

# Manajemen Pelaksanaan Konstruksi Terowongan Pengambilan (*Intake*) pada Proyek Bendungan Jlantah Kabupaten Karanganyar Jawa Tengah

Sekar Putri Budi Kinanti, Ismail Sa'ud, dan Aan Fauzi

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: ismailsaud.its@gmail.com

**Abstrak**—Terowongan pengambilan berfungsi untuk pengambilan air tampungan waduk dilengkapi dengan pipa *penstock* untuk mengalirkan air tampungan waduk agar bisa dimanfaatkan oleh masyarakat. Agar dapat mewujudkan bangunan tersebut menjadi nyata guna mencapai tujuan yang diinginkan maka diperlukan manajemen pelaksanaan konstruksi yang tepat karena kegiatan konstruksi memiliki hubungan yang saling berkaitan satu sama lain. Pengumpulan data yang dilakukan adalah gambar kerja, spesifikasi teknis proyek, Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Karanganyar, dan data penunjang lainnya. Dari data yang diperoleh dilakukan pengolahan data, yaitu mengidentifikasi item pekerjaan, pembuatan metode pelaksanaan, kemudian dilakukan perhitungan volume tiap item pekerjaan, produktivitas alat berat, dan kebutuhan jumlah pekerja. Dari perhitungan tersebut digunakan untuk menentukan durasi dan rencana anggaran biaya. Untuk penyusunan penjadwalan proyek menggunakan *software Microsoft Project*. Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan kebutuhan alat berat yang digunakan, durasi waktu pelaksanaan konstruksi terowongan pengambilan di Bendungan Jlantah selama 583 hari kalender dengan jam kerja efektif selama 7 jam kerja dengan rencana anggaran biaya sebesar Rp12.829.335.000,00.

**Kata Kunci**—Alat Berat, Kurva S, Manajemen Konstruksi, Metode Pelaksanaan, Rencana Anggaran Biaya.

## I. PENDAHULUAN

MANAJEMEN konstruksi adalah usaha yang dilakukan melalui proses manajemen, yaitu merencanakan, pelaksanaan dan mengendalikan kegiatan proyek dari awal sampai akhir dengan mengalokasikan sumber daya secara efektif dan efisien sesuai tujuan yang direncanakan untuk mencapai suatu hasil yang memuaskan [1].

Terowongan pengambilan adalah salah satu bagian dari bendungan yang berfungsi untuk mengambil air dari waduk dan mengatur debit air yang diambil. Terowongan ini dilengkapi dengan pipa *penstock* untuk mengalirkan air ke warga sekitar sebagai irigasi, air baku, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), dan kebutuhan lainnya. Panjang terowongan adalah 175,101 m dengan pipa *penstock* panjang 180 meter. Metode pelaksanaan konstruksi berperan penting dalam mewujudkan bangunan tersebut dan harus sesuai dengan perencanaan untuk memastikan bangunan berfungsi sesuai harapan.

Setiap proyek memiliki karakteristik yang membedakannya dari proyek lain. Karakteristik proyek mempengaruhi pemilihan metode pelaksanaan di lapangan. Untuk beberapa jenis pekerjaan diperlukan penggunaan alat berat maka diperlukan pemilihan alat berat karena tidak semua alat berat digunakan.

Proyek harus dilaksanakan dengan biaya yang tidak mele-

bihi anggaran dan sesuai dengan jadwal pelaksanaan yang sudah direncanakan serta mutu dalam proyek harus sesuai dengan spesifikasi teknis. Parameter tersebut penting dalam pelaksanaan proyek karena sering timbul hal-hal yang tidak sesuai pada pelaksanaan proyek tersebut.

Pembahasan pada penelitian ini mengenai manajemen pelaksanaan konstruksi terowongan pengambilan (*intake*) pada proyek Bendungan Jlantah. Lingkup pekerjaan yang akan difokuskan pada metode pelaksanaan pekerjaan terowongan pengambilan dan pemasangan pipa *penstock*. Perhitungan biaya pelaksanaan konstruksi menggunakan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Dari hasil analisis dapat diketahui metode pelaksanaan yang efektif dan efisien, pemilihan penggunaan alat berat yang tepat, waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan konstruksi, serta biaya dalam pembangunan terowongan pengambilan (*intake*) pada proyek Bendungan Jlantah.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Alur Penelitian

Metodologi yang digunakan sebagai langkah-langkah dalam penyusunan penelitian ini secara umum adalah perumusan masalah, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, dan kesimpulan dan saran.

### B. Landasan Teori

#### 1) Terowongan Pengambilan (*Intake*)

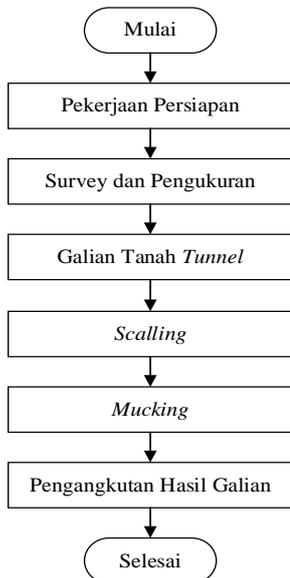
Terowongan adalah suatu lubang yang dibuat di dalam bumi untuk berbagai kegunaan salah satunya untuk saluran air. Terowongan untuk saluran air biasanya dilapisi beton, perlu tidaknya pelapisan tergantung dari kondisi batuan sepanjang terowongan tersebut. Saluran pengambilan (*intake*) adalah saluran yang berfungsi untuk mengeluarkan air dari waduk agar dapat dipakai untuk memenuhi keperluan yang telah direncanakan [2].

#### 2) Alat Berat

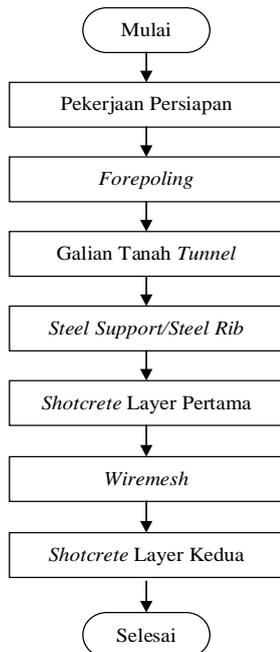
Alat berat digunakan untuk membantu manusia dalam melakukan pekerjaan konstruksi, terutama proyek konstruksi skala besar. Tujuan penggunaan alat-alat berat tersebut untuk memudahkan menyelesaikan pekerjaan dan mencapai hasil yang diinginkan dalam waktu relatif singkat sehingga alat berat merupakan faktor penting dalam proyek konstruksi [3].

#### 3) Manajemen Konstruksi

Manajemen konstruksi meliputi semua tahap perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan koordinasi dari sebuah proyek, mulai dari awal hingga selesainya proyek untuk memastikan bahwa proyek tersebut diselesaikan tepat waktu,



Gambar 3. Flowchart pekerjaan galian terowongan.



Gambar 4. Flowchart pekerjaan penyangga dan proteksi dinding galian.

biaya yang sesuai dan mutu yang tepat [4].

4) Rencana Anggaran Biaya (RAB)

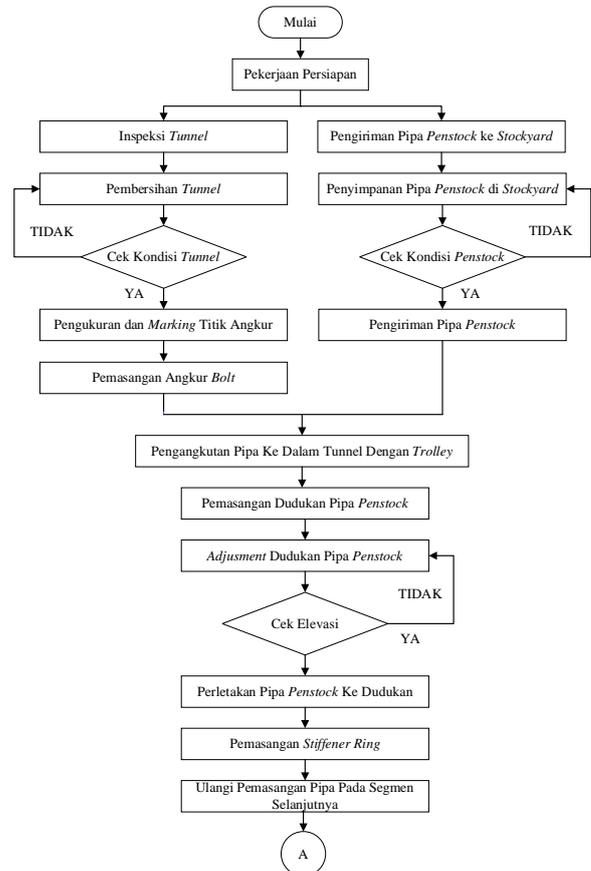
Perhitungan rencana anggaran biaya berdasarkan volume pekerjaan, harga bahan dan pekerjaan yang terjadi pada suatu konstruksi dengan menggunakan gambar dan spesifikasi teknis dari proyek tersebut [5].

5) Penjadwalan Proyek

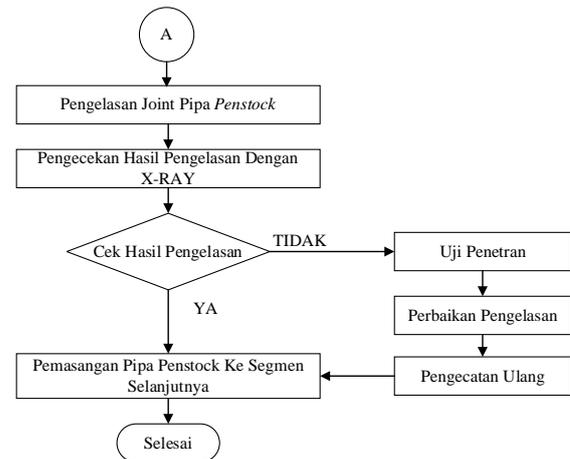
Penjadwalan proyek konstruksi adalah alat yang digunakan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan dalam kegiatan menyelesaikan proyek. Selain itu, penjadwalan juga digunakan untuk menentukan waktu mulai dan waktu selesai kegiatan tersebut [6].

6) Kurva S

Pembuatan kurva S dilakukan dengan plotting jumlah presentasi kumulatif bobot kegiatan di antara durasi proyek terhadap sumbu vertikal, kemudian hasilnya dihubungkan dengan garis. Bentuk kurva S terjadi karena volume kegiatan pada awal proyek masih sedikit, kemudian meningkat pada



Gambar 1. Flowchart pemasangan pipa penstock.



Gambar 2. Flowchart pemasangan pipa penstock (lanjutan).

saat di pertengahan, dan kembali mengecil pada akhir proyek [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Pelaksanaan Pekerjaan

Metode pelaksanaan merupakan serangkaian urutan pelaksanaan pekerjaan atau tahapan yang dilakukan untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi secara sistematis. Penjelasan lebih lanjut mengenai metode pelaksanaan akan disebutkan sebagai berikut:

1) Pekerjaan Persiapan

Melibatkan serangkaian tindakan yang dilakukan sebelum dimulainya konstruksi fisik dari bangunan. Pekerjaan persiapan terdiri dari pembuatan fasilitas, yaitu pembuatan pos jaga satpam, pengadaan kantor serta barak kerja, pembuatan

Tabel 1.  
Volume Pekerjaan Terowongan Pengambilan

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume
1	Pekerjaan Persiapan		
1.a	Pembuatan Fasilitas	Ls	1,00
1.b	Mobilisasi dan Demobilisasi	Ls	1,00
1.c	Penentuan Koordinat As Bangunan	Ls	1,00
1.d	Pemasangan Aksesoris Tunnel	Ls	1,00
2	Pekerjaan Tanah		
2.a	Clearing dan Grubbing	m <sup>2</sup>	1.166,00
2.b	Galian Terowongan dengan Mekanis	m <sup>3</sup>	2.145,13
2.c	Pengangkutan hasil galian ke disposal/stockpile	m <sup>3</sup>	2.145,13
2.d	Dewatering selama pekerjaan terowongan	Ls	1,00
3	Pekerjaan Portal Terowongan		
3.a	Pemasangan Steel Support	unit	2,00
3.b	Pengadaan dan Pemasangan Portal	unit	2,00
4	Pekerjaan Penyangga dan Proteksi Dinding Galian		
4.a	Shotcrete t = 10 cm + wiremesh 150 mm × 150 mm × 6 mm	m <sup>2</sup>	2.913,71
4.b	Steel Support/Steel Rib	kg	51.654,33
4.c	Forepoling, dia 25 mm	kg	8.900,43
5	Pekerjaan Struktur		
5.a	Lantai Kerja (Beton K-225)	m <sup>3</sup>	59,30
5.b	Besi Ulir	kg	34.747,71
5.c	Bekisting non expose	m <sup>2</sup>	109,20
5.d	Dowel bar dia. 25 mm, L = 0.70 m	kg	868,47
5.e	PVC Waterstop, lebar 32 cm	m	128,80
5.f	Pengecoran Lining Tunnel (Beton K-225)	m <sup>3</sup>	1.250,11
6	Pekerjaan Pemasangan Pipa Penstock		
6.a	Anchor, dia 25 mm	kg	360,00
6.b	Besi Kanal U (dudukan)	kg	2.240,00
6.c	Pipa penstock diameter 2000 mm, 6 meter	kg	112.030,20
6.d	Stiffener Ring	kg	9.600,00
6.e	Base Plate SS 400	kg	288,62
6.f	Roundbar D16 BJTP 280	kg	1.003,61
6.g	Sika Anchor	pcs	120,00
6.h	Elektroda Las	kg	30,00
6.i	Cat anti karat	liter	150,00
7	Pekerjaan Drilling dan Grouting		
7.1	Grouting Pengambilan		
7.1.a	Drilling Konsolidasi grouting dia. 45–55 mm kedalaman 0–10 m	m	901,00
7.1.b	Drilling Untuk Sub Curtain Grouting & Curtain Grouting dia. 45–55 mm		
7.1.b.a	Kedalaman 0 s/d 10 m.	m	240,00
7.1.b.b	Kedalaman 10 s/d 20 m.	m	170,00
7.1.c	Water pressure test untuk pilot hole & cheek hole (7 tekanan)	nos	8,00
7.1.d	Water pressure test untuk Curtain Grouting (1 tekanan)	nos	74,00
7.1.e	Semen grouting	kg	26.314,61
7.1.f	Injeksi grouting	liter	149.733,49
7.2	Backfill grouting		
7.2.a	Pasir grouting	kg	319.784,05
7.2.b	Semen grouting	kg	162.539,13
7.2.c	Injeksi grouting	liter	333.250,12
7.3	Contact grouting		
7.3.a	Semen grouting	kg	4.224,01
7.3.b	Injeksi grouting	liter	9.254,60

yankesja, dan pembuatan gudang.

2) Pekerjaan Mobilisasi dan Demobilisasi

Mobilisasi adalah kegiatan mendatangkan alat-alat berat yang akan digunakan ke lokasi. Demobilisasi adalah pengembalian alat-alat berat setelah selesai digunakan.

3) Pekerjaan Penentuan Koordinat As Bangunan

Bertujuan untuk pengukuran di lapangan untuk perhitungan data (X, Y, Z) sebagai penentuan lokasi titik awal pembangunan, batas dari suatu bangunan atau area kerja dengan menggunakan benchmark (BM) sebagai titik ikat pada sistem koordinat.

4) Pekerjaan Tanah

Pekerjaan yang termasuk dalam pekerjaan tanah, yaitu: pekerjaan dewatering bertujuan untuk menciptakan kondisi yang lebih kering di area galian dan menjaga kestabilan lereng galian dengan mengeluarkan air, pekerjaan clearing and grubbing, pekerjaan clearing adalah pembersihan tanah

dari semak, akar, dan pohon kecil menggunakan bulldozer. pembongkaran (grubbing) adalah pembersihan tanah dari pohon besar, akar pohon dengan menggunakan excavator dan manpower, dan pekerjaan galian tanah terowongan di mana Galian terowongan dilakukan menggunakan alat berat mini excavator dan dilakukan dengan dua arah, yaitu dari arah outlet dan inlet. Flowchart pekerjaan disajikan di Gambar 1.

5) Pekerjaan Pemasangan Portal

Pekerjaan pemasangan portal terletak di bagian inlet dan outlet dari terowongan. Berikut merupakan pekerjaan yang termasuk dalam pekerjaan pemasangan portal, yaitu pekerjaan pemasangan steel support yang merupakan instalasi steel rib di area inlet dan outlet untuk memberikan dukungan dan kekuatan pada struktur terowongan, pengecoran kaki penyangga steel support yang memiliki fungsi untuk mengikat kaki steel support agar tidak bergerak karena ketika steel support dipasang kaki penyangga belum sepenuhnya menempel serta pemasangan sandbag yang memiliki tujuan

Tabel 3.  
Rekapitulasi Penggunaan Peralatan

Uraian	Jumlah	Satuan
Clearing and Grubbing		
Bulldozer Komatsu 21 ton	1	Unit
Excavator PC 200-10M0	1	Unit
Dump Truck 10 Ton	3	Unit
Pekerjaan Galian Terowongan dengan Mekanis		
Mini Excavator Vi045-6B	1	Unit
Wheel Loader WA320-6	1	Unit
Pekerjaan Pengangkutan Hasil Galian		
Wheel Loader WA320-6	2	Unit
Dump Truck 10 Ton	4	Unit
Shotcrete + Wiremesh		
Shotcrete Machine 5-15 m <sup>3</sup> /jam	1	Unit
Steel Support		
Mini Excavator Vi045-6B	1	Unit
Mesin las	1	Unit
Drilling Forepoling		
Air leg rock drill	1	Unit
Lantai Kerja (Beton K-225)		
Wheel loader 170 HP	1	Unit
Batching Plant Beton kp 25-75 m <sup>3</sup> /jam	1	Unit
Truck Mixer Beton	1	Unit
Pompa beton diesel	1	Unit
Pembesian		
Cutter besi beton	1	Unit
Bender besi beton	1	Unit
Dump Truck	1	Unit
Pengecoran Lining Tunnel (Beton K-255)		
Wheel loader 170 HP, feeder untuk BP	1	Unit
Batching Plant Beton kap 25-75 m <sup>3</sup> /jam	1	Unit
Truck Mixer Beton	2	Unit
Pompa Beton	1	Unit
Concrete Vibrator $\phi$ 45 mm; 10 HP	1	Unit
Pemasangan Saddle Support Pipa Penstock		
Mesin bor (hammer drill)	1	Unit
Mesin las	1	Unit
Pemasangan Pipa Penstock dan Aksesorinya		
Trolley	1	Unit
Which elektrik	1	Unit
Yap crane 5 ton	1	Unit
Lever block 1 ton	4	Unit
Pengelasan Pipa Beserta Pengujian dan Aksesorisnya		
Mesin las	1	Unit
Alat uji X-Ray	1	Unit
Drilling Grouting Pengambilan		
Drill rig waterW, Tractor, 60 HP	1	Unit
Batang bor + mata bor dia. 1,25"	1	Unit
Water Pressure Test		
WPT Pump	1	Unit
Pompa air	1	Unit
Injeksi Grouting		
Grout pump	1	Unit
Pompa air	1	Unit
Grout mixer	1	Unit

untuk melakukan pengamanan dari dampak getaran yang diakibatkan oleh proses galian pada sekitar portal.

6) *Pekerjaan Penyangga dan Proteksi Dinding Galian*

Metode pelaksanaan pekerjaan penyangga dan proteksi dinding meliputi: (1) pekerjaan *forepoling* merupakan perkuatan tanah pada terowongan yang dipasang sebelum dilakukan proses galian dengan memasukkan batang baja panjang 2,5 meter, (2) pekerjaan *steel support/steel rib* merupakan sistem penyangga yang terbuat dari baja berfungsi untuk menyangga dan menopang batuan pada terowongan dari sisi atas dan dinding terowongan. *steel rib* menggunakan *h-beam* ukuran 150x150x7x10 dengan satu desain *steel rib* (1 tipe), (3) pekerjaan *wiremesh* merupakan anyaman dari bahan yang dirakit dari kawat baja berfungsi untuk tulangan *shotcrete*. Untuk area pemasangan *wiremesh* dipasang di antara *steel rib* setelah pekerjaan *shotcrete* layer pertama, dan (4) pekerjaan

Tabel 2.  
Rekapitulasi Durasi Pekerjaan

No	Item Pekerjaan	Durasi
1	Pekerjaan Persiapan	
	Pembuatan Fasilitas	50
	Mobilisasi dan Demobilisasi	14
	Pekerjaan Penentuan Koordinat As Bangunan	526
	Pemasangan Aksesoris Tunnel	523
2	Pekerjaan Tanah	
	Pekerjaan Clearing and Grubbing	3
	Pekerjaan Dewatering	194
	Pembuangan Hasil Galian Terowongan	3
3	Pekerjaan Galian dan Proteksi Dinding Galian	194
4	Pekerjaan Lantai Kerja	
	Pekerjaan Lantai Kerja Beton K-225	2
5	Pekerjaan Grouting Pengambilan	
	Pengeboran Grouting Pengambilan	111
	WPT Untuk Curtain Grouting	2
	Injeksi Grouting Pengambilan	57
	WPT Untuk CH dan PH	2
6	Pekerjaan Pembersihan	
	Pembersihan Dengan Kompresor	209
7	Pekerjaan Pemasangan Pipa Penstock dan Aksesorinya	105
8	Pekerjaan Struktur	103

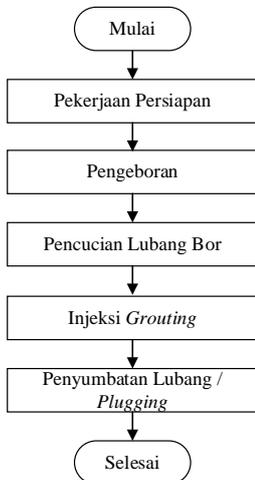
*shotcrete* yang memiliki tujuan dari pekerjaan *shotcrete* adalah untuk memperkuat struktur dan mencegah keruntuhan tanah galian terowongan dengan mengubah struktur menjadi lebih kaku, dilakukan dengan menyemprotkan bahan ke bidang permukaan dengan alat yang memiliki tekanan dengan menggunakan mesin *shotcrete*. *Flowchart* kegiatan disajikan pada Gambar 2.

7) *Pekerjaan Pemasangan Pipa Penstock*

Berikut merupakan metode pelaksanaan pemasangan pipa *penstock* pada terowongan pengambilan sedangkan Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan *flowchart* kegiatan dari pemasangan pipa *penstock* Antara lain (1) pekerjaan pembersihan *tunnel* bertujuan untuk membersihkan kotoran di lantai *tunnel* dengan penyemprotan air bertekanan tinggi menggunakan alat *compressor*. Pekerjaan ini dilakukan untuk kelancaran proses penarikan *trolley* pada pekerjaan instalasi pemasangan pipa *penstock*, (2) pendaratan dan penyimpanan pipa di mana pipa *penstock* didatangkan dari pabrik dilakukan penyimpanan pada *stockyard*. Untuk penurunan pipa ke *stockyard* menggunakan *yap crane* dengan kapasitas 5 ton. Pada peletakkan pipa *penstock* di *stockyard* harus menghindari kontak langsung dengan tanah sehingga pipa *penstock* memerlukan bantalan kayu atau balok penganjal saat penyimpanannya di *stockyard*, (3) pekerjaan *marking* dan pemasangan *anchor bolt* yang dilakukan sebelum dudukan pipa *penstock* dipasang untuk menandai titik-titik perletakan dudukan pipa *penstock*. Untuk memasang *anchor* pada titik-titik *marking*, dilakukan pengeboran terlebih dahulu pada lokasi yang telah ditentukan, (4) pengiriman pipa *penstock* ke portal *tunnel* bertujuan untuk proses pengangkutan pipa *penstock* dari *stockyard* menuju *portal tunnel* menggunakan *yap crane* dengan kapasitas 5 ton. *Yap crane* diposisikan tegak lurus dengan portal *tunnel*, sedangkan posisi *trolley* segaris dengan tunnel pengambilan, (5) pengangkutan pipa *penstock* ke dalam *tunnel* di mana setelah seluruh *anchor bolt* telah terpasang maka dilakukan pengangkutan menggunakan alat yang disebut *trolley*. *Trolley* ditarik dengan *winch elektrik*. Untuk mengangkut pipa *penstock* menggunakan *trolley*, pipa *penstock* diikat menggunakan sabuk (*belt*) dan *lever block*. Sabuk dan *lever block* berfungsi untuk menggan-

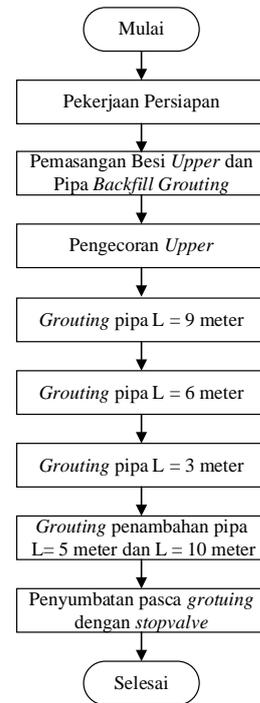


Gambar 7. Flowchart pekerjaan struktur.

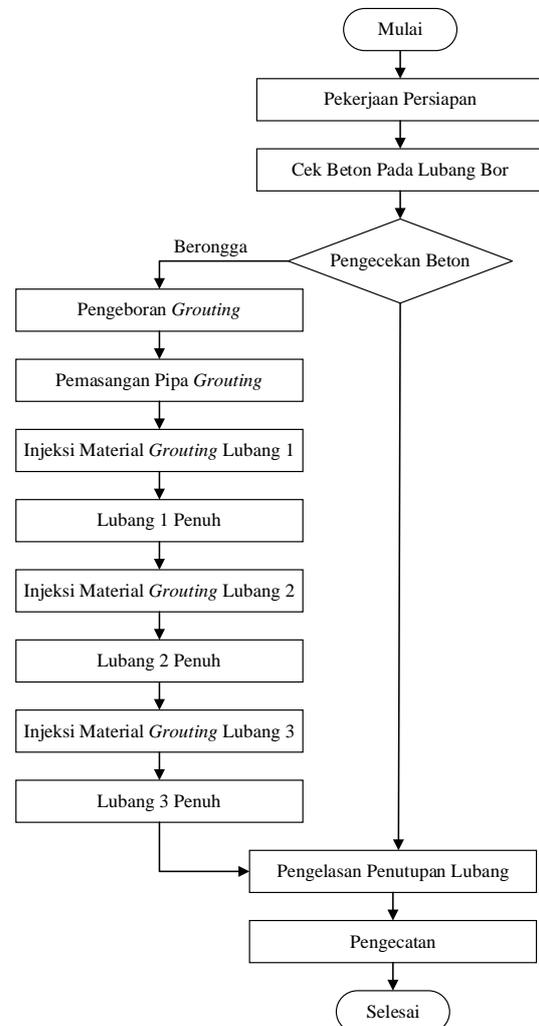


Gambar 8. Flowchart pekerjaan grouting pengambilan.

tungkan pipa *penstock* pada *trolley* sehingga pipa dapat diangkat dengan mudah, (6) pekerjaan pemasangan dudukan pipa di mana dudukan pipa *penstock* terbuat dari besi kanal U yang akan dibaut pada *anchor bolt* yang telah dipasang sebelumnya. Apabila pipa *penstock* sudah berada di posisi yang tepat di atas dudukan, langkah selanjutnya adalah meletakkan pipa *penstock* dengan perlahan dan hati-hati. Diperlukan penyesuaian ketinggian dan kemiringan pipa *penstock* dengan desain yang telah direncanakan. Untuk mengatur ketinggian pipa *penstock*, dapat dilakukan dengan menggunakan mur dan baut yang terdapat pada *anchor bolt*. Selain itu, untuk melakukan penyesuaian arah horizontal dapat dilakukan selama pipa *penstock* masih tergantung pada *trolley*, (7) pekerjaan pengelasan pipa *penstock* digunakan metode *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* atau disebut sebagai las busur listrik dengan menggunakan elektroda jenis E-7016. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan posisi tegak atau vertikal, (8) pekerjaan pemasangan aksesoris pipa



Gambar 5. Flowchart pekerjaan backfill grouting.



Gambar 6. Flowchart pekerjaan contact grouting.

aksesoris berupa *stiffener ring* yang berfungsi sebagai komponen eksternal sebagai penguat pipa, (9) pekerjaan pengecekan hasil pengelasan pipa *penstock* menggunakan pengujian non-destruktif menggunakan pengujian X-Ray.

Tabel 4.  
Rencana Anggaran Biaya

No.	Item Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga Total
1	Pekerjaan Persiapan				Rp 1.519.349.268,00
1.1	Pembuatan Fasilitas	Ls	1,00	Rp 274.221.268,00	Rp 274.221.268,00
1.2	Mobilisasi dan Demobilisasi	Ls	1,00	Rp 189.635.000,00	Rp 189.635.000,00
1.3	Pekerjaan Penentuan Koordinat As Bangunan	Ls	1,00	Rp 184.494.500,00	Rp 184.494.500,00
1.4	Pemasangan Aksesoris Tunnel	Ls	1,00	Rp 870.998.500,00	Rp 870.998.500,00
2	Pekerjaan Tanah				Rp 232.944.812,32
2.1	Pekerjaan Clearing and Grubbing	m <sup>2</sup>	1.166,00	Rp 29.563,68	Rp 34.471.253,65
2.2	Pekerjaan Dewatering	Ls	1,00	Rp 159.293.400,00	Rp 159.293.400,00
2.3	Pembuangan Hasil Galian Terowongan	m <sup>3</sup>	2.145,13	Rp 18.264,71	Rp 39.180.158,67
3	Pekerjaan Galian dan Proteksi Dinding Galian	Ls	1,00	Rp2.682.106.332,00	Rp 2.682.106.332,00
4	Pekerjaan Lantai Kerja				Rp 81.383.601,20
4.1	Pekerjaan Lantai Kerja Beton K-225	m <sup>3</sup>	59,30	Rp 1.372.407,06	Rp 81.383.601,20
5	Pekerjaan Grouting Pengambilan				Rp 725.824.397,26
5.1	Pengeboran Grouting Pengambilan	m	1.311,00	Rp 241.214,81	Rp 316.232.617,01
5.2	WPT Untuk Curtain Grouting	nos	74,00	Rp 26.413,31	Rp 1.954.584,90
5.3	Injeksi Grouting Pengambilan	liter	149.733,49	Rp 2.712,54	Rp 406.158.050,01
5.4	WPT Untuk CH dan PH	nos	8,00	Rp 184.893,17	Rp 1.479.145,33
6	Pekerjaan Pembersihan				Rp 44.584.925,00
6.1	Pembersihan Dengan Kompresor	Ls	1,00	Rp 44.584.925,00	Rp 44.584.925,00
7	Pekerjaan Pemasangan Pipa Penstock dan Aksesorinya				Rp 2.738.691.954,42
8	Pekerjaan Struktur				Rp 4.567.708.387,92
9	Biaya K3				Rp 236.740.761,15
Total Pekerjaan Konstruksi					Rp12.592.593.678,11
Total					Rp12.829.334.439,26
Dibulatkan					Rp12.829.335.000,00

Apabila tidak lolos pengetesan, maka dilakukan *penetrant test*, dan (10) pekerjaan *finishing* yang dilakukan setelah hasil pengetesan pengelasan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan tahap selanjutnya adalah melakukan *finishing* dengan pengecatan pada bagian dalam maupun luar pipa dengan cat anti karat. Tujuan utama dari pekerjaan *finishing* adalah melindungi permukaan pipa dari korosi.

#### 8) Pekerjaan Struktur

Berikut merupakan metode pelaksanaan pekerjaan struktur dan Gambar 5 adalah *flowchart* kegiatan pekerjaan struktur: (1) Pekerjaan pembesian dilakukan setelah pekerjaan pemasangan pipa *penstock* dan aksesorinya selesai. Metode penulangan dilakukan menjadi dua tahap, yaitu tahap bawah (*lower*) dan tahap atas (*upper*). Pembesian dilakukan dengan dua tipe *bar shape* agar mendapatkan pemasangan *zig-zag* sehingga bagian besi yang tumpang tindih atau *overlap* tidak terkumpul pada 1 garis lurus. Pelaksanaan penulangan tahap bawah (*lower*) dapat dikerjakan secara paralel atau sejalan satu sama lain dengan proses pengecoran bagian *lower tunnel*. Untuk melakukan penulangan tahap atas (*upper*) baru dapat dilaksanakan setelah pengecoran *lower* dan *backfill grouting* segmen sebelumnya selesai terlebih dahulu, (2) pekerjaan bekisting, *waterstop*, dan *dowell bar* pada bagian akhir segmen pengecoran bekisting digunakan *chicken net* karena permukaan stop cor harus dibuat kasar. Setelah tahapan pemasangan bekisting selesai dilakukan selanjutnya adalah melakukan pemasangan *waterstop* dan *dowell bar* yang memiliki yang memiliki fungsi sebagai sambungan untuk menghubungkan segmen-segmen dalam proses pengecoran beton, (3) pekerjaan pengecoran *tunnel* merupakan area yang akan di cor harus dibersihkan dengan alat *compressor*. Pengecoran beton menggunakan *concrete pump* dan dengan bantuan *vibrator*. Permukaan stop cor harus dibuat kasar. Pengecoran *lower* terlebih dahulu dilakukan mulai dari *inlet* hingga *outlet*, setelah selesai baru melaksanakan pengecoran *upper*.

#### 9) Pekerjaan Grouting

*Grouting* pada terowongan pengambilan terbagi menjadi

tiga, yaitu: (1) *Grouting* Pengambilan dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki kondisi fisik lapisan permukaan tanah yang memiliki kemungkinan mengalami kemungkinan mengalami retakan atau kerusakan. Gambar 6 adalah *flowchart* kegiatan pekerjaan *grouting* pengambilan, (2) *backfill grouting* merupakan metode yang digunakan untuk mengisi celah atau rongga antara *lining* beton dengan permukaan galian terowongan. Bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan kekuatan struktur terowongan, serta mencegah terjadinya pergerakan tanah yang tidak diinginkan. *Flowchart* kegiatan pekerjaan *backfill grouting* disajikan pada Gambar 7, (3) *contact grouting* bertujuan untuk mengisi celah atau rongga antara *lining* beton dan pipa *penstock*. Dengan cara menyuntikkan semen *grouting* melalui lubang-lubang yang telah disediakan pada pipa *penstock* saat proses fabrikasi. Gambar 8 adalah *flowchart* kegiatan pekerjaan *contact grouting*.

#### B. Volume Pekerjaan

Perhitungan volume pekerjaan dilakukan dengan memperhitungkan jumlah banyaknya volume pekerjaan dalam satu satuan. Perhitungan besar volume pekerjaan sesuai dengan *shop drawing* dengan menggunakan bantuan *software autocad*. Volume pekerjaan terowongan pengambilan disajikan pada Tabel 1.

#### C. Produktivitas Pekerjaan

Perhitungan produktivitas pekerjaan dihitung berdasarkan alat berat yang digunakan berdasarkan rumus produktivitas dari Peraturan Menteri PUPR Nomor 1 Tahun 2022.

#### D. Rekapitulasi Penggunaan Peralatan

Rekapitulasi penggunaan peralatan tiap item pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 2.

#### E. Durasi Pekerjaan

Perhitungan durasi pekerjaan dalam proyek pembangunan konstruksi terowongan pengambilan dibuat berdasarkan hasil perhitungan produktivitas, kebutuhan alat berat, dan analisis

