

ANALISIS DESAIN GORONG-GORONG MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HY-8 UNTUK MENGALIRKAN DEBIT LIMPASAN PERMUKAAN DI TAMBANG TERBUKA CV GUNUNG BATUJAJAR, KABUPATEN BANDUNG BARAT, JAWA BARAT, INDONESIA

CULVERT DESIGN ANALYSIS USING HY-8 SOFTWARE TO DRAIN SURFACE RUNOFF DISCHARGE AT CV GUNUNG BATUJAJAR, WEST BANDUNG REGENCY, WEST JAVA, INDONESIA

Andrew Christian¹, Heri Prasetya¹

1. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Email: andrewchristian444@gmail.com

ABSTRAK

CV Gunung Batujajar merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penambangan bahan galian industri berupa andesit yang menerapkan sistem tambang terbuka (*surface mining*). Mengenai sistem penyaliran tambang yang diterapkan masih terdapat kendala dalam menangani permasalahan penyaliran. Aliran air hujan yang ada di CV Gunung Batujajar secara umum mengalir ke dua tempat, ke pit bukaan besar yang ada di sebelah selatan dengan persentase aliran air 70% dan ke arah utara sebesar 30%. Setelah ditinjau lebih lanjut 30% aliran air tersebut ternyata mengalir ke arah perumahan penduduk dan menyebabkan air meluap sampai banjir sehingga mengganggu produktivitas penduduk. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian terkait analisis sistem penyaliran menggunakan *culvert*. Dalam melakukan penelitian, penulis mengambil beberapa jenis data seperti data curah hujan selama 10 tahun, data lapangan kondisi geometri jalan, dll. Dengan nilai curah hujan rencana sebesar 157,06 mm/hari serta intensitas hujan rencana sebesar 54,45 mm/jam didapatkan debit limpasan rencana adalah 0,35 m³/s. Untuk desain *culvert* pada *outlet* pertama digunakan desain bentuk trapesium dengan panjang alas sebesar 0,225 m dan tinggi sebesar 0,2 m. Adapun untuk desain pada *outlet* kedua berbentuk trapesium dengan panjang alas sebesar 1,2 m, tinggi 1,3 m. *Outlet* kedua disimpulkan lebih aman secara teknis.

Kata kunci: *Culvert, Curah Hujan, Debit, Penanggulangan*

DOI: 10.15408/jipl.v2i1.25829

ABSTRACT

CV Gunung Batujajar is a company engaged in the mining of industrial minerals in the form of andesite that applies an open-pit mining system (surface mining). Regarding the mining drainage system that is applied, there are still obstacles in dealing with drainage problems. The flow of rainwater in CV Gunung Batujajar generally flows in two places, to the large opening pit in the south with a percentage of 70% water flow and to the north by 30%. After further review, 30% of the water flow turned out to be flowing towards residents' housing and causing the water to overflow until it was flooded, thus disrupting the productivity of the population. Therefore, the authors conducted research related to the analysis of the drainage system using a culvert. In conducting the research, the authors took several types of data such as rainfall data for 10 years, field data on road geometry conditions, etc. With a planned rainfall value of 157.06 mm/day and a planned rainfall intensity of 54.45 mm/hour obtained the design runoff discharge is 0.35 m³/s. For the culvert design at the first outlet, a trapezoidal shape design is used with a base length of 0.225 m and a height of 0.2 m. As for the design at the second outlet, it is in the form of

a trapezoid with a base length of 1.2 m and a height of 1.3 m. The second outlet is concluded to be more technically secure.

Keywords: *Culvert, Rainfall, Discharge, Countermeasures*

PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan mencakup beberapa rangkaian kegiatan yang terstruktur dari langkah eksplorasi, penambangan, studi kelayakan, konstruksi penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang. Salah satu metode penambangan adalah tambang terbuka dimana sistem penambangan ini memiliki kontak langsung dengan udara terbuka serta memiliki area kerja yang relatif lebih luas. Indonesia merupakan negara tropis dimana curah hujannya relatif tinggi, sehingga hal ini memiliki pengaruh besar bagi sistem tambang terbuka. Masalah penyaliran bisa menjadi penghambat proses penambangan sehingga perlu dilakukan langkah preventif maupun pengelolaan bagi penyaliran tambang. Sistem penyaliran tambang dapat dikatakan berhasil jika aliran air dapat diarahkan sehingga tidak mengganggu proses penambangan.

CV Gunung Batujajar adalah sebuah perusahaan tambang swasta berkomoditas batu andesit yang berlokasi di Desa Selacau, Kab. Bandung Barat. Dikutip dari MODI (esdm.go.id), CV Gunung Batujajar memiliki IUP (Izin Usaha Pertambangan) tahapan kegiatan Operasi Produksi yang berlaku mulai dari tanggal 23 Januari 2018 sampai dengan 23 Januari 2023. Adapun luas wilayah IUP (WIUP) Operasi Produksi CV Gunung Batujajar adalah sebesar 8,69 ha. CV Gunung Batujajar secara administratif berada di blok Cabe Areuy, Desa Selacau, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. CV Gunung Batujajar sendiri bergerak di bidang pertambangan batu andesit dengan target produksi yang terus maju dan muka tambang terus mengalami perubahan. Di sisi lain, kondisi cuaca juga akan memengaruhi produksi tambang. Sementara itu, sistem penyaliran tambang yang diterapkan di lokasi penambangan CV Gunung Batujajar masih mengalami kendala dalam menangani permasalahan penyaliran. Aliran air hujan yang ada di CV Gunung Batujajar secara umum mengalir ke dua tempat, yakni ke pit bukaan besar yang ada di sebelah selatan dengan persentase aliran air 70% dan ke arah utara sebesar 30%. Setelah ditinjau lebih lanjut, 30% aliran air tersebut ternyata mengalir ke arah perumahan penduduk dan menyebabkan air meluap sampai banjir sehingga mengganggu produktivitas penduduk. Beberapa kali masyarakat sempat melakukan unjuk rasa dengan hal yang mereka dapatkan tetapi hal ini masih dalam proses optimalisasi dari pihak CV.Gunung Batujajar.

Unjuk rasa yang dilakukan oleh masyarakat sekitaran CV Gunung Batujajar menyebabkan ketidakharmonisan antara pihak pertambangan dan *stakeholder* yang ada di sekitaran tambang dan hal tersebut tentu memberi dampak yang kurang baik bagi perusahaan. Sebelumnya, sebenarnya sudah ada beberapa *sump* yang sudah dibuat oleh CV Gunung Batujajar. Tetapi hal tersebut belum bisa menanggulangi limpasan air yang terlalu besar ke daerah warga tersebut. Penulis tertarik untuk mengangkat bahasan terkait dengan rekomendasi sistem penyaliran terbaik untuk lokasi penambangan CV Gunung Batujajar, khususnya pada daerah limpasan yang terlalu besar ke daerah warga. Sistem penyaliran yang dimaksud adalah gorong-gorong, atau yang lebih dikenal dengan istilah *culvert*.

METODE

Penelitian ini bersifat deskriptif, yaitu mendeskripsikan data baik dari literatur maupun dari lapangan kemudian dianalisis. Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah metode deskriptif analitis dengan pendekatan empiris dan rasional. Sementara itu, penulis menggunakan teknik pengumpulan data berupa studi literatur, observasi lapangan, diskusi, dan analisis permasalahan. Secara lebih rinci penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penyaliran tambang, analisis curah hujan dan desain *culvert* pada tambang. Dalam melakukan kajian terdapat beberapa factor yang perlu diperhatikan antara lain sitem pengontrolan yang pada analisis kali ini menggunakan *sump* dan *culvert*, curah hujan rata-rata, debit air minimum-maksimum, dan kualitas air. Dalam melakukan perhitungan tentunya penulis membutuhkan data-data terkait dari lapangan juga seperti peta topografi lokal, data curah hujan Kecamatan Batujajar tahun 2012-2021, desain *sump* sebelumnya yang dipunya oleh CV Gunung Batujajar, serta beberapa alat seperti kompas serta GPS untuk melakukan perhitungan model desain langsung di lapangan. Dalam kasus ini GPS berguna untuk mengetahui posisi pasti dari daerah yang ditinjau serta kompas untuk mengukur sudut pasti dari elevasi yang diukur. Dalam proses pembuatan

desain *culvert* penulis menggunakan *software* HY-8. HY-8 adalah *software* yang dapat mengotomatisasi perhitungan hidraulika gorong-gorong menggunakan sejumlah fitur penting yang membuat analisis dan desain gorong-gorong menjadi lebih mudah. HY-8 dibuat dan dikembangkan oleh Federal Highways Administration, U.S. Dept. Of Transportation dan dapat di-*download* di situs resmi <https://www.fhwa.dot.gov> secara gratis.

Penelitian dilakukan di lokasi penambangan CV Gunung Batujajar Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Untuk penyaliran tambang sendiri penulis fokus pada penanggulangan air pada tambang terbuka yang bisa bersifat pencegahan yang dalam hal ini penulis menggunakan desain *culvert* dan pengendalian air yang masuk ke tambang serta daerah pemukiman penduduk. Berkaitan dengan curah hujan, ada dua pilihan seri data yang dapat digunakan untuk menganalisis intensitas hujan rencana, yaitu seri data tahunan (*annual data series*, mengambil data terbesar untuk setiap tahun) dan seri durasi parsial (*partial duration series*, mengambil beberapa data terbesar dari keseluruhan data yang ada). Setelah dilakukan pengambilan seri data, dilakukan penentuan reduksi *mean* dengan menggunakan persamaan:

$$Y_m = - \ln \left(- \ln \left(\frac{n+1-m}{n+1} \right) \right) \tag{1}$$

Keterangan :

Y_m : *reduced mean* pada urutan data parsial ke- m

m : urutan data parsial

n : jumlah keseluruhan data parsial

Setelah itu, dilakukan penentuan reduksi *variate* dengan menggunakan persamaan :

$$Y_T = - \ln \left(- \ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) \tag{2}$$

Keterangan :

Y_T : *reduced variate* pada periode ulang T tahun

T : periode ulang (tahun)

Kemudian, diperoleh besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang tertentu yang dihitung dengan persamaan:

$$x_T = \bar{x} + s_x \frac{Y_T - \bar{Y}_m}{s_Y} \tag{3}$$

Keterangan:

x_T : curah hujan rencana (mm/hari)

\bar{x} : rata-rata dari n data curah hujan harian terbesar (mm/hari)

s_x : standar deviasi dari n data curah hujan harian terbesar (mm/hari)

Y_T : *reduced variate* pada periode ulang T tahun

\bar{Y}_m : rata-rata dari *reduced mean*

s_Y : standar deviasi dari n *reduced mean*

Perhitungan intensitas curah hujan menggunakan persamaan Mononabe, yaitu :

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^m \tag{4}$$

Keterangan :

I_t : intensitas hujan rencana (mm/jam)

R_{24} : curah hujan harian (mm/hari)

t : perkiraan lamanya hujan terjadi (jam)

m : konstanta hujan (di Indonesia umumnya $m = \frac{2}{3}$)

debit limpasan air hujan yang direncanakan akan mengalir melalui sarana penyaliran pada kondisi hujan puncak dengan menggunakan persamaan :

$$Q = CIA \tag{5}$$

Keterangan:

Q : debit limpasan air hujan maksimum saat hujan puncak (m^3/s)

C : koefisien limpasan

I : intensitas hujan rencana (m/s)

A : luas daerah tangkapan hujan (m^2)

Dengan satuan yang disesuaikan, maka persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$Q = \frac{1000}{3600} CIA = 0,278 CIA \tag{6}$$

Keterangan :

Q : debit limpasan air hujan maksimum saat hujan puncak (m^3/s)

C : koefisien limpasan

I : intensitas hujan rencana (mm/jam)

A : luas daerah tangkapan hujan (km^2)

Rumus yang digunakan untuk perhitungan debit *culvert* adalah persamaan *Manning Conservation of Energy* seperti berikut:

$$Q = A \sqrt{\frac{2g(H_w - T_w + S_0 L)}{1 + K_e + f \frac{L}{4R}}} \tag{7}$$

Keterangan:

$H_w - T_w - S_0 L$: Julang efektif

Q : Debit maksimum gorong-gorong

H_w : Julang air masuk

T_w : Julang tailwater

S_0 : Kemiringan gorong-gorong

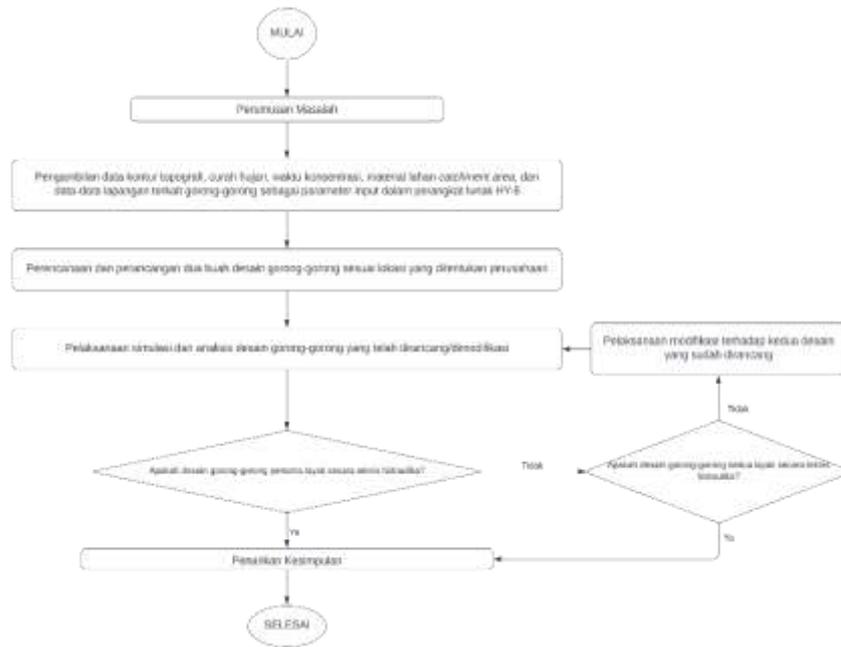
L : Panjang gorong-gorong

K_e : Koefisien kemiringan julang

R : Diameter gorong-gorong

f : Faktor gesekan

Untuk prosedur penelitian penulis sendiri akan mendeskripsikannya pada diagram di bawah ini.



Gambar 1. Diagram alir dari penelitian yang dilakukan di dalam pelaksanaan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa macam analisis, yaitu analisis curah hujan untuk menentukan debit limpasan air hujan yang akan masuk ke dalam *culvert*, dan analisis aliran limpasan air hujan di dalam *culvert* yang sudah didesain untuk mengetahui kelayakannya secara teknis. Analisis curah hujan akan disajikan secara ringkas, mengingat analisis aliran air di dalam *culvert* lebih dititikberatkan pada penelitian ini sesuai dengan judul penelitian.

Curah Hujan Rencana

Data curah hujan bulanan untuk keperluan perhitungan curah hujan rencana diperoleh dari data *online* terbuka milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Provinsi Jawa Barat. Data yang diambil adalah data curah hujan bulanan di Kota Bandung, Jawa Barat, pada periode Januari 2012 hingga Desember 2021. Data ini penulis anggap mampu merepresentasikan kondisi curah hujan sebenarnya di lokasi penambangan CV Gunung Batujajar.

Pengklasifikasian bulan-bulan basah dan kering dilakukan dengan metode Oldeman dimana bulan dengan curah hujan rata-rata lebih kecil daripada 200 mm per bulan dimasukkan ke dalam bulan kering, sedangkan bulan dengan curah hujan rata-rata lebih besar daripada 200 mm per bulan dimasukkan ke dalam bulan basah. Dengan demikian, bulan-bulan kering terjadi pada bulan Juni hingga Oktober (lima bulan) dan bulan-bulan basah terjadi pada bulan November hingga Mei (tujuh bulan, kecuali Januari).

Tabel 1. Data Rata-Rata Curah Hujan Bulanan di Kota Bandung selama 10 Tahun (BMKG, 2022)

Tahun	Januari	Februa-ri	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	Septem-ber	Okto-ber	Novem-ber	Desem-ber
2012	82.9	303.7	155.5	290.8	257.1	60.5	34.2	0	27	125	537	636.9
2013	216.9	249.6	304.8	285.8	170.9	231.5	159.1	74.3	171.7	35.8	64.1	325.6
2014	253.9	81.5	246.6	195.1	176.7	173	164.8	119.8	0.6	60.8	246.8	235.5
2015	167.3	179.7	264.5	231	208.1	50.4	0.3	6.9	43.2	34.5	419.4	307.4
2016	391.5	194.3	376.2	523	317.8	139.3	182.3	128.7	286.2	362.3	442.5	62.1
2017	68.3	196.3	396.5	210.8	222.3	68.4	7.9	45.7	90.8	345.3	442	129.9
2018	190.8	239.3	292	297.5	123.9	33.4	0.3	38.9	40.8	124.8	483.2	322.9
2019	231.4	269.3	223.3	298.9	243	26.5	13.4	0.2	55	84.2	270.9	315.5
2020	207.6	336.6	290.8	271.4	292.3	30.3	63.7	41.6	35.9	327.3	207.3	261.8
2021	148.6	153.9	309	177.2	238.9	92.4	33.2	91.8	73	218.4	454.3	198.5

Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Jumlah Rata-rata	1959.2	2204.2	2859.2	2781.5	2251	905.7	659.2	547.9	824.2	1718.4	3567.5	2796.1
Batas Oldeman	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Keterangan	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Basah	Bulan Basah	Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Kering	Bulan Kering	Bulan Kering	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Basah
	Bulan Basah November - Mei						Bulan Kering Juni - Oktober					

Adapun perhitungan curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan metode distribusi Gumbel. Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan besaran curah hujan dalam satu hari. Jenis seri data yang digunakan untuk keperluan perhitungan curah hujan dan intensitas hujan rencana adalah jenis *annual series*. Seri data tahunan tersebut selama 10 tahun beserta perhitungan curah hujan rencana yang dilakukan dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 2 Annual Series Data Curah Hujan Harian Tertinggi

Tahun	Data Curah Hujan Annual	Curah Hujan (mm/hari)
2012		83.00
2013		68.40
2014		62.00
2015		77.70
2016		112.60
2017		73.50
2018		85.20
2019		83.30
2020		160.00
2021		76.80
Std. Dev		28.57
Rata-Rata		88.25

Dengan menggunakan nilai periode ulang, T , sebesar 20 tahun (sesuai dengan rencana penambangan di CV Gunung Batujajar), diperoleh nilai *reduced variate* menggunakan Persamaan (2) sebesar:

$$Y_T = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)$$

$$Y_T = -\ln\left(-\ln\left(\frac{20-1}{20}\right)\right)$$

$$Y_T = 2.97$$

Jadi, nilai curah hujan rencana yang diperoleh menggunakan Persamaan (3) adalah

$$X_T = \bar{x} + s_x \frac{Y_T - \bar{Y}_m}{s_Y} \quad (3)$$

$$X_T = 88.25 + 28.57 \frac{2.97 - 0.76}{0.92}$$

$$X_T = 157.06 \text{ mm/hari}$$

Intensitas Hujan Rencana

Dari nilai curah hujan di atas, selanjutnya intensitas hujan rencana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Mononobe. Hasil perhitungan intensitas hujan rencana yang diperoleh menggunakan Persamaan (4) dapat dianggap sebagai besaran hujan yang akan terjadi dalam kurun waktu 24 jam.

Persamaan Mononobe digunakan mengingat data curah hujan yang tersedia adalah data curah hujan harian. Di dalam persamaan tersebut, terdapat variabel waktu konsentrasi, t_c , yang diasumsikan bernilai satu jam. Hal ini diperoleh dari hasil pengamatan kualitatif berupa estimasi kasar melalui wawancara dengan pihak Kepala Teknik Tambang (KTT) di CV Gunung Batujajar.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^m$$

$$I = \frac{157.06}{24} \left(\frac{24}{1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = 54.45 \text{ mm/jam}$$

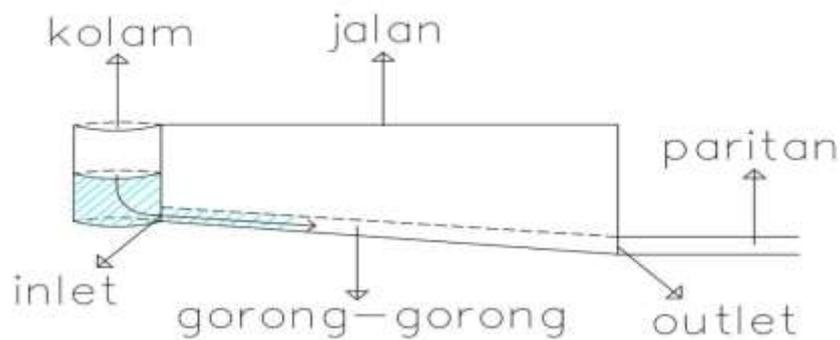
Debit Limpasan Rencana

Selanjutnya, nilai debit limpasan air hujan yang masuk ke dalam gorong-gorong akan dihitung dengan menggunakan rumus rasional. Koefisien limpasan, *C*, adalah sebesar 0.8 untuk kondisi lahan yang jarang tumbuhan dan memiliki kemiringan lebih besar dari 15%. Adapun variabel luasan *catchment area* dari air hujan yang akan mengalir ke dalam *culvert*, *A*, dihitung dengan terlebih dahulu membuat peta *catchment area* (tidak dicantumkan pada artikel ini) dari data kontur topografi area pertambangan dan kemudian nilai luasnya dihitung dengan menggunakan perangkat lunak *Global Mapper*. Nilai *A* yang diperoleh adalah sebesar 0.029 km². Berikut hasil perhitungan menggunakan Persamaan (6):

$$\begin{aligned} Q &= 0,278 \times C \times I \times A \\ &= 0,278 \times 0,8 \times 54,45 \frac{\text{mm}}{\text{jam}} \times 0,029 \text{ km}^2 \\ &= 0,35 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Analisis Desain Gorong-Gorong

Dari hasil debit limpasan rencana yang sudah diperoleh di atas, maka selanjutnya akan dilakukan analisis performa gorong-gorong yang telah didesain dengan menggunakan perangkat lunak HY-8 untuk menentukan kelayakan gorong-gorong tersebut secara teknis. Pada analisis ini, kriteria desain utama yang digunakan adalah julang *headwater* ataupun *tailwater* pada bagian hulu atau hilir dari gorong-gorong yang didesain tidak boleh melebihi ketinggian dari masing-masing saluran yang terletak di hulu ataupun hilir dari gorong-gorong tersebut. Hal ini diatur demikian agar air, baik di hulu/*inlet* (dalam saluran berupa kolam kecil) maupun di hilir/*outlet* gorong-gorong (dalam saluran berupa paritan) tidak meluap keluar dari salurannya masing-masing. Adapun aspek kelajuan air saat keluar dari *outlet* gorong-gorong menuju paritan tidak begitu ditekankan dalam kriteria desain, mengingat paritan yang dibuat perusahaan berukuran sangat panjang sehingga kelajuan air yang relatif besar sekalipun akan dapat menurun secara gradual akibat resistansi kekasaran permukaan paritan. Ilustrasi kasar dari desain rencana sistem penyaliran air menggunakan gorong-gorong sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Desain Sistem Penyaliran Air Menggunakan Gorong-Gorong

Terdapat dua rencana desain *outlet* dari gorong-gorong, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Kedua kemungkinan *outlet* tersebut diasumsikan menerima besaran debit limpasan yang sama, yakni sebesar 0,35 m³/s. Perbedaan kedua *outlet* tersebut adalah 1) lokasi *inlet* kedua desain sama, tetapi jaraknya terhadap *outlet* kedua lebih jauh daripada jaraknya terhadap *outlet* pertama, 2) penampang paritan pada *outlet* pertama lebih banyak ditumbuhi rumput-rumput dan tanaman liar daripada

penampang paritan pada *outlet* kedua, dan 3) perbedaan elevasi *inlet* dan *outlet* pada desain *outlet* yang pertama lebih kecil daripada desain *outlet* yang kedua.

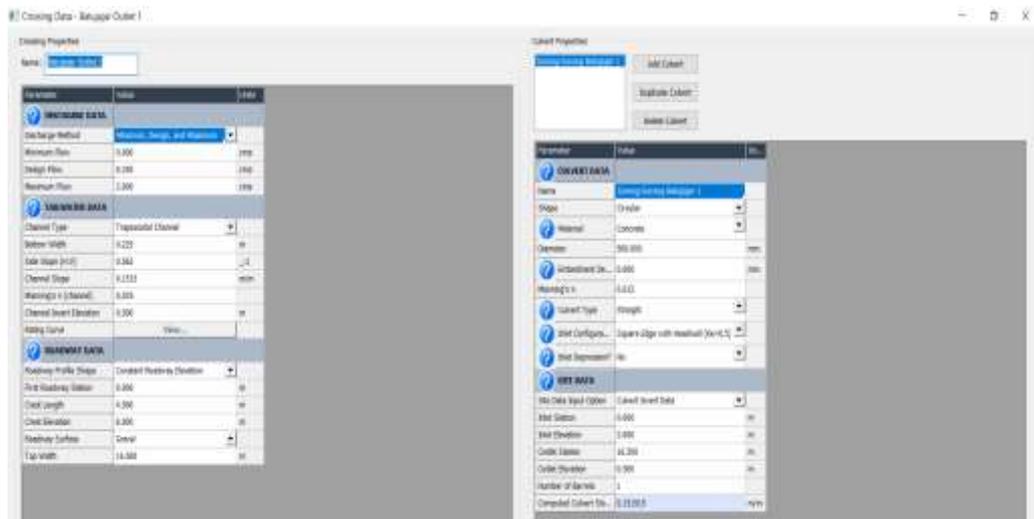


Gambar 3. Desain *Outlet* Gorong-Gorong (catatan: panah untuk *outlet* kedua sebenarnya masih menerus ke arah kiri. Gambar dibuat demikian agar tidak menimbulkan mispersepsi)

Berikut ini disajikan perhitungan desain gorong-gorong untuk kedua rencana *outlet*:

1. *Outlet* pertama

Parameter-parameter input yang digunakan dalam perangkat lunak HY-8 untuk *outlet* pertama dapat dilihat pada Gambar 4. Beberapa poin penting terkait parameter-parameter tersebut akan dijelaskan pada beberapa paragraf berikut ini.

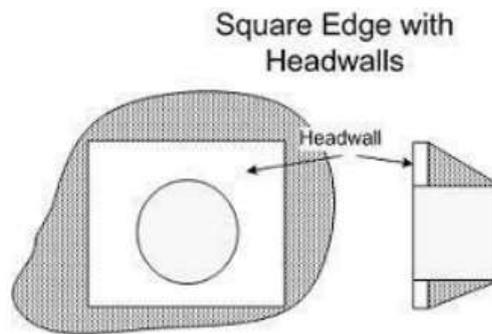


Gambar 4. Parameter-Parameter Input Desain Gorong-Gorong Pertama dalam Aspek (kiri) Debit Limpasan (*Discharge Data*), Saluran Bagian Hilir (*Tailwater Data*), dan Geometri Jalan di Atas Gorong-Gorong (*Roadway Data*), serta (kanan) Geometri, Kondisi Material, dan Konfigurasi *Inlet* Gorong-Gorong (*Site dan Culvert Data*)

Gorong-gorong didesain dengan panjang 16,5 m. Perbedaan elevasi *inlet-invert* dan *outlet-invert* dari gorong-gorong tersebut diestimasi dengan menggunakan pengukuran elevasi GPS di lapangan, yakni sebesar $\pm 2,5$ m (elevasi *inlet-invert* = 3 m, *outlet-invert* = 0,5 m). Selain itu, gorong-gorong juga didesain untuk dibuat menggunakan material beton (*concrete*), berpenampang lingkaran, berdiameter 500 mm, berbentuk lurus, dan memiliki konfigurasi *inlet* dengan tepianya yang bersudut 90° (*square*

edge) dan tidak menyembul ataupun menjorok dari/ke dalam tanah (*with headwall*). Contoh ilustrasi konfigurasi *inlet* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada *outlet* pertama ini, bentuk paritan (*tailwater channel*) didesain berbentuk trapesium dengan panjang alas sebesar 0,225 m, tinggi sebesar 0,2 m, dan gradien (rasio antara panjang mendatar dan panjang vertikal) sisi kanan dan kiri penampang trapesium sama-sama bernilai 0,562. Bentuk dan geometri trapesium yang demikian merupakan bentuk penampang alamiah dari paritan yang sudah dibuat sebelumnya oleh perusahaan sebagai saluran air keluar gorong-gorong. Nilai koefisien Manning, *n*, untuk saluran hilir tersebut diasumsikan bernilai 0,035. Nilai *n* ini adalah nilai untuk penampang yang ditumbuhi sedikit tumbuh-tumbuhan seperti rumput dan tumbuhan liar lainnya (FHWA-NHI, 2012). Kemiringan atau gradien (rasio antara selisih elevasi kedua ujung/*invert* saluran dengan jarak mendatar antara kedua ujung tersebut) saluran bernilai 0,1515.



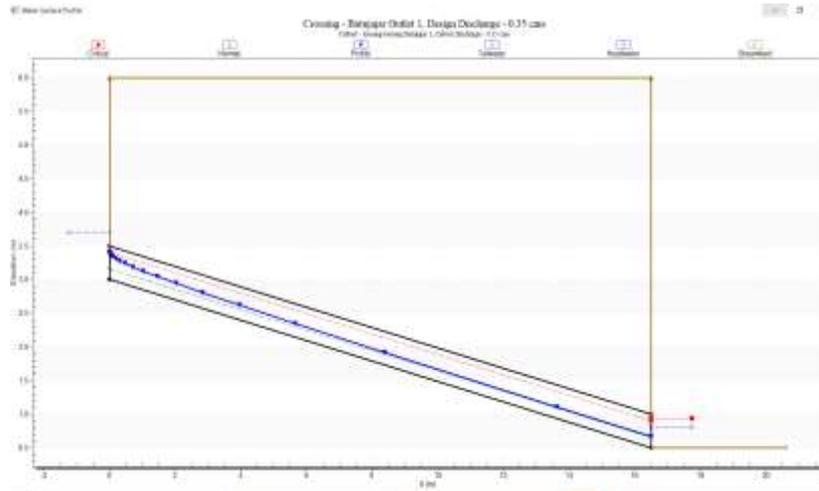
Gambar 5. Ilustrasi Desain Konfigurasi Inlet *Square Edge with Headwall*

Parameter-parameter yang sudah diinput tersebut, diperoleh hasil analisis sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Keluaran dari Hasil Analisis Gorong-Gorong Pertama Menggunakan *Software HY-8*

Total Discharge (m ³ /s)	Culvert Discharge (m ³ /s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	3.00	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.20	3.43	0.43	0.0*	1-S2n	0.12	0.31	0.12	0.23	5.27	2.51
0.35	0.35	3.71	0.71	0.0*	5-S2n	0.16	0.40	0.17	0.31	5.80	2.87
0.60	0.60	4.51	1.51	0.0*	5-S2n	0.21	0.46	0.24	0.41	6.49	3.26
0.80	0.80	5.50	2.50	0.0*	5-S2n	0.25	0.50	0.29	0.47	6.90	3.49
1.00	0.89	6.06	3.06	0.38	5-S2n	0.27	0.50	0.31	0.52	7.08	3.68
1.20	0.90	6.13	3.13	0.48	5-S2n	0.27	0.50	0.31	0.57	7.10	3.84
1.40	0.91	6.17	3.17	0.56	5-S2n	0.27	0.50	0.31	0.62	7.11	3.99
1.60	0.92	6.21	3.21	0.64	5-S2n	0.27	0.50	0.31	0.66	7.13	4.11
1.80	0.92	6.25	3.25	0.70	5-S2n	0.27	0.50	0.31	0.69	7.14	4.23
2.00	0.93	6.29	3.29	0.77	5-S2n	0.27	0.50	0.31	0.73	7.15	4.34

Adapun profil muka air yang terbentuk dalam gorong-gorong pertama dilihat dari sisi *side view* ditampilkan pada Gambar 6.

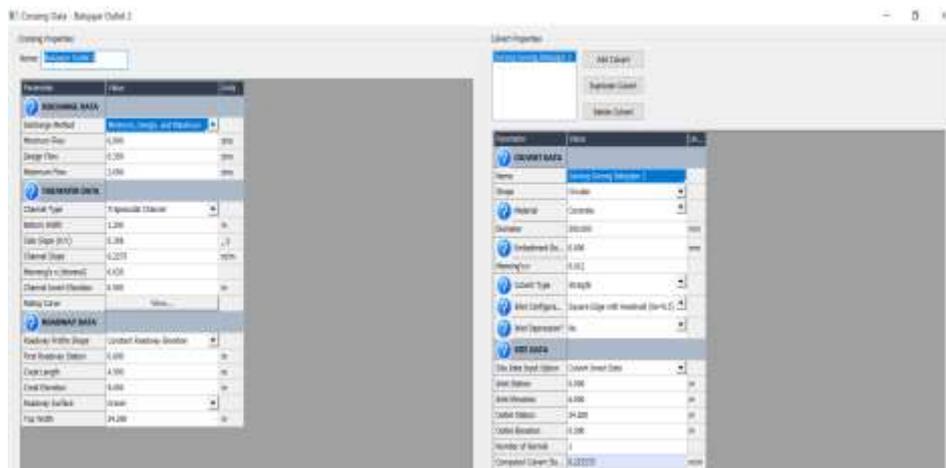


Gambar 6. Side View Gorong-Gorong Pertama dan Profil Muka Air yang Terbentuk

Dilihat dari Tabel 3, bahwa untuk debit limpasan (*total discharge*) sebesar $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, semua debit tersebut mampu dikeluarkan oleh gorong-gorong tanpa harus meluap ke jalanan (dilihat dari nilai *culvert discharge* untuk *total discharge* $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ yang besarnya sama). Hal ini juga dapat dilihat dari kolom *headwater elevation* dimana nilainya yang sebesar 3,71 m masih lebih kecil daripada ketinggian jalan yang nilainya sebesar 6 m (lih. Gambar 6 untuk visualisasi). Artinya, kriteria desain dimana julang elevasi di bagian hulu tidak boleh meluap sudah terpenuhi. Adapun untuk kesesuaian dengan kriteria desain julang elevasi di bagian hilir, dapat dilihat bahwa ketinggian air di hilir gorong-gorong diukur dari dasar saluran (*tailwater depth*) adalah sebesar 0,31 m. Nilai ini masih lebih besar daripada ketinggian saluran di bagian hilir (sebesar 0,2 m sebagaimana dijelaskan sebelumnya) sehingga terdapat kemungkinan bahwa air yang keluar dari *outlet* gorong-gorong pertama ini akan meluap ketika memasuki paritan. Dengan demikian, desain *outlet* yang pertama ini gagal memenuhi kriteria desain yang diinginkan.

2. *Outlet* kedua

Adapun parameter-parameter input yang digunakan dalam perangkat lunak HY-8 untuk *outlet* kedua dapat dilihat pada Gambar 7. Beberapa poin penting terkait parameter-parameter tersebut akan dijelaskan pada beberapa paragraf berikut ini.



Gambar 7. Parameter-Parameter Input Desain Gorong-Gorong Kedua dalam Aspek (kiri) Debit Limpasan (*Discharge Data*), Saluran Bagian Hilir (*Tailwater Data*), dan Geometri Jalan di Atas Gorong-Gorong (*Roadway Data*), serta (kanan) Geometri, Kondisi Material, dan Konfigurasi *Inlet* Gorong-Gorong (*Site dan Culvert Data*)

Pada *outlet* kedua ini, gorong-gorong didesain dengan panjang 24,2 m. Perbedaan elevasi *inlet-invert* dan *outlet-invert* dari gorong-gorong tersebut diestimasi dengan menggunakan pengukuran elevasi GPS di lapangan, yakni sebesar ± 5,5 m (elevasi *inlet-invert* = 6 m, *outlet-invert* = 0,5 m). Selain itu, gorong-gorong juga didesain untuk dibuat menggunakan material beton (*concrete*), berpenampang lingkaran, berdiameter 500 mm, berbentuk lurus, dan memiliki konfigurasi *inlet* dengan tepiannya yang bersudut 90° (*square edge*) dan tidak menyembul ataupun menjorok dari/ke dalam tanah (*with headwall*). Contoh ilustrasi konfigurasi *inlet* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

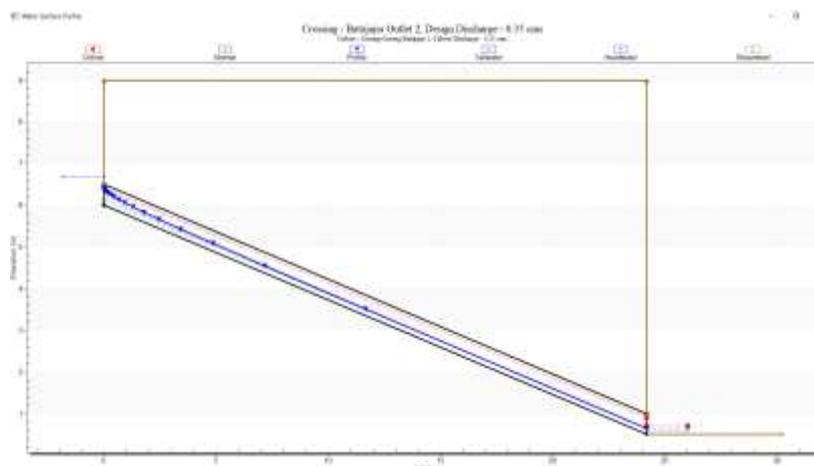
Adapun bentuk paritan didesain dengan bentuk yang sama, yaitu trapesium, dengan panjang alas sebesar 1,2 m, tinggi 1,3 m, dan gradien sisi kanan dan kiri penampang trapesium sama-sama bernilai 0,308. Bentuk dan geometri trapesium yang demikian merupakan bentuk penampang alamiah dari paritan yang sudah dibuat sebelumnya oleh perusahaan sebagai saluran air keluar gorong-gorong. Nilai koefisien Manning, *n*, untuk saluran hilir tersebut diasumsikan bernilai 0,03. Nilai *n* ini adalah nilai untuk penampang yang ditumbuhi sedikit tumbuh-tumbuhan (FHWA-NHI, 2012) dengan jumlah yang lebih sedikit daripada *outlet* pertama. Kemiringan atau gradien saluran bernilai 0,2273.

Dari parameter-parameter yang sudah diinput di atas, diperoleh keluaran analisis menggunakan *software* HY-8 sebagai berikut

Tabel 4 Keluaran dari Hasil Analisis Gorong-Gorong Kedua Menggunakan *Software* HY-8

Total Discharge (m ³ /s)	Culvert Discharge (m ³ /s)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	6.00	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.20	6.41	0.41	0.0*	1-S2n	0.11	0.31	0.11	0.07	6.42	2.23
0.35	0.35	6.69	0.69	0.0*	5-S2n	0.14	0.40	0.15	0.10	7.24	2.74
0.60	0.60	7.50	1.50	0.0*	5-S2n	0.19	0.46	0.20	0.15	8.03	3.32
0.80	0.80	8.46	2.46	0.0*	5-S2n	0.22	0.50	0.24	0.17	8.59	3.66
1.00	0.90	9.06	3.06	0.0*	5-S2n	0.24	0.50	0.26	0.20	8.82	3.95
1.20	0.91	9.12	3.12	0.0*	5-S2n	0.24	0.50	0.26	0.23	8.82	4.20
1.40	0.92	9.17	3.17	0.0*	5-S2n	0.24	0.50	0.26	0.25	8.82	4.41
1.60	0.93	9.21	3.21	0.0*	5-S2n	0.24	0.50	0.26	0.27	8.83	4.61
1.80	0.93	9.25	3.25	0.0*	5-S2n	0.24	0.50	0.26	0.29	8.84	4.78
2.00	0.94	9.29	3.29	0.0*	5-S2n	0.24	0.50	0.27	0.31	8.85	4.94

Profil muka air yang terbentuk dilihat dari sisi *side view* dapat dilihat pada Gambar 8 berikut



Gambar 8. *Side View* Gorong-Gorong Kedua dan Profil Muka Air yang Terbentuk

Untuk *total discharge* sebesar 0,35 m³/s, dari informasi yang tertera pada Tabel 4, dinyatakan bahwa semua debit tersebut mampu dialirkan oleh *culvert* yang ada (*culvert discharge* = 0,35 m³/s). Artinya, kriteria desain untuk julang elevasi di bagian hulu dapat dipenuhi. Namun, berbeda dengan desain *outlet* pertama, kriteria desain untuk julang elevasi di bagian hilir juga dapat dipenuhi untuk *outlet* kedua ini. Hal ini dapat dilihat dari nilai *tailwater depth* yang hanya sebesar 0,1 m, dimana nilai tersebut masih lebih kecil daripada kedalaman paritan yang bernilai sekitar 1,3 m. Artinya, desain *outlet* kedua dapat diterima.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kesimpulan bahwa desain *outlet* kedua lebih layak secara hidraulik untuk mengalirkan debit limpasan permukaan daripada *outlet* pertama. Hal ini karena desain *outlet* kedua memenuhi kriteria desain untuk tidak menimbulkan julang elevasi air yang melebihi ketinggian saluran, baik di hilir maupun di hulu gorong-gorong. Meski begitu, kelayakan secara teknis belum tentu dibarengi dengan kelayakan secara ekonomis. Mengingat panjang gorong-gorong kedua lebih besar daripada gorong-gorong pertama, maka ada kemungkinan gorong-gorong pertama dapat dibuat secara lebih ekonomis daripada gorong-gorong kedua. Penulis menyarankan agar elemen-elemen desain gorong-gorong untuk *outlet* pertama yang mungkin untuk diubah (seperti bentuk penampang paritan) dapat dimodifikasi kembali melalui proses iteratif sehingga kelayakan secara ekonomis dan juga teknis dapat tercapai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Tuhan YME, Pak Fajar sebagai KTT di CV Gunung Batujajar yang telah mengizinkan dilakukannya pengambilan data dan penelitian ini, serta rekan-rekan kerja praktik yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Akan, A. 2006. *Open Channel Hydraulics*. Oxford: Elsevier.
- Chow, V.T. 1988. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Citing Internet Sources URL <https://modi.esdm.go.id/portal/detailPerusahaan/3040?jp=1>
- FHWA. FHWA HY-8 Culvert Analysis Program: Quick Tutorial: FHWA, U.S. Department of Transportation.
- FHWA. FHWA HY-8 Culvert Analysis Program: User's Manual: FHWA, U.S. Department of Transportation.
- Gumbel, E. J. 1954. Statistical Theory of Extreme Value and Some Practical Applications. *National Bureau of Standards (U.S.) Appl. Math. Ser.* 33.
- M. Haikal Fauzan A., Yunus A., Dudi Nasrudin U. 2020. Perencanaan Sistem Penyaliran pada Tambang Terbuka di PT Gunung Padakasih Desa Giri Asih Kecamatan Batujajar Kabupaten Bandung Barat Provinsi Jawa Barat. *Prosiding Teknik Pertambangan*. 6(1):2-7.
- Potter, M., C., Wiggert dan David C. 2008. *Schaum's Outline of Fluid Mechanics*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Rahmah, A. (20 Mei 2020). Citing Internet Sources URL [Iklim Oldeman - Pengertian, Sistem, Manfaat, Konsep, Klasifikasi \(rumus.co.id\)](https://www.rumus.co.id/iklim-oldeman-pengertian-sistem-manfaat-konsep-klasifikasi/)
- Sayoga, G. R. 1993. *Diklat Kuliah Sistem Penyaliran Tambang*. Bandung: Program Studi Teknik Pertambangan ITB.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Subramanya, K. 2017. *ENGINEERING HYDROLOGY Fourth Edition*. New Delhi: McGraw Hill Education (India) Private Limited.
- Sosrodarsono. 1976. Hidrologi Untuk Pengairan. *Pradnya Paramita*. 5 – 62.
- Widodo. 2012. Hidrologi, Hidrogeologi Serta Penyaliran Tambang. *Bandung: LAPI ITB*.
- Schall, Thompson, Zerges, Kilgore, & Morris. 2012. *HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS Third Edition*: FHWA, U.S. Department of Transportation.