-F spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton disebutkan ada tiga jenis abu terbang, yaitu sebagai berikut.

1. Abu terbang kelas F, adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batu bara, jenis antrasit pada suhu 1560°C.
2. Abu terbang kelas N, adalah hasil kalsinasi dari *pozzolan* alam seperti tanah *diatonoce*, *shale* (serpilh), *tuft*, dan batu apung.
3. Abu terbang kelas C adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran limit atau batu bara dengan kadar karbon $\pm 60\%$. Abu terbang ini mempunyai sifat *pozzolan* dan sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10%.

Sifat-sifat abu terbang

1. Warna
Abu terbang berwarna abu-abu, bervariasi dari abu-abu muda sampai abu-abu tua. Makin muda warnanya, sifat *pozzolan*-nya makin baik. Warna hitam yang sering timbul disebabkan karena adanya karbon yang dapat memengaruhi mutu abu terbang.
2. Komposisi
Unsur pokok abu terbang adalah silikon dioksida SiO_2 (30%–60%), aluminium oksida Al_2O_3 (15%–30%), karbon dalam bentuk batu bara yang

tidak terbakar (bervariasi hingga 30%), kalsium oksida CaO (1%–7%) dan sejumlah kecil magnesium oksida MgO dan sulfur trioksida SO₃.

3. Sifat *Pozzolan*

Sifat *pozzolan* adalah sifat bahan yang dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur padam aktif dan air pada suhu kamar (24°C–27°C) membentuk senyawa yang padat tidak larut dalam air. Abu terbang mempunyai sifat *pozzolan* seperti pada *pozzolan* alam, mempunyai waktu pengerasan yang lambat. Hal ini dapat diketahui dari daya ikat yang dihasilkan apabila dicampur dengan kapur. Kehalusan butiran abu terbang mempunyai pengaruh pada sifat *pozzola*; makin halus, makin baik sifat *pozzolan*-nya.

4. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan abu terbang bervariasi, tergantung pada besar butir dan hilang pijarnya. Biasanya berkisar antara 2,43 gr/cc sampai 3 gr/cc. Luas permukaan spesifik rata-rata 225m²/kg sampai 300 m²/kg. Ukuran butiran yang kecil kadang-kadang terselip dalam butiran yang besar yang mempunyai fraksi lebih besar dari 300 µm.

5. Hilang Pijar

Hilang pijar menentukan sifat *pozzolan* abu terbang. Apabila hilang pijar 10%-20% berarti kadar oksida kurang sehingga daya ikatnya kurang, yang berarti sifat *pozzolan*-nya kurang.

6. Persyaratan mutu menurut SK SNI S-151990-F

Persyaratan Kimia dan fisik abu terbang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1

Persyaratan Kimia Abu Terbang

No.	Senyawa	Kadar (%)
1.	Jumlah oksida SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ minimum	70
2.	SO ₃ maks	5
3.	Hilang pijar maks	6
4.	Kadar air maks	3
5.	Total alkali dihitung sebagai Na ₂ O maks	1,5

Tabel 2

Persyaratan Fisik Abu Terbang

No	Senyawa	Kadar (%)
1.	Kehalusan: Jumlah yang tertinggal di atas ayakan no. 325 (0,045 mm) maks%	34
2.	Indeks keaktifan <i>pozzolan</i> : a. Dengan menggunakan semen <i>portland</i> kuat tekan pada umur 28 hari, minimum b. Dengan menggunakan kapur padam yang aktif, kuat tekan 7 hari, minimum N/m	75% KT adukan pembanding 550
3.	Kekekalan bentuk pengembangan/ penyusutan dengan <i>autoclave</i> , maksimum%	0,8
4.	Jumlah air yang digunakan	105% dari jumlah air untuk adukan pembanding
5.	Keseragaman: Berat jenis dan kehalusan dari contoh uji masing-masing tidak boleh banyak berbeda dari rata-rata 10 benda uji atau dari seluruh benda uji yang jumlahnya kurang dari 10 buah, maka untuk: a. berat jenis, perbedaan maksimum dari rata-rata, %	5 5

b. presentase partikel yang tertinggal pada ayakan no. 325 perbedaan dari rata-rata,%	
6. Pertambahan penyusutan karena pengeringan (pada umur 28 hari maksimum,%)	0,03
7. Reaktifitas dengan alkali semen: Pengembangan mortar pada umur 14 hari, maksimum%	0,02

C. Hasil dan Pembahasan

1. Pemanfaatan *Fly Ash* pada Mortar Beton

Pemanfaatan *fly ash* pada mortar beton telah banyak diteliti. Proporsi campuran mortar yang dihasilkan masih sangat bervariasi. Untuk menentukan proporsi campuran mortar dengan memanfaatkan *fly ash*, perlu dilakukan analisis terhadap penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya tentang pemanfaatan *fly ash* pada mortar beton dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3

Penelitian tentang Pemanfaatan *Fly Ash* pada Mortar Beton

Peneliti	Kelas Fly Ash (Canadian Standard/ASTM)	Metode	Perbandingan Semen : air : fly ash : agregat halus (kg)	Semen : Agregat t	Kuat tarik	Kuat tekan (MPa)	Dibandingkan dengan beton normal
Arfiriana dkk	CI / F	Penggunaan 15%	1 : 0,47 : 0,18 : 2,35 : 0 : 0	0,425	3,33		Meningkat 1,86%
Nursilawati dkk (2018)		Penggunaan 2,5%	1 : 0,41 : 0,02 : 4,99 : 0 : 0	0,2		22,5	Meningkat signifikan 8,87%
Maryoto (2008)		Penambahan 30%	1 : 0,96 : 0,3 : 6,07 : 0 : 0	0,16		11,18	Meningkat signifikan 24,13%
Mardiansah (2018)		Penggunaan 5%	1 : 1,09 : 0,05 : 6,32 : 0 : 0	0,16		9,97	Meningkat signifikan 8,14%

Tabel 3 memperlihatkan penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* pada mortar beton. Kuat tekan mortar pada penelitian Nursilawati (2018), menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi dibandingkan dengan kuat tekan mortar pada penelitian Maryoto (2008) dan Mardiansah (2018). Hal tersebut dikarenakan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat pada penelitian Nursilawati (2018) paling besar jika dibandingkan dengan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat pada penelitian Maryoto (2008) dan Mardiansah (2018). Selain itu, penambahan *fly ash* sebanyak 2% (penggantian sebanyak 2,5%) pada penelitian Nursilawati juga berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan mortar.

Jumlah *fly ash* sebanyak 2% pada penelitian Nursilawati kurang dari jumlah *fly ash* yang digunakan pada penelitian Maryoto dan Mardiansah. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian mortar dengan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat sebesar 0,2 dan penambahan *fly ash* sebesar 2,5%–30% karena diharapkan dapat menghasilkan suatu formula proporsi mortar dengan kuat tekan yang tinggi. Selain menghasilkan kuat tekan mortar yang tinggi formula tersebut juga cukup efisien pada penggunaan semen, terlihat dari rasio jumlah semen terhadap agregat halus.

2. Pemanfaatan *Fly Ash* pada Beton

Penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah atau sebagai bahan pengganti telah banyak dilakukan. Hasil penelitian tersebut sangat bervariasi tergantung kelas *fly ash* yang digunakan. Untuk

mendapatkan proporsi campuran yang tepat perlu dilakukan Analisis terhadap hasil penelitian sebelumnya. Hasil penelitian tentang pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah atau bahan pengganti sebagian semen dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4
Pemanfaatan *Fly Ash* pada Beton

Peneliti	Kelas <i>Fly Ash</i> (<i>Canadian Standard/ ASTM</i>)	Metode	Perbandingan Semen: air: <i>fly ash</i> : agregat halus (kg)	Semen: Agregat	Kuat tekan (MPa)	Dibandingkan dengan beton normal
Suarnita (2011)	F/F	Penambahan <i>fly ash</i> 25%	1: 0,55: 0,25: 1,59: 2,95: 0 (1: 4,79)	0,22	37,25	Meningkat signifikan 15,43%
Sultan (2019)		Penambahan <i>fly ash</i> 20%	1: 0,4: 0,2: 2,25: 1,5: 0 (1: 3,94)	0,27	29,43	Meningkat signifikan 26,42%
Taufiq	CI/F	Penambahan <i>fly ash</i> 15%	1: 0,68: 0,15: 2,06: 3,09: 0 (1: 5,3)	0,19	25,93	Meningkat signifikan 26,96%
Setiawati (2018)		Pengganti semen sebesar 12,5%			39,62	Meningkat signifikan
Adhitha (2020)		40% cooper slag + 10% <i>fly ash</i>			58,13	Meningkat signifikan
Marwan (2017)		Pengganti semen sebesar 7,5%			34,74	Meningkat signifikan
Darwis (2015)		Substitusi Sebagian agregat			24,84	Meningkat signifikan

Kuat tekan mortar pada penelitian Sultan (2019) menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan mortar pada penelitian Taufiq. Hal tersebut dikarenakan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat pada penelitian Sultan lebih besar jika dibandingkan

dengan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat pada penelitian Taufiq.

Penggunaan semen pada penelitian Suarnita (2011) lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan semen pada penelitian Sultan (2019). Hal tersebut terlihat dari rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat pada penelitian Suarnita (2011) lebih kecil dibandingkan pada penelitian Sultan (2019). Namun demikian, kuat tekan beton yang dihasilkan pada penelitian Suarnita (2011) lebih tinggi jika dibandingkan dengan kuat tekan beton pada penelitian Sultan (2019). Dengan demikian, untuk efisiensi jumlah semen terhadap agregat, proporsi bahan pada penelitian Suarnita memperlihatkan hasil yang cukup baik.

Untuk mendapatkan kuat tekan beton (dengan penambahan *fly ash*) yang maksimum proporsi bahan pada penelitian Sultan (2019) dapat digunakan sebagai acuan. Penggunaan jumlah *fly ash* yang tepat sangat berpengaruh pada kuat tekan beton. Penelitian Marwan dan Setiawati memperlihatkan kuat tekan beton di atas 30 MPa, dengan penambahan *fly ash* antara 8%–14%. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian beton dengan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat sebesar 0,27 dan penambahan *fly ash* sebesar 8%–20%.

3. Pemanfaatan *Fly Ash* pada Beton Geopolimer

Tabel 5

Pemanfaatan *Fly Ash* pada Beton Geopolimer

Peneliti	Kelas <i>Fly ash</i> (Canadian Standard/ASTM)	<i>Fly ash</i> : Activator	Na ₂ SiO ₃ : NaOH H	Pasta: O ₃ : agregat	Na ₂ SiO ₃ : NaOH: Ag Halus: Ag Kasar: <i>Fly ash</i> : Air	Kuat tekan (MPa)	
Prasetyo (2015)	CI/N	70: 30	5: 2	1: 1,97	0,25: 0,1: 1,05: 2,1: 1: 0,25: 0,35: 1,05: 2,1: 1: 0	13,83	Meningkat signifikan
Indrayani (2019)		65: 35	5: 1	1: 2,88	0,45: 0,09: 1,82: 2,62: 1: 0	38,79	Meningkat signifikan
Hardjasaputra (2020)	CI/N	2: 1	2: 1	1: 2,84	0,375: 0,055: 1,42: 2,64: 1: 0	61,73	Meningkat signifikan
Cornelis (2020)	CI	1: 0,35	2: 1	1: 2,33	0,12: 0,23: 0,9: 2,25: 1: 0	54	Meningkat signifikan

Kuat tekan beton *geopolymer* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain adalah (Cornelis, 2020):

- Molaritas NaOH (m)
- Rasio berat Na₂SiO₃ dan berat NaOH (R)
- Rasio berat alkali *activator* dan *fly ash* (A)
- Rasio volume pasta dan volume absolut rongga agregat halus (Rm)
- Rasio volume pasta dan volume absolut rongga agregat kasar (Rb)

Berdasarkan penelitian Cornelis molaritas NaOH yang menghasilkan kuat tekan pasta *geopolymer* yang paling tinggi adalah 10M, dan nilainya turun pada molaritas 12M. Hal tersebut diuji pada nilai R sebesar 2 dan A 30%.

Berdasarkan penelitian Prasetyo (2015) dan Indrayani (2019), kuat tekan beton polimer meningkat berbanding lurus dengan peningkatan nilai R. Perlu

dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh nilai R dan nilai m terhadap kuat tekan pasta *geopolymer*.

Penelitian Hardjosaputra menunjukkan bahwa kuat tekan maksimum beton polimer sebesar 50,27 MPa tercapai pada nilai $m = 8M$, $R = 2$, $A = 0,5$, $R_m = 1,06$, $R_b = 1,11$. Sedangkan pada penelitian Cornelis (2018) menunjukkan bahwa kuat tekan maksimum beton polimer sebesar 54 MPa tercapai pada nilai $m = 10M$, $R = 2$, $A = 0,35$, $R_m = 1,5$, $R_b = 1$. Sehingga masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan formula proporsi bahan penyusun beton *geopolymer* yang lebih lengkap dan untuk menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan.

D. Penutup

Kesimpulan dari literatur *review study* pada pemanfaatan *fly ash* pada beton adalah sebagai berikut.

1. Perlunya dilakukan penelitian mortar dengan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat sebesar 0,2 dan penambahan *fly ash* sebesar 2,5%–30% karena diharapkan dapat menghasilkan suatu formula proporsi mortar dengan kuat tekan yang tinggi. Selain menghasilkan kuat tekan mortar yang tinggi formula tersebut juga cukup efisien pada penggunaan semen, terlihat dari rasio jumlah semen terhadap agregat halus.
2. Penelitian tentang beton dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan pengganti atau bahan tambah semen bertujuan mendapatkan proporsi yang tepat. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian beton dengan rasio jumlah semen terhadap jumlah agregat sebesar 0,27

- dan penambahan *fly ash* sebesar 8%–20%. karena diharapkan dapat menghasilkan suatu formula proporsi mortar dengan kuat tekan yang tinggi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh nilai R dan nilai m terhadap kuat tekan pasta *geopolymer*.
 4. Penelitian tentang beton *geopolymer* harus terus dilakukan untuk mendapatkan formula proporsi bahan penyusun beton *geopolymer* yang lebih lengkap dan untuk menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan.

Referensi

- [1] Arfririana A. A., Rahmayanti N, Pengaruh *Fly ash* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tarik Belah Mortar 2008.
- [2] Nursilawati L I, Utilization of *Fly Ash* Coal Waste as Partial Replacement of Cement in Paving Block 2018.
- [3] Maryoto A, Pengaruh Penggunaan High Volume *Fly ash* pada Kuat Tekan Mortar. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan 2008; Vol. 10 No. 2
- [4] Mardiansah, Sebayang S., Oktarina D, Pengaruh Penggantian Abu Terbang (*Fly ash*) pad Sebagian Semen Portland Komposit terhadap Kuat Tekan Mortar. Jurnal Mahasiswa Teknik 2018; Vol. 1 No. 1
- [5] Suarnita I. W, Kuat Tekan Beton dengan Adiktif *Fly Ash* Ex PLTU Mpanau Tavaeli. Jurnal SMARTek 2011; Vol. 9 No. 1
- [6] Sultan M. A., Imran, Faujan M, Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu bara (*Fly ash*) Ex PLTU Rum pada Campuran Beton. Teras Jurnal 2019; Vol. 9, No. 2
- [7] Taufiq M., Sabriaman B, Pemanfaatan *Fly ash* sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton Terkekang Ditinjau dari Tegangan Regangan
- [8] Setiawati, *Fly ash* sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. Seminar Nasional Sains dan Teknologi jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

- [9] Adhitia F, Pertiwi D, Pengaruh Variasi *Fly ash* sebagai Pengganti Sebagian Semen dengan Copper Slag Pengganti Sebagian Pasir untuk Beton Mutu 42 MPa Paduraksa 2020; Vol. 9 No. 1
- [10] Marwan, Supriani F., Afrizal Y, Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Abu Terbang (*Fly ash*) dan Abu Cangkang Lokan terhadap Kuat Tekan Paving Blok Jurnal Inersia 2017; Vol. 9 No. 1
- [11] Prasetyo G. B., *Fly ash* sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan 2015
- [12] Indrayani, Delvianty J., Selmina M. dkk, *Fly ash* sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri 2019
- [13] Hardjasaputra H., Ekawati E. Penelitian Rancangan Campuran Beton Geopolimer Berbasis *Fly ash* PLTU Suralaya-Banten terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Jurnal Ilmiah Teknik Sipil 2018; Vol. 22 No. 1
- [10] Cornelis R., Priyosulistyo H., Satyarno I., Rochmadi The Investigation on Setting Time and Strength of High Calcium *Fly Ash* Based *Geopolymer* Applied Mechanics and Materials 2018; Vol 881 No. 1

Penilaian Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Proyek Konstruksi di Provinsi Gorontalo

Maulin Wadipalapa
Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: maulin.wp28@gmail.com

Moh. Yusuf Tuloli
Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: mohammad.tuloli@ung.ac.id

Arfan Usman Sumaga
Universitas Negeri Gorontalo
Pos-el: arfan.sumaga@ung.ac.id

Abstrak

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu bagian yang sangat penting yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan konstruksi agar terciptanya kerja yang aman dan nyaman bagi para pekerja. Untuk itu, dilakukan penilaian kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek konstruksi di Provinsi Gorontalo.

Untuk Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek Pembangunan Rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka, Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah Sakit, Pembangunan Rusun Polres Gorontalo Utara memiliki standar Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) tergolong sudah cukup baik. Sementara itu, proyek PLTU Anggrek Kinerja (SMK3) tergolong sangat baik karena semua tahap-tahap Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) sudah dilaksanakan semuanya dengan sangat baik tanpa ada yang terlewat dimulai dari dilaksanakannya pelatihan/seminar Keselamatan dan

Kesehatan Kerja (K3), menyediakan alat pelindung diri (APD) bagi para pekerja, memberikan pakaian kerja sesuai dengan pekerjaan, dan memperhatikan asupan nutrisi para pekerja.

Kata Kunci: sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3), alat pelindung diri (APD)

A. Pendahuluan

Pada pekerjaan konstruksi pasti memiliki tingkatan risiko yang memungkinkan adanya kecelakaan akibat kerja. Terjadinya kecelakaan akibat kerja disebabkan adanya sumber-sumber bahaya akibat aktivitas di tempat kerja. Tenaga kerja merupakan objek yang sangat penting dalam proses produksi sehingga perlu diperhatikan kesehatan dan keselamatan tenaga kerja selalu dalam keadaan optimal (Endroyo, 2006). [1]

Dalam manajemen proyek konstruksi, salah satu sasaran utama yang ingin dicapai adalah menciptakan iklim kerja yang mendukung, baik dari segi sarana, kondisi kerja, keselamatan kerja, maupun komunikasi timbal balik yang terbuka antara atasan dan bawahan (Nugraha, 1986). [2]

Menurut Undang-Undang No. 36 Tahun 2009 (UU Kesehatan) memandang upaya kesehatan kerja sangat penting untuk melindungi pekerja agar hidup sehat dan terbebas dari gangguan kesehatan, serta pengaruh buruk yang diakibatkan oleh pekerjaan.

Mayoritas pekerja konstruksi di Provinsi Gorontalo masih sering mengabaikan Kinerja pemakaian Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) termasuk pada proyek di Provinsi Gorontalo, yaitu Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah Sakit, Pembangunan Rusun Korem 133 NW/Kodam XIII

Merdeka, Pembangunan Rusun Polres Gorontalo Utara, Proyek PLTU Anggrek. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk penilaian kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Adanya penilaian tersebut diharapkan dapat lebih mengetahui pentingnya Kinerja Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam proses pekerjaan suatu konstruksi.

B. Kajian Teoretis

Menurut Dhea Regina Ekaputri Taludio (2016), Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu bagian penting yang perlu diperhatikan agar terciptanya lingkungan kerja yang aman dan nyaman bagi pekerja, perusahaan, maupun masyarakat serta lingkungan sekitar. Untuk itu, dilakukan identifikasi mengenai pengetahuan K3, APD, Kinerja K3, dan manajemen K3 pada proyek konstruksi di Kota Gorontalo. [3]

Menurut Febyana Pangkey (2012), Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) merupakan sistem perlindungan bagi tenaga kerja dan jasa konstruksi untuk meminimalisasi dan menghindarkan diri dari risiko kerugian moral maupun material, kehilangan jam kerja, maupun keselamatan manusia dan lingkungan sekitarnya yang nantinya dapat menunjang peningkatan kinerja yang efektif dan efisien. [4]

Menurut Desy Dyah Wulansari (2009), PT Bina Guna Kimia Ungaran merupakan perusahaan yang memproduksi pestisida dalam sektor pertanian dan perkebunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana upaya perusahaan dalam mencegah kecelakaan kerja di dalam proses produksi, dengan salah satu usahanya yaitu penyediaan dan pemakaian APD bagi

tenaga kerjanya, serta kesesuaian APD dengan potensi bahaya yang ada. [5]

1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan upaya untuk menciptakan situasi bekerja yang aman, nyaman, dan mencapai produktivitas yang setinggi-tingginya. Keselamatan dan kesehatan kerja hal yang sangat penting untuk diterapkan dalam semua bidang pekerjaan tanpa terkecuali pembangunan gedung-gedung yang bertingkat, seperti hotel, apartemen, *mall*, dan lain-lain karena kinerja keselamatan dan kesehatan kerja dapat mencegah terjadinya kecelakaan akibat kerja.

Kecelakaan kerja bisa saja terjadi karena adanya kondisi bahaya yang dilatarbelakangi kurangnya keterampilan, cacat tubuh, dan keletihan/kelelahan. Penyebab terjadinya kecelakaan kerja disebabkan oleh faktor manusia yang tidak menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja karena tidak memakai alat pelindung diri (APD). Penggunaan APD merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam suatu pekerjaan konstruksi.

2. Landasan Hukum Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) sudah diatur dalam UU, yaitu sebagai berikut:

- a. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Undang-undang ini mengatur kewajiban pimpinan dan pekerja secara jelas dalam melaksanakan keselamatan kerja.
- b. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1992 tentang Kesehatan.

- c. Undang-Undang Nomor 18 Tahun 1999 tentang Jasa Konstruksi.
- d. Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan.
- e. Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan.

3. **Alat Pelindung Diri (APD)**

Depnaker, (2012) menyatakan bahwa, alat pelindung diri (APD) adalah alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang dalam pekerjaan yang fungsinya mengisolasi tubuh tenaga kerja dari bahaya di tempat kerja. [6]

Soeripto (2008) menyatakan bahwa APD adalah alat pelindung diri yang dipakai oleh tenaga kerja secara langsung untuk mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh berbagai faktor yang ada atau timbul di lingkungan kerja. Sedangkan secara umum APD didefinisikan sebagai kelengkapan yang wajib digunakan saat bekerja sesuai bahaya dan risiko kerja untuk menjaga keselamatan pekerja itu sendiri dan orang di sekelilingnya. Oleh karena itu, penggunaan alat pelindung diri sangat penting dalam upaya pencegahan terjadinya kecelakaan di tempat kerja. [7]

Kelebihan dan kekurangan alat pelindung diri (APD) adalah sebagai berikut.

- a. Kelebihan:
 - 1) Mengurangi risiko akibat kecelakaan kerja yang terjadi baik sengaja maupun tidak sengaja.
 - 2) Melindungi seluruh/sebagian tubuhnya pada kecelakaan.

- 3) Sebagai usaha terakhir apabila sistem pengendalian teknik dan administrasi tidak berfungsi dengan baik.
 - 4) Memberikan perlindungan bagi tenaga kerja di tempat kerja agar terlindungi dari bahaya kerja.
- b. Kekurangan:
- 1) Kemampuan perlindungan yang tak sempurna karena memakai alat pelindung diri yang kurang tepat dan perawatannya yang tidak baik.
 - 2) Fungsi dari alat pelindung diri ini hanya untuk mengurangi akibat dari kondisi yang berpotensi menimbulkan bahaya bukan untuk menyelamatkan nyawa.
 - 3) Tidak menjamin pemakainya bebas kecelakaan karena hanya melindungi bukan mencegah.
 - 4) Cara pemakaian alat pelindung diri yang salah kurangnya pengetahuan tentang penggunaan alat pelindung diri yang baik dan benar.
 - 5) Alat pelindung diri tak memenuhi persyaratan standar karena perawatannya tidak baik dan kualitasnya buruk.
 - 6) Alat pelindung diri yang sangat sensitif terhadap perubahan tertentu.
 - 7) Alat pelindung diri dapat menularkan penyakit bila dipakai berganti-ganti

Jenis-jenis alat pelindung diri berdasarkan fungsinya terdiri atas beberapa macam. Alat pelindung diri digunakan oleh pekerja sesuai dengan

bagian tubuh yang ingin dilindungi, sebagai berikut:

a. Pelindung Kepala

Topi pelindung kepala diperlukan bila seseorang kemungkinan akan kejatuhan benda-benda atau terbentur kepalanya/terantuk.



Gambar 1 Pelindung Kepala

b. Pelindung Kaki

Melindungi kaki dari risiko:

- 1) Paku atau benda tajam yang bisa masuk ke telapak kaki.
- 2) Benda tajam yang dapat melukai urat nadi kaki.
- 3) Benda yang jatuh ke kaki.



Gambar 2 Pelindung Kaki

c. Pelindung Mata/Muka

Diperlukan untuk melindungi terhadap:

- 1) Benda-benda yang berterbangan, contohnya bila menggunakan alat penanam paku.
- 2) Radiasi ultraviolet saat melakukan pengelasan, diperlukan pelindung atau penutup yang khusus.
- 3) Pekerjaan pengelasan, pemotongan logam, menggerinda.

- 4) Percikan, contohnya saat memotong dengan piringan.



Gambar 3 Pelindung Mata/Muka

d. Pakaian Kerja

Banyak kecelakaan terjadi saat orang pada posisi berbahaya, tetapi tidak kelihatan. Penting untuk merencanakan pekerjaan untuk menghindarkan orang pada posisi yang demikian. Bila memungkinkan sediakan pakaian yang terlihat mencorong, mudah terlihat.



Gambar 4 Pakaian Kerja

e. Sarung Tangan

Sarung tangan yang sesuai dapat melindungi terhadap debu (contohnya semen), beton yang cair dan tahan pelarut yang dapat menyebabkan penyakit kulit juga akan melindungi terhadap teriris dan tergores saat menangani bata, besi, dan kayu.



Gambar 5 Sarung Tangan

f. Sabuk Pengaman

Sabuk Pengaman di peruntukkan untuk pekerja yang bekerja di ketinggian tertentu atau yang sedang berada pada posisi yang dapat membahayakan, seperti pada pekerjaan *erection* baja pada tower.



Gambar 6 Sabuk Pengaman

g. Penutup Telinga

Alat ini digunakan untuk melindungi telinga dari suara yang bising dengan volume yang cukup keras yang ditimbulkan akibat kerja. Jika tidak menggunakan penutup telinga akan mengakibatkan kerusakan pada telinga.



Gambar 7 Penutup Telinga

h. Masker

Alat ini mempunyai fungsi sebagai pelindung pernapasan mengingat kondisi proyek konstruksi terdapat berbagai macam material, mulai dari yang besar sampai yang kecil. Contohnya adalah serbuk kayu sisa dari kegiatan memotong atau

mengampas kayu yang dikhawatirkan akan terhirup pada saat bekerja



Gambar 8 Masker

4. Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan Kerja dan Kesehatan Kerja (K3)

Untuk mencegah kecelakaan dan penyakit akibat kerja melakukan pengendalian yang tepat terhadap lingkungan kerja dan kegiatan tenaga kerja. Pengendalian hanya dilakukan oleh manajemen.

Kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja harus sejalan dengan visi dan misi perusahaan. Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan sebagai pedoman pelaksanaan dan Kinerja kebijakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dari manajemen perusahaan.

C. Metode Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di beberapa proyek konstruksi yang sedang berjalan di Provinsi Gorontalo.

- a. Proyek Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah sakit, Kelurahan Bulalo, Kecamatan Kwandang, Kabupaten Gorontalo.
- b. Proyek Pembangunan Rusun Korem 133 NW/KODAM XIII MERDEKA, Kelurahan

Tridama, Kecamatan Pulubala, Kabupaten Gorontalo.

- c. Proyek pembangunan rusun polres Gorontalo Utara, Kelurahan Molingkapoto, Kecamatan Kwandang, Kabupaten Gorontalo Utara.
- d. Proyek PLTU Anggrek, Desa Ilangata, Kecamatan Anggrek, Kabupaten Gorontalo.



Gambar 9 Lokasi Penelitian

2. Metode Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini yaitu data data primer dan sekunder.

- a. Data primer meliputi:
 - 1) kuesioner;
 - 2) wawancara.
- b. Data sekunder:

Data sekunder yang berupa studi literatur, yakni dengan mempelajari berbagai macam literatur seperti jurnal-jurnal penelitian sebelumnya bacaan lainnya untuk memperoleh data seperti teori dan konsep yang dijadikan landasan dalam penelitian ini. Penelitian ini menggunakan *random sampling* dan *judge sampling*.

3. Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan pengolahan data analisis deskriptif. Analisis deskriptif adalah statistik yang

digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiyono, 2004).

4. Tahapan Penelitian

Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Tahapan pengumpulan data dan studi literatur.
- b. Tahapan analisis data.
- c. Tahapan hasil dan pembahasan.
- d. Tahapan kesimpulan dan saran.

D. Hasil dan Pembahasan

1. Data Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan cara wawancara dalam bentuk kuesioner yang disebarikan kepada tenaga kerja di beberapa proyek konstruksi.

Tabel 1
Kuesioner yang Tersebar di Proyek-Proyek Konstruksi di Kota Gorontalo

Nama Proyek	Kuesioner yang Tereadar				Total
	Mandor	Buruh/ Tukang	Staf/ Karyawan	Pimpinan	
Rusun Pemda Gorut	0	15	1	1	17
Rusun Korem 133	0	23	1	1	25
Rusun Polres Gorut	0	25	1	1	27
PLTU ANGGREK	1	15	1	1	18

Proyek konstruksi yang di jadikan sebagai objek penelitian ini di antaranya adalah proyek pembangunan rusun pemda Gorontalo Utara paramedis RS yang berlokasi di Desa Bulalo

Kecamatan Kwandang Kabupaten Gorontalo Utara, proyek pembangunan rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka yang terletak di Desa Tridarma Kecamatan Pulubala Kabupaten Gorontalo, proyek pembangunan rusun polres Gorontalo Utara yang berlokasi di Desa Molingkapoto Kecamatan Kwandang Kabupaten Gorontalo Utara, dan proyek konstruksi yang berlokasi di PLTU Anggrek Desa Ilangata Kecamatan Anggrek Kabupaten Gorontalo Utara. Kuesioner yang tersebar sebanyak 140 eksemplar, dibagikan sebanyak 35 eksemplar yang di antaranya untuk mandor, buruh atau tukang, staf/karyawan, dan pimpinan proyek. Setelah kuesioner disebar, yang kembali ada sebanyak 87 eksemplar seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1. hal ini dikarenakan ada beberapa responden yang sudah ditargetkan untuk mengisi kuesioner tidak berada di tempat.

2. Analisis Data Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk penilaian kinerja SMK3 pada proyek-proyek konstruksi di Provinsi Gorontalo. Melalui penelitian ini akan dideskripsikan dan dipresentasikan pengetahuan responden tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), pengetahuan responden tentang alat pelindung diri (APD), dan proses Kinerja Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada proyek-proyek konstruksi di Provinsi Gorontalo dan dilakukan penilaian sistem manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada proyek konstruksi di Provinsi Gorontalo.

a. Deskripsi Pengetahuan tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Buruh

Berdasarkan jawaban yang diberikan oleh responden berprofesi buruh dapat diidentifikasi pengetahuan mereka tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada proyek konstruksi pembangunan rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka, pembangunan rusun pemda Gorontalo Utara paramedis rumah sakit, pembangunan rusun polres Gorontalo, PLTU Anggrek di Provinsi Gorontalo.

Tabel 2
Pengetahuan Responden tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Pertanyaan	Pengetahuan Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja					
	Jawaban			Persentase (%)		
	Ya	Tidak	Total	Total		Total
				Ya	Tidak	
Pengetahuan tentang (K3)	59	19	78	75.64	24.36	100.00
Kinerja (K3) di lokasi proyek	64	14	78	82.05	17.95	100.00
Kinerja organisasi (K3) di lokasi	55	23	78	70.51	29.49	100.00
Kinerja rambu-rambu (K3) di lokasi proyek	52	26	78	66.67	33.33	100.00
(K3) dapat mencegah dari kecelakaan kerja	74	4	78	94.87	5.13	100.00
Perusahaan menyediakan pelayanan kesehatan pekerja	53	25	78	67.95	32.05	100.00

Pentingnya Kinerja (K3)	75	3	78	96.15	3.85	100.00
Pengetahuan tentang (APD)	62	16	78	79.49	20.51	100.00
Perusahaan Meyediakan (APD)	58	20	78	74.36	25.64	100.00
(APD) dapat mencegah dari kecelakaan kerja	54	24	78	69.23	30.77	100.00
Merasa nyaman saat memakai (APD)	50	28	78	64.10	35.90	100.00
(APD) tidak menghambat pekerjaan	26	52	78	33.33	66.67	100.00
(APD) dapat mempercepat pekerjaan	47	31	78	60.26	39.74	100.00
Pentingnya disediakan (APD)	61	17	78	78.21	21.79	100.00
	Rata-rata			72.34	27.66	

Berdasarkan tabel 2 tentang pengetahuan terkait Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada buruh di pembangunan rusun korem NW/Kodam XIII Merdeka, pembangunan rusun pemda Gorontalo Utara paramedis rumah sakit, pembangunan rusun polres Gorontalo, PLTU Anggrek dapat dilihat bahwa dari 14 pertanyaan mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) diketahui bahwa sebanyak 78 sampel buruh yang didapat berdasarkan survei dari keempat proyek ini dengan presentase untuk jawaban responden "YA" dengan nilai rata-rata 72,34%. Dapat diartikan bahwa buruh mengaku sudah paham tentang pengetahuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Sementara itu, responden yang

menjawab “TIDAK” mendapatkan nilai rata-rata 27,66%. Akan tetapi, angka 27,66% tidak bisa dianggap sepele karena sekecil apapun kemungkinan, masih bisa menimbulkan dampak seperti kecelekaan kerja.

b. Deskripsi tentang Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Pimpinan Kerja

Berdasarkan jawaban yang diberikan oleh responden berprofesi pimpinan kerja adalah sebagai berikut.

Tabel 3
Pengetahuan Responden tentang Kinerja Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Pertanyaan	Kinerja Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3)											
	Jawaban					Total	Persentase(%)					Total
	B	CB	S	R	TA		B	CB	S	R	TA	
Perusahaan melaksanakan pelatihan(K3)	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Perusahaan menyediakan pengobatan gratis	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Memperhatikan asupan nutrisi pekerja	3	0	0	0	1	4	75.00	0.00	0	0	25	100
Memberikan asuransi bagi para pekerja	4	0	0	0	0	4	100.00	0.00	0	0	0	100
Menyediakan pelatihan penggunaan (APD) sebelum proyek dimulai	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Menyediakan (APD) bagi para pekerja	4	0	0	0	0	4	100.00	0.00	0	0	0	100
Memberikan prosedur inspeksi (APD) pekerja	3	0	0	1	0	4	75.00	0.00	0	25	0.	100

Adanya sanksi jika tidak menggunakan (APD)	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0.00	100
Penegasan pemberian sanksi jika tidak menggunakan (APD)	2	1	0	0	1	4	50.00	25.00	0	0	25.00	100
Menyediakan pakaian kerja sesuai dengan pekerjaan	2	0	0	0	2	4	50.00	0.00	0	0	50.00	100
Dilokasi proyek sudah di pasang rambu-rambu (K3)	4	0	0	0	0	4	100.00	0.00	0	0	0.00	100
Daerah berbahaya ditandai dengan jelas	4	0	0	0	0	4	100.00	0.00	0	0	0.00	100
Tersedia penerangan di area sekitar proyek	4	0	0	0	0	4	100.00	0.00	0	0	0.00	100
							Rata-rata	80.8	9.62	0.00	1.92	7.69

Berdasarkan tabel di atas dapat diidentifikasi pengetahuan mereka tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada proyek konstruksi pembangunan rusun korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka, pembangunan rusun pemda Gorontalo Utara paramedis rumah sakit, pembangunan rusun polres Gorontalo, PLTU Angrek di Provinsi Gorontalo.

Tabel 3 menunjukkan bahwa responden yang berprofesi sebagai pimpinan kerja berjumlah 4 orang. Untuk kategori baik presentase nilai rata-rata sebanyak 80,8%, kategori cukup baik nilai presentase rata-rata sebesar 9,62%, kategori rendah nilai presentase sebesar 1,92% dan kategori tidak ada mendapatkan nilai rata-rata presentase sebesar 7,69%.

Berdasarkan uraian di atas dapat diartikan bahwa Kinerja Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) yang diketahui oleh pimpinan kerja dapat dikategorikan baik. Hal ini mengacu pada presentase tertinggi 80,77% pada kategori Baik.

c. Deskripsi Responden tentang Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Staf/Karyawan Manajemen

Berdasarkan jawaban yang diberikan oleh responden berprofesi staf/karyawan dapat diidentifikasi pengetahuan mereka tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada proyek konstruksi pembangunan rusun korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka, pembangunan rusun pemda Gorontalo Utara paramedis rumah sakit, pembangunan rusun polres Gorontalo, PLTU Anggrek di Provinsi Gorontalo.

Tabel 4
Pengetahuan Responden tentang Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)

Pertanyaan	Kinerja Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3)										Total	
	Jawaban					Total	Persentase(%)					
	B	CB	S	R	TA		B	CB	S	R		TA
Perusahaan mengadakan kebijakan (K3)	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Adanya struktur organisasi dan pertanggung-jawaban	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Melakukan pelatihan dan kepedulian	2	2	0	0	0	4	50.00	50.00	0	0	0	100
Adanya komunikasi, keterlibatan dan konsultasi	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100

Kesiagaan dan tanggap darurat	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Adanya pemantauan	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Penilaian kepatuhan	2	2	0	0	0	4	50.00	50.00	0	0	0	100
Penyelidikan insiden dan tindakan perbaikan dan pencegahan	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
Adanya manajemen <i>meeting</i>	3	1	0	0	0	4	75.00	25.00	0	0	0	100
						Rata-Rata	69.44	30.56	0.00	0.00	0.00	

Tabel 4 menunjukkan bahwa responden yang berprofesi sebagai pimpinan kerja berjumlah 4 orang. Untuk kategori baik presentase nilai rata-rata sebanyak 69,44%, kategori cukup baik nilai presentase rata-rata sebesar 30,56%. Dapat diartikan bahwa kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada keempat proyek sudah baik mendapatkan nilai presentase 69,44%. Dalam penilaian Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) terkait pertanyaan tentang apakah sudah dilakukannya pelatihan dan kepedulian tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek yang akan dilaksanakan. Penilaian Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) ini meliputi jawaban atau pertanyaan tentang seputar pelaksanaan manajemen yang sudah dilaksanakan oleh perusahaan. Seperti apakah perusahaan mengadakan kebijakan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), struktur organisasi dan penanggung jawab

perusahaan, bagaimana pelatihan dan kepedulian perusahaan, pemantauan, sampai dengan manajemen *meeting*.

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan di lapangan pada proyek Pembangunan Rusun korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka untuk pengetahuan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada buruh memiliki untuk yang menjawab “YA” dengan nilai presentase 67,72% yang menyatakan sudah paham. Untuk Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada pimpinan kerja dengan kategori “Baik” mendapatkan nilai presentase 69,23% dan untuk Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada staf/karyawan mendapatkan nilai presentase 77,78% untuk kategori “Baik”. Dapat dilihat dari uraian di atas bahwa untuk pengetahuan dan penerapan Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek pembangunan Rusun korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka untuk nilai keseluruhan mendapat hasil presentase 71,4%.

Pengetahuan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada buruh pada proyek Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah Sakit dengan jawaban responden yang rata-ratanya 65,2% yang menjawab “YA”. Untuk Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada pimpinan kerja mendapat nilai presentase 61,54% untuk kategori “Baik”. Dapat dilihat bahwa untuk kinerja dan pengetahuan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek pembangunan pemda Gorontalo Utara

paramedis rumah sakit untuk total nilai keseluruhan 42,3%.

Berdasarkan hasil survei yang sudah dilakukan pada proyek pembangunan rusun polres Gorontalo Utara untuk pengetahuan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada buruh mendapatkan nilai presentase 65,4% yang sudah paham mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dan untuk kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada pimpinan kerja mendapat nilai presentase 92,31% untuk kategori "Baik" dan untuk kinerja Sistem Keselamatan dan Kesehatan kerja (SMK3) pada staf/karyawan mendapat nilai presentase 100% untuk kategori "Baik". Untuk nilai keseluruhan tentang pengetahuan dan kinerja Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek pembangunan rusun polres Gorontalo Utara mendapat nilai presentase 85,9%.

Untuk pengetahuan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada buruh pada proyek PLTU Anggrek memiliki nilai presentase 100% yang dapat diartikan bahwa profesi buruh pada proyek PLTU Anggrek sudah sangat paham mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Untuk kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek PLTU Anggrek pada pimpinan kerja dan staf/karyawan mendapat hasil nilai presentase 100%. Untuk nilai keseluruhan pada proyek PLTU Anggrek mendapat nilai presentase 100%.

Berdasarkan data hasil penelitian untuk proyek di Provinsi Gorontalo yaitu proyek pembangunan rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka,

pembangunan rusun pemda Gorontalo Utara paramedis rumah sakit, pembangunan rusun polres Gorontalo Utara, proyek PLTU Anggrek untuk profesi buruh sesuai dengan jawaban reponden mendapatkan nilai presentase 72,34% yang sudah menyatakan paham mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

Untuk Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada keempat proyek diatas dari profesi pimpinan kerja untuk kategori “Baik” mendapatkan presentase nilai rata-rata 80,8% dan untuk kategori “Cukup Baik” mendapatkan presentase nilai rata-rata 9,62%, kategori “Sedang” mendapatkan presentase nilai rata-rata 1,92% dan untuk kategori “Tidak Ada” mendapatkan presentase nilai rata-rata 7,69%. Dapat diartikan bahwa Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada keempat proyek ini dapat dikatakan “Baik” karena mendapatkan nilai presentase rata-rata 80,77% untuk kategori “Baik”.

Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada profesi staf/karyawan untuk kategori “Baik” mendapatkan presentase nilai rata-rata 69,44% dan untuk kategori “Cukup Baik” mendapatkan hasil presentase nilai rata-rata 30,56%. Dapat dilihat bahwa untuk Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada keempat proyek sudah dalam kategori “Cukup Baik” dengan presentase nilai rata-rata 69,44.

E. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Penilaian Kinerja Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) untuk proyek Pembangunan Rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka, Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah Sakit, Pembangunan Rusun Polres Gorontalo Utara, PLTU Anggrek dapat di kategorikan “Baik” dengan mendapatkan nilai presentase 74,18%, meskipun masih ada kinerja Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang belum dilaksanakan dengan baik dan lebih untuk memperhatikan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pekerja.
2. Berdasarkan hasil Penilaian yang telah dilakukan Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada proyek konstruksi Pembangunan Rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka, Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah Sakit, Pembangunan Rusun Polres Gorontalo Utara, PLTU Anggrek agar lebih meningkatkan Kinerja Sistem Manajemen dan Keselamatan dan Kesehatan kerja (SMK3) di lokasi proyek konstruksi yang sedang berlangsung karena berdasarkan nilai presentase 25,82% dari nilai total keseluruhan masih belum melaksanakan Kinerja Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3).
3. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan masing-masing proyek memiliki Kinerja Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) yang berbeda-beda. Untuk Kinerja Sistem Keselamatan dan Kesehatan

Kerja (SMK3) pada proyek Pembangunan Rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka mendapatkan nilai presentase 71,4%, Pembangunan Rusun Pemda Gorontalo Utara Paramedis Rumah Sakit mendapatkan nilai presentase 42,3%, Pembangunan Rusun Polres Gorontalo Utara mendapatkan nilai presentase 85,9% dan untuk proyek PLTU Anggrek mendapatkan nilai presentase 100%. Dapat dilihat dari uraian di atas bahwa dari keempat proyek tersebut memiliki nilai presentase yang berbeda-beda dan dari keempat proyek tersebut PLTU Anggrek memiliki nilai presentase tertinggi dan untuk proyek Pembangunan Rusun Korem 133 NW/Kodam XIII Merdeka dengan nilai presentase terendah.

Referensi

- [1] B. Endroyo, *Peranan Manajemen K3 Dalam Pencegahan Kecelakaan Kerja Konstruksi*, vol. 3, no. 1, pp. 8-15, 2006.
- [2] P. NUGRAHA, *Manajemen Proyek Konstruksi*, Jakarta: S.I. Kartika Yudha, 1986.
- [3] D. R. E. T. M. Y. &. U. A. Taludio, *“Evaluasi Keefektifan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Proyek Konstruksi di Kota Gorontalo,”* 2016.
- [4] F. W., D. &. M. G. Y. Pangkey, *“Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Proyek Konstruksi di Indonesia,”* 2012.
- [5] D. D. Wulansari, *“Pemakaian Alat Pelindung Diri Sebagai Upaya,”* Library.uns.ac.id, Solo, 2009.
- [6] Depnaker. RI, *“Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja,”* Jakarta, 2012.
- [7] S. Moeljosoedarmo, *“Hubungan Antara Pemakaian Alat Pelindung,”* library.unnes.ac.id, Semarang, 2008.

**Kajian Pengendalian Banjir
dengan Normalisasi dan Tanggul pada Sungai Gunting
di Kabupaten Jombang, Jawa Timur**

Sumiadi

Universitas Brawijaya
Pos-el: sumiadi_73@ub.ac.id

Andre Primantyo H.

Universitas Brawijaya
Pos-el: andre_ph@ub.ac.id

Nur Faizaturrohmah

Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi
Jakarta Selatan
Pos-el: izzar2297@gmail.com

Abstrak

Sungai Gunting yang melintasi Kabupaten Jombang Provinsi Jawa Timur memiliki panjang sungai utama $\pm 32,20$ km dengan luas daerah aliran sungai sebesar $\pm 240,26$ km². Kejadian banjir akibat meluapnya aliran Sungai Gunting terjadi hampir tiap tahun yang menggenangi jalan raya, pemukiman, area pertanian, dan fasilitas pendidikan. Akibatnya, kerugian yang ditimbulkan sangat besar baik secara ekonomi maupun rasa aman.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas normalisasi dan tanggul sebagai upaya pengendalian banjir pada Sungai Gunting. Untuk itu dilakukan pemodelan banjir pada alur bagian hilir Sungai Gunting sepanjang $\pm 8,88$ km menggunakan program HEC-RAS Versi 5.0.3. Debit banjir rencana kala ulang 25 tahun sebagai input data didapatkan dari analisis hidrologi menggunakan data hujan sepanjang 15 tahun dari 4 stasiun hujan.

Berdasarkan analisis hidrologi diperoleh debit banjir rencana yang mengalir di Sungai Gunting bagian hilir

dengan kala ulang 25 tahun (Q_{25th}) adalah sebesar 386,188 m^3/dt . Hasil pemodelan banjir menunjukkan bahwa penampang eksisting Sungai Gunting tidak mampu menampung debit banjir Q_{25th} sehingga terjadi limpasan pada ruas bagian hilir. Selanjutnya, dilakukan normalisasi penampang sungai menjadi bentuk trapesium dengan lebar dasar 35 m dan kemiringan tebing 1:1. Hasil analisis menunjukkan masih terjadi limpasan dengan tinggi limpasan maksimum sebesar 1,8 m. Upaya pengendalian banjir selanjutnya adalah menambahkan tanggul banjir setinggi 2,5 m sehingga limpasan banjir tidak terjadi lagi.

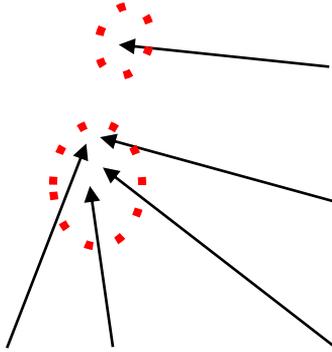
Kata Kunci: pengendalian banjir, sungai gunting, HEC-RAS V.5.0.3, normalisasi, tanggul

A. Pendahuluan

Banjir yang diakibatkan oleh meluapnya aliran sungai sering kali terjadi di Indonesia, tidak terkecuali di Jawa Timur. Salah satu daerah yang menjadi langganan banjir di Jawa Timur adalah Kabupaten Jombang yaitu pada Sub DAS Gunting. Sub DAS Gunting memiliki luas sebesar $\pm 240,26 \text{ km}^2$ dan memiliki panjang sungai utama $\pm 32,20 \text{ km}$ dari hulu ke hilir. Secara geografis, merupakan wilayah tanah pegunungan dengan kemiringan lahan lebih dari 15-40%. Kondisi tersebut memengaruhi Sub DAS Gunting menjadi salah satu *main drain* di wilayah Kabupaten Jombang.

Berdasarkan data dan informasi dari Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Kabupaten Jombang diketahui beberapa lokasi banjir pada wilayah Sub DAS Gunting. Luapan banir Sungai Gunting menggenangi jalan raya dan menyebabkan kemacetan yang cukup panjang. Tidak hanya itu, luapan banjir Sungai Gunting juga menggenangi beberapa rumah warga dengan ketinggian antara 0,5 sampai 1,5 m. Luapan banjir juga menggenangi area

pertanian yang berisi padi dan tebu, serta menggenangi sekolah. Pada Gambar 1 berikut merupakan beberapa gambar kejadian banjir yang terjadi pada Sungai Gunting.



Gambar 1 Kejadian Banjir Akibat Meluapnya Sungai Gunting

Penyebab utama banjir yang sering terjadi pada Sungai Gunting adalah terjadinya penyempitan penampang sungai karena pemanfaatan dataran banjir untuk pemukiman. Pada beberapa lokasi di sepanjang sungai juga mengalami pendangkalan akibat sedimentasi.

Berangkat dari kondisi tersebut, maka sangat diperlukan studi tentang upaya pengendalian banjir Sungai Gunting agar kerugian akibat banjir dapat dihindari. Pada studi ini dikaji efektivitas normalisasi dan tanggul sebagai upaya pengendalian banjir di Sungai Gunting.

B. Kajian Teoretis

1. Umum

Banjir merupakan fenomena alam yang biasa terjadi di suatu kawasan yang banyak dialiri oleh aliran sungai. Secara sederhana, banjir dapat didefinisikan suatu keadaan sungai di mana aliran airnya tidak

tertampung oleh palung sungai karena debit banjir lebih besar dari kapasitas sungai yang ada. Dalam cakupan pembicaraan yang luas, kita bisa melihat banjir sebagai suatu bagian dari siklus hidrologi, yaitu pada bagian air di permukaan bumi yang bergerak ke laut. Dalam siklus hidrologi kita dapat melihat bahwa volume air yang mengalir di permukaan bumi dominan ditentukan oleh tingkat curah hujan dan tingkat resapan air ke dalam tanah. Air hujan sampai di permukaan bumi dan mengalir di permukaan bumi, bergerak menuju ke laut dengan membentuk alur-alur sungai. Alur-alur sungai ini dimulai di daerah yang tertinggi di suatu kawasan, bisa daerah pegunungan, gunung atau perbukitan, dan berakhir di tepi pantai ketika aliran air masuk ke laut. Secara sederhana, segmen aliran sungai itu dapat kita bedakan menjadi daerah hulu, tengah, dan hilir [1].

2. Analisis Hidrologi

Secara umum, analisis hidrologi merupakan bagian awal dalam perencanaan bangunan hidraulik termasuk bangunan pengendali banjir. Dalam hidrologi, salah satu aspek analisis yang diharapkan dan dihasilkan dapat menunjang perencanaan bangunan-bangunan hidraulik yaitu penetapan hujan rancangan dan debit banjir rancangan.

Adapun data yang sangat diperlukan adalah data curah hujan yang diambil dari beberapa stasiun penakar di lokasi kajian dengan jangka waktu yang cukup panjang. Dari data-data curah hujan pada beberapa stasiun penakar hujan kemudian dianalisis curah hujan rancangan dengan menggunakan analisis frekuensi yang sesuai dengan data yang diperoleh.

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan dengan periode kala ulang tertentu. Untuk mengetahui kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut, maka diperlukan adanya uji kecocokan distribusi [2]. Uji kecocokan distribusi yang umum digunakan adalah chi-kuadrat (*chi-square*) dan smirnov-kolmogorov. Hal tersebut yang nantinya akan menjadi tolak ukur perhitungan analisis hidrologi.

a. Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Curah hujan ini disebut curah hujan rerata daerah yang dinyatakan dalam milimeter [3]. Terdapat tiga metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rerata daerah, yaitu metode rata-rata aljabar, metode poligon Thiessen, dan metode Isohyet.

Pada studi ini digunakan metode poligon Thiessen di mana curah hujan rerata daerah dihitung dengan mempertimbangkan pengaruh tiap-tiap stasiun hujan. Luas masing-masing poligon dapat ditentukan dengan planimetri dan dinyatakan sebagai persentase dari luas total. Hasil perhitungan dengan metode poligon Thiessen biasanya lebih teliti daripada hasil-hasil yang diperoleh dari rata-rata aljabar. Curah hujan

rerata daerah metode poligon Thiessen dapat dihitung dengan persamaan berikut [3]:

$$\underline{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum A_i R_j}{A_i} \quad (1)$$

dengan:

\underline{R} = tinggi curah hujan rata-rata daerah (mm)

R_1, R_2, R_n = curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

A_1, A_2, A_n = luas daerah pada pos penakar 1, 2, ... n (km²)

b. Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, melainkan lebih tepat untuk memperkirakan debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu harga tertentu. Dalam hidrologi, analisis tersebut dipakai untuk menentukan besarnya hujan dan debit banjir rancangan (*design flood*) dengan kala ulang tertentu [4].

Untuk menganalisis curah hujan rancangan umumnya dipakai salah satu dari berbagai macam teori, antara lain distribusi normal, distribusi gumbel dan distribusi *log pearson* tipe III. Setiap teori memiliki parameter statistik yang digunakan untuk menentukan berbagai macam sebaran yang dirasa sesuai, yaitu C_s (koefisien *skewness*), merupakan ukuran dari penyimpangan suatu distribusi, C_k (koefisien kurtosis), merupakan ukuran kepuncakan distribusi [Sri harto, 7].

c. Analisis Debit Banjir Rancangan

1) Koefisien Pengaliran

Koefisien limpasan/pengaliran merupakan variabel untuk menentukan besarnya limpasan permukaan tersebut di mana penentuannya didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

Kawakami menyusun sebuah rumus yang mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu, koefisien pengaliran tidak tetap, tapi tergantung dari curah hujan, dan dapat didekati dengan persamaan berikut [3]:

$$f = 1 - \frac{R'}{Rt} = 1 - f' \quad (2)$$

Di mana:

f = koefisien pengaliran;

f' = laju kehilangan;

Rt = jumlah curah hujan; dan

R' = kehilangan curah hujan.

Koefisien pengaliran pada suatu daerah dipengaruhi oleh kondisi karakteristiknya seperti kondisi curah hujan, luas dan bentuk daerah pengaliran, kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai, daya infiltrasi dan perkolasi tanah, suhu udara dan angin, serta evaporasi dan tata guna lahan [3]. Besarnya angka koefisien pengaliran pada suatu daerah dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1

Koefisien Limpasan (Mononobe)

Kondisi Daerah Pengaliran dan Sungai	Koefisien pengaliran
Daerah pegunungan yang curam	0.75–0.90
Daerah pegunungan tersier	0.70–0.80
Daerah bergelombang dan hutan	0.50–0.75
Daerah dataran yang ditanami	0.45–0.60
Persawahan yang diairi	0.70–0.80
Sungai di daerah pegunungan	0.75–0.85
Sungai kecil di daerah dataran	0.45–0.75
Sungai besar dengan ½ wilayah pengalirannya terdiri atas dataran	0.50–0.75

- 2) Distribusi Hujan Jam-Jaman Metode PSA-007
Pada metode PSA-007 distribusi hujan jam-jaman ditetapkan dengan cara pengamatan langsung terhadap data pencatatan hujan jam-jaman pada stasiun hujan yang paling berpengaruh pada DAS. Distribusi tersebut diperoleh dengan pengelompokan tinggi hujan ke dalam *range* dengan tinggi tertentu. Dari data yang telah disusun dalam *range* tinggi hujan tersebut dipilih distribusi tinggi hujan rancangan dengan berdasarkan analisis frekuensi dan frekuensi kemunculan tertinggi pada distribusi hujan jam-jaman tertentu. Selanjutnya, dibuat persentase terhadap hujan tiap jam terhadap tinggi hujan total pada distribusi hujan yang ditetapkan. Bentuk hubungan tinggi curah hujan yang ditunjukkan pada metode PSA-007 adalah lebih tinggi pada awal terjadi

hujan dan berangsur-angsur mengecil selama periode berlangsungnya hujan.

3) Kriteria Perencanaan Penentuan Kala Ulang Banjir

Mengacu kepada *rainfall relation* dan *design flood*, Departemen Pekerjaan Umum (1974), debit banjir rancangan untuk desain bangunan air [5] seperti Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2

Kriteria Penggunaan Debit Banjir Rancangan untuk Desain Bangunan Air

No.	Bangunan	Periode Ulang (Tr) (tahun)
1	<i>Earth/Rockfill Dam</i>	1000
2	Bendungan Beton	500-1000
3	Bendung	50-100
4	Saluran Pengelak Banjir	20-50
5	Tanggul	5-20
6	Saluran Drainase Sawah	5-10

4) Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Nakayasu mengusulkan persamaan debit puncak banjir [4]:

$$Q_p = \frac{C \times A \times R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (3)$$

Dengan:

Q_p = debit puncak banjir (m³/det),

R_0 = hujan satuan (mm),

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam),

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penuru-nan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak,

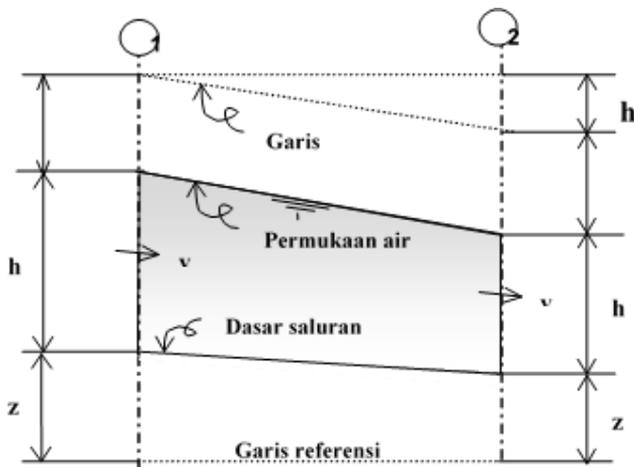
A = luas DAS (km²),

C = koefisien pengaliran.

3. Analisis Hidrolika

Pemodelan banjir pada studi ini menggunakan program HEC-RAS versi 5.0.3 untuk kondisi aliran permanen (*steady flow*) dan aliran tidak seragam (*unsteady flow*).

Persamaan energi digunakan sebagai dasar perhitungan kedalaman aliran. Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi dari setiap aliran yang melalui suatu penampang saluran, dapat dinyatakan sebagai jumlah tinggi kedalaman, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan [6]. Persamaan energi aliran di saluran terbuka dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Energi dalam Aliran Saluran Terbuka

Persamaan energi dalam hal ini digunakan untuk dasar perhitungan aliran tetap (*steady flow*) dalam saluran terbuka. Persamaan energi yang dimaksud dapat dilihat pada persamaan (8) sebagai berikut:

$$Z_1 + y_1 + a_1 \frac{v_1}{2g} = Z_2 + y_2 + a_2 \frac{v_2}{2g} + hf \quad (4)$$

Dengan:

Z_1, Z_2 = ketinggian air dari datum (m);

y_1, y_2 = kedalaman air (m);

a_1, a_2 = koefisien distribusi kecepatan;

v_1, v_2 = kecepatan aliran (m/dt);

g = gravitasi (m/dt²); dan

hf = kehilangan tinggi akibat gesekan (m).

Adanya kehilangan energi pada penampang sungai dapat diakibatkan oleh adanya gesekan yang akan menyebabkan perubahan penampang. Kehilangan akibat gesekan dievaluasi akibat dari hasil kemiringan garis energi S_f dan panjang L sehingga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$hf = L \times Sf \quad (5)$$

$$Sf = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (6)$$

dengan

hf = kehilangan energi akibat gesekan (m);

L = Jarak antar-*section* (m);

Sf = kemiringan garis energi;

K = pengangkutan aliran tiap subbagian; dan

Q = debit air (m³/dt).

Nilai kekasaran dasar suatu sungai bervariasi, hal ini dipengaruhi oleh kondisi material sebagai penyusun dasar sungai berbeda-beda. Maka dalam penentuan nilai koefisien Manning perlu memperhatikan kondisi dasar sungai yang dikaji [6].

4. Pengendalian Banjir

a. Umum

Untuk menentukan suatu metode yang sesuai untuk jenis pengendalian banjir harus disesuaikan dengan lokasi dan sifat dari banjir yang terjadi. Sebagaimana halnya dengan banjir di

bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tapi durasiya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang. Agar penanggulangan banjir dapat dilaksanakan dengan efektif, maka penyebab banjir dan kondisi di sepanjang sungai harus dipelajari dengan saksama supaya metode yang diterapkan sesuai.

b. Normalisasi Alur Sungai

Normalisasi alur sungai direncanakan menyesuaikan tingkat perkembangan suatu lembah sungai serta perubahan tata guna lahan di DAS. Perbaikan alur sungai tersebut dilakukan dengan memperbaiki formasi trase alur sungai, formasi penampang sungai, seperti lebar sungai rencana, bentuk rencana penampang sungai, kemiringan memanjang sungai, dan penempatan bangunan sungai. [7]

Dalam penentuan lebar rencana sungai perlu dipertimbangkan perubahan regime aliran yang mungkin terjadi. Jika lebar sungai diperkecil, maka kemungkinan terjadi limpasan atau jebolnya tanggul akan semakin besar. Sedangkan jika lebar sungai diperbesar, lintasan aliran air akan tidak teratur dan lintasan banjir tidak dapat dipastikan. Maka dari itu, penentuan lebar rencana sungai merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam perencanaan, perbaikan, serta pengaturan sungai [7].

Sedangkan perencanaan bentuk penampang sungai berdasarkan besarnya debit banjir maksimum yang akan dialirkan. Bentuk penampang

trapesium sangat dianjurkan karena mudah dalam hal pelaksanaan, serta akan memberikan efisiensi yang cukup tinggi dalam mengalirkan debit. [7]

c. Tanggul

Salah satu upaya dalam pengendalian banjir yaitu pembuatan tanggul. Tanggul di sepanjang sungai merupakan bangunan yang paling utama dan paling penting untuk melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat dari genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir. Tanggul dapat dibangun dengan konstruksi urugan tanah. [7]

Tinggi jagaan merupakan tambahan tinggi pada tanggul untuk pengamanan arah sekitar aliran sungai bila terjadi luapan air banjir yang melimpah melalui tanggul. Luapan tersebut dapat terjadi akibat adanya loncatan hidrolis pada saat banjir. Tinggi jagaan tanggul tersebut dapat berkisar antara 0,6 m sampai 2,0 m seperti ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3

Hubungan Debit Banjir Rancangan dengan Tinggi Jagaan

Debit Banjir Rancangan (m³/dt)	Tinggi Jagaan (m)
< 200	0,6
200–500	0,8
500–2,000	1,0
2,000–5,000	1,2
5,000–10,000	1,5
> 10,000	2,0

Sedangkan lebar mercu tanggul menyesuaikan debit banjir rancangan yang akan dilewatkan sebagaimana terlihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4

Hubungan Debit Banjir Rancangan dengan Lebar Mercu Tanggul [7]

Debit Banjir Rancangan (m ³ /dt)	Lebar Mercu Tanggul (m)
< 500	3
500–2,000	4
2,000–5,000	5
5,000–10,000	6
> 10,000	7

Penentuan kemiringan lereng tanggul merupakan tahapan yang paling penting dalam perencanaan tanggul. Hal tersebut sangat erat kaitannya dengan infiltrasi air dalam tubuh tanggul, serta karakteristik mekanika tanah tubuh tanggul tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan lereng, tanggul direncanakan dengan kemiringan 1:2 atau lebih kecil [7].

C. Hasil dan Pembahasan

1. Analisis Hidrologi

Berdasarkan data hujan harian dari 4 stasiun hujan dihitung hujan rerata daerah dengan metode Poligon Thiessen dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5

Hujan Rerata Daerah pada DAS Gunting

No.	Tahun	<i>Koef. Thiessen</i> × R_i				Hujan Rerata Daerah (mm)
		Mojowarno	Bareng	Wono-salam	Mojoagung	
		0,177	0,151	0,463	0,209	
1	2003	14,338	14,811	54,161	19,849	103,159
2	2004	14,161	19,193	111,563	19,014	163,931
3	2005	14,161	19,193	111,563	19,014	163,931

4	2006	14,161	19,193	111,563	19,014	163,931
5	2007	14,161	19,193	111,563	19,014	163,931
6	2008	15,931	8,010	46,292	14,626	84,859
7	2009	22,127	12,846	47,680	19,849	102,503
8	2010	16,463	16,624	39,348	101,754	174,188
9	2011	15,046	16,171	50,921	17,133	99,271
10	2012	14,161	15,264	43,514	15,671	88,610
11	2013	23,366	11,032	51,384	17,760	103,542
12	2014	23,366	11,032	37,033	21,730	93,162
13	2015	20,357	45,338	57,864	12,536	136,096
14	2016	21,242	13,904	56,013	36,982	128,141
15	2017	15,931	16,624	60,642	34,266	127,464

Hasil perhitungan curah hujan rancangan menggunakan distribusi metode *log pearson* tipe III. Untuk curah hujan rancangan dengan kala ulang 25 tahun diperoleh sebesar 193,404 mm. Sedangkan dari uji *smirnov-kolmogorof* dan uji *chi-square* dinyatakan diterima.

Selanjutnya, menghitung curah hujan jam-jaman kala ulang 25 tahun dengan metode PSA 007. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada jam pertama curah hujan rendah dan mulai meningkat pada jam kedua, serta puncaknya terjadi pada jam ketiga, dan mulai menurun kembali pada jam keempat sampai dengan jam keenam sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6
Distribusi Hujan Netto Jam-Jaman Metode PSA 007

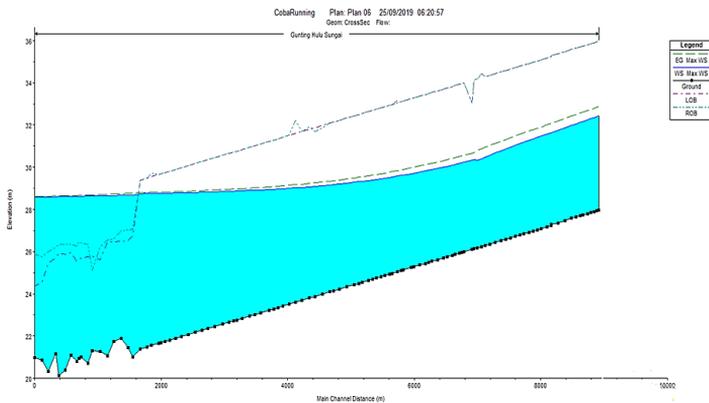
Jam ke:	1	2	3	4	5	6
Hujan Netto (mm)	1,420	3,975	39,039	2,981	1,420	1,278

Perhitungan selanjutnya debit banjir rancangan menggunakan hidrograf satuan sintetis Nakayasu dengan penyesuaian terhadap parameter hitungnya

terhadap prinsip-prinsip terjadinya limpasan dari hujan dalam pembuatan hidrograf satuan sintesis. Parameter utama untuk menghitung debit banjir rancangan dengan metode HSS Nakayasu adalah luas Sub DAS Gunting sebesar 240,26 km² dan panjang sungai utama sebesar 32,2 km. Dari hasil perhitungan didapatkan debit puncak banjir dengan kala ulang 25 tahun sebesar 386,188 m³/dt.

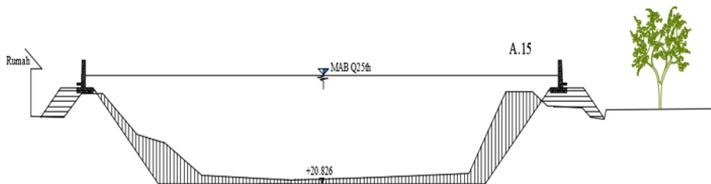
2. Analisis Hidrolika

Dari hasil pemodelan banjir menggunakan *HEC-RAS* dapat diketahui bahwa ketinggian muka air banjir cukup tinggi sehingga menyebabkan terjadinya limpasan di beberapa titik. Untuk debit yang setara dengan banjir historis yang pernah terjadi, ketinggian muka air yang tercapai saat banjir adalah sebesar 0,2–1,5 m sedangkan hasil *running HEC-RAS* adalah 0,4–1,8 m. Kalibrasi *HEC-RAS* dilakukan dengan cara coba-coba nilai kekasaran manning agar hasil dari *HEC-RAS* sesuai. Setelah dilakukan kalibrasi, diperoleh hasil pemodelan banjir menggunakan *HEC-RAS* dengan $Q_{25th} = 386,118 \text{ m}^3/\text{dt}$, pada penampang eksisting menunjukkan terjadinya limpasan pada 19 patok di bagian hilir sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



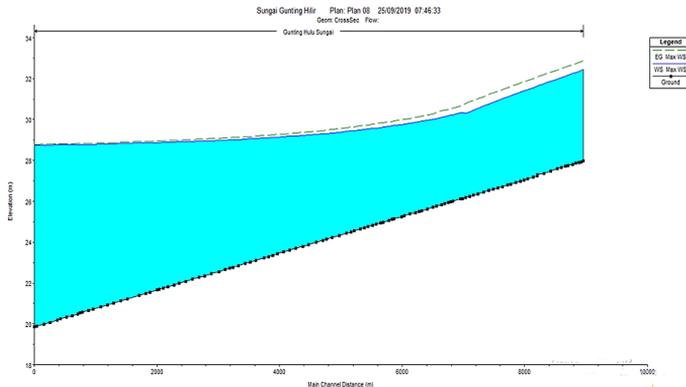
Gambar 3 Profil Muka Air Banjir Q_{25th} pada Kondisi Eksisting

Selanjutnya, dilakukan penanggulangan banjir dengan normalisasi dan pembuatan tanggul. Normalisasi penampang sungai dilakukan dengan merencanakan penampang sungai berbentuk trapesium dengan dasar 35 m dan kemiringan tebing 1:1. Dari hasil analisis diperoleh masih terjadi limpasan dengan tinggi limpasan maksimum sebesar 1,8 m. Selanjutnya, upaya pengendalian banjir selanjutnya adalah menambahkan tanggul berupa dinding penahan banjir setinggi 2,5 m. Adapun penampang sungai hasil normalisasi dan penambahan tanggul sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Normalisasi Penampang Sungai dan Penambahan Tanggul

Selanjutnya, dilakukan running dengan Q_{25th} pada penampang sungai yang baru dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Profil Muka Air Banjir Q₂₅th setelah Normalisasi dan Penambahan Tanggul

Berdasarkan hasil pemodelan banjir dengan Q₂₅th pada Sungai Gunting yang telah dinormalisasi dan penambahan tanggul diketahui bahwa muka air banjir tidak berada di bawah elevasi puncak tanggul. Hal ini menunjukkan tidak terjadi luapan sehingga pengendalian banjir dikatakan berhasil.

D. Penutup

Debit banjir rencana di Sungai Gunting bagian hilir dengan kala ulang 25 tahun yang dihitung dengan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu adalah sebesar 386,188 m³/dt. Berdasarkan pemodelan banjir menggunakan HEC-RASS diketahui bahwa penampang eksisting Sungai Gunting tidak mampu menampung debit banjir kala ulang 25 tahun sehingga terjadi limpasan di bagian hilir, dengan tinggi limpasan maksimum sebesar 4,0 m. Setelah dilakukan normalisasi penampang sungai dengan lebar dasar 35 m dan kemiringan tebing 1:1, ternyata masih terjadi limpasan dengan tinggi limpasan maksimum sebesar 1,8 m. Upaya terakhir adalah dengan menambahkan tanggul berupa dinding penahan banjir setinggi 2,5 m sehingga limpasan

banjir tidak terjadi lagi sehingga normalisasi dan pembangunan tanggul merupakan alternatif penanggulangan banjir yang efektif di Sungai Gunting.

Referensi

- [1] R.J. Kodoatie, and Sugiyanto, *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2002.
- [2] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset, 2004.
- [3] S. Sosrodarsono, *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2003.
- [4] L.M. Limantara, *Hidrologi Praktis*. Bandung: Lubuk Agung, 2010.
- [5] J. Loebis, *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1984.
- [6] V.T. Chow, *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [7] S. Sosrodarsono, *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1994.

Analisis Persepsi Masyarakat terhadap Alam dan Lingkungan di Desa Kaidundu Barat Kabupaten Bone Bolango

Beby Shintia Banteng

Universitas Negeri Gorontalo

Pos-el: bebysintia@ung.ac.id

Arfan Usman Sumaga

Universitas Negeri Gorontalo

Pos-el: arfan.sumaga@ung.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis persepsi masyarakat Desa Kaidundu Kabupaten Bone Bolango, terhadap alam dan keadaan lingkungan tempat tinggalnya dan pemahamannya tentang konservasi lingkungan mengingat wilayahnya berada di sepanjang pantai. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya ketergantungan hidup masyarakat terhadap keberadaan lingkungannya tapi secara empiris terlihat tidak dibarengi dengan sikap yang inovatif. Pengumpulan data dilaksanakan melalui wawancara terstruktur menggunakan kuesioner. Wawancara mendalam terhadap responden kunci. Pengumpulan data juga dilakukan melalui diskusi kelompok terfokus (FGD) sebagai bagian dari validasi data. Sumber data primer berasal dari seluruh masyarakat/penduduk yang berada di desa-desa pesisir Desa Kaidundu dan dikombinasikan dengan hasil wawancara tim peneliti dengan unsur kelembagaan formal dan informal. Hasil analisis tentang persepsi masyarakat Desa Kaidundu umumnya memiliki persepsi yang tergolong sedang yakni sebanyak 66%, sedangkan 20% lainnya memiliki persepsi inovasi yang rendah dan 14% responden lainnya memiliki persepsi inovasi yang tinggi terhadap lingkungan dan masalah konservasi lingkungan alamnya. Kondisi ini menggambarkan

walaupun tingkat pendidikan relatif rendah, tetapi secara umum memiliki persepsi sedang.

Kata kunci: persepsi, masyarakat desa

A. Pendahuluan

Pengelolaan wilayah pesisir biasanya dilakukan secara sektoral berkaitan dengan pengelolaan pada satu macam pemanfaatan sumber daya pesisir yang dilakukan oleh satu instansi pemerintah. Pengelolaan wilayah pesisir ini mempunyai tujuan tertentu namun dalam pelaksanaannya kurang mempertimbangkan aspek ekologis, geografis, dan sosial budaya, diikuti rendahnya persepsi masyarakat. Pengelolaan semacam ini dapat menimbulkan konflik kepentingan antarsektor yang berkepentingan dalam melakukan aktivitas pembangunan pada wilayah pesisir yang sama. Selain itu, pendekatan sektoral semacam ini umumnya kurang memperhatikan dampak terhadap pengelolaan sumber daya yang lain sehingga dapat mematikan usaha di sektor lain. [1]

Wilayah pedesaan yang berada di sepanjang pantai selatan, utamanya daerah Bone Pesisir itu didominasi oleh lautan menyebabkan masyarakat yang tinggal di sekitar pesisir memiliki ketergantungan hidupnya terhadap sumber daya pesisir dan laut. Pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi mendorong tumbuhnya berbagai kegiatan pemanfaatan sumber daya pesisir. Hal ini akan berdampak positif terhadap peningkatan kondisi perekonomian masyarakat, tetapi di sisi lain hal ini dapat menyebabkan berbagai dampak negatif. Adanya kegiatan pemanfaatan sumber daya pesisir akan mengakibatkan kerusakan lingkungan. [2]

Analisis persepsi masyarakat pesisir akan sangat menentukan apakah masyarakat mengerti tentang konservasi alam bagi kelangsungan hidup masyarakat dan lingkungan pesisir dalam kaitan dengan pengelolaan kawasan konservasi tersebut agar tetap lestari. [3]

Desa Kaidundu Barat adalah desa hasil pemisahan dari Desa Bilungala Timur Kecamatan Bonepantai, tepatnya pada tahun 1930 dengan nama Desa Uabanga I yang pusat pemerintahannya di Dusun Kaidundu. Desa Kaidundu Barat yang secara struktural merupakan bagian dari Kecamatan Bulawa. Secara geografis, Desa Kaidundu Barat terletak di antara Desa Pinomontiga Kecamatan Bulawa dan desa Kaidundu dengan luas wilayah sebesar 850 Ha, yang terbagi menjadi 4 (empat). Desa Kaidundu Barat Kecamatan Bulawa yang merupakan daerah otonom desa dengan jumlah penduduk 508 jiwa yang terdiri atas 286 jiwa penduduk laki-laki dan 222 jiwa penduduk perempuan. Desa ini merupakan bagian dari Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. [4]

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis persepsi masyarakat pesisir terhadap alam dan lingkungan di Desa Kaidundu Barat Kecamatan Bone Pantai Kabupaten Bone Bolango.

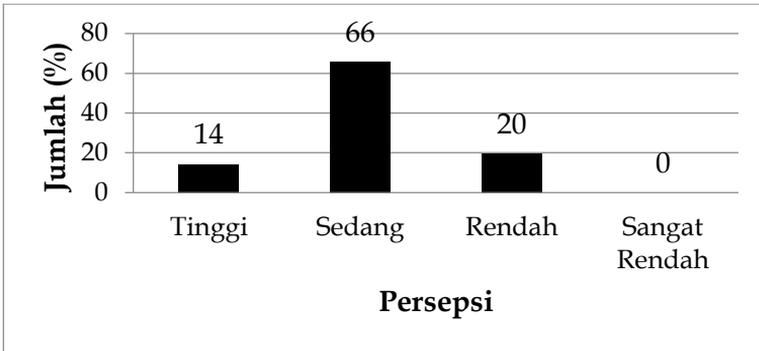
B. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Desa Kaidundu Barat Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. Pemilihan lokasi secara sengaja (*purposive*) dengan mempertimbangkan potensi nilai ekonomi sumber daya alam dan lingkungan yang besar dan strategis untuk kelangsungan hidup masyarakat sekitarnya. Waktu kegiatan penelitian selama satu bulan.

Pengumpulan data dilaksanakan melalui wawancara terstruktur menggunakan kuesioner. Wawancara mendalam (*indepth interview*) terhadap responden kunci untuk memperoleh informasi yang komprehensif. Pengumpulan data juga dilakukan melalui diskusi kelompok terfokus (FGD) sebagai bagian dari validasi data. Sumber data primer berasal dari seluruh masyarakat/penduduk yang berada di desa Kaidundu Barat dan dikombinasikan dengan hasil wawancara tim peneliti dengan unsur-unsur kelembagaan formal dan informal. Data sekunder diperoleh dari hasil olah data, kajian, dan riset yang dilakukan oleh instansi pemerintah pusat dan daerah maupun organisasi nonpemerintah dan lembaga swadaya masyarakat.

C. Hasil Persepsi Masyarakat tentang Lingkungan dan Konservasi

Persepsi masyarakat tentang lingkungan dan masalah konservasi alam merupakan informasi penting untuk memahami modal sosial masyarakat. Persepsi masyarakat Desa Kaidundu Barat terhadap lingkungan tempat tinggalnya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti budaya, kebiasaan, faktor ekonomi, dan faktor sosial. Baik buruknya persepsi terhadap kondisi lingkungan masyarakat dipengaruhi oleh tingkat pendidikan dan pengalaman. Hal lainnya masyarakat juga akan bisa memiliki persepsi positif meskipun tingkat pendidikannya relatif rendah atau sedang, jika masyarakat terbuka akan banyak hal karena memiliki kesadaran politik yang tinggi. (Pomalingo, 2000). Gambar di bawah ini memperlihatkan hasil survei tentang persepsi masyarakat terhadap inovasi lingkungan dan masalah konservasi alamnya.



Gambar 1 Karakteristik Responden menurut Persepsi Keseluruhan
(Sumber: Data primer, 2019)

Hasil analisis tentang persepsi masyarakat Desa Kaidundu dapat dilihat bahwa umumnya memiliki persepsi yang tergolong sedang yakni sebanyak 66%, sedangkan 20% lainnya memiliki persepsi inovasi yang rendah dan 14% responden lainnya memiliki persepsi yang tinggi terhadap lingkungan dan masalah konservasi lingkungan alamnya. Kondisi ini menggambarkan walaupun tingkat pendidikan relatif rendah, tetapi secara umum memiliki persepsi sedang. Hal tersebut memberikan tafsiran bahwa persoalan lingkungan terkait masalah konservasi alam sudah diketahui. Pemerintah dan para pemangku kepentingan (*stakeholder*) lainnya melalui kegiatan formal dan informal sering melakukan sosialisasi terkait inovasi dan masalah konservasi sehingga masyarakat memiliki pandangan cukup baik tentang lingkungan alam tempat tinggalnya.

D. Pembahasan

Persepsi masyarakat sebagai responden terkait lingkungan dan masalah konservasi lingkungannya telah dilakukan pendalaman terutama tentang faktor-faktor penyebabnya.

Responden menyatakan ada lima faktor, yaitu sebagai berikut.

1. Kawasan konservasi lingkungan.
2. Dalam aspek ekologis yang dilihat adalah keanekaragaman hayati dan dinamika ekosistem.
3. Aspek ekonomi meliputi mata pencaharian dan peningkatan kesejahteraan.
4. Kelembagaan yang dapat mengakomodasi partisipasi masyarakat lokal dan dukungan pemerintah daerah.
5. Mengharapkan kelestarian lingkungan dan menjamin lestariannya sumber daya alam (pangan) berkelanjutan.

Hasil kajian berdasarkan fakta ini sejalan dengan apa yang disampaikan Hasim (2012) bahwa hal-hal yang berkaitan dengan dimensi kelembagaan itu menyangkut pada (1) perda pengelolaan suatu kawasan (2) kelembagaan lokal, (3) forum konservasi, (4) sinkronisasi kebijakan, (5) mekanisme lintas sektor, (6) kelembagaan khusus, (7) kemitraan, (8) peran rancangan program suatu wilayah, dan (9) pranata hukum adat/agama.

Persepsi masyarakat Desa Kaidundu dan permasalahan yang dialami masyarakat di Desa Kaidundu Barat yang antara lain tingginya ketergantungan masyarakat terhadap pekerjaan atau hanya ingin menjadi pekerja (seperti buruh, nelayan, petani), kurangnya keterampilan masyarakat dalam mengelola potensi sumber daya alam yang ada, kurangnya motivasi terhadap anak-anak untuk bersekolah dan belajar mengaji, serta masalah lainnya. Hal-hal tersebut harus dapat menjadi acuan bagi pemerintah atau pihak terkait lainnya dalam membuat program pembangunan di wilayah ini.

E. Penutup

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa persepsi masyarakat pesisir perihal lingkungan dan masalah konservasi lingkungan alamnya dipengaruhi lima faktor utama, yakni sebagai berikut.

1. Kawasan konservasi lingkungan.
2. Dalam aspek ekologis yang dilihat adalah keanekaragaman hayati dan dinamika ekosistem.
3. Aspek ekonomi meliputi mata pencaharian dan peningkatan kesejahteraan.
4. Kelembagaan yang dapat mengakomodasi partisipasi masyarakat lokal dan dukungan pemerintah daerah.
5. Mengharapkan kelestarian lingkungan dan menjamin lestariannya sumber daya alam (pangan) berkelanjutan.

Referensi

- [1] H. R. J. R. S. P. G. d. M. J. S. Dahuri, *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*, Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2004.
- [2] A. d. A. S. Fauzi, *Permodelan Sumber Daya Perikanan dan Kelautan Untuk Analisis Kebijakan.*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Umum, 2005.
- [3] A. N. B. A. d. S. H. Hellen Nanlohy, "Analisis Persepsi Masyarakat terhadap Pengelolaan Kawasan Mangrove Teluk Kotania," *JURNAL WILAYAH DAN LINGKUNGAN*, Vols. Volume 2 Nomor 1, April 2014, pp. 89-98, 2014.
- [4] BPMPD: Gorontalo, *Profil Desa Kaidundu Barat Kabupaten Bone Bolango*, Gorontalo, 2016.

