

Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Antara Metode *Up Stage* dengan Metode *Down Stage* pada Pekerjaan *Grouting* di Proyek Bendungan Lausimeme, Deli Serdang

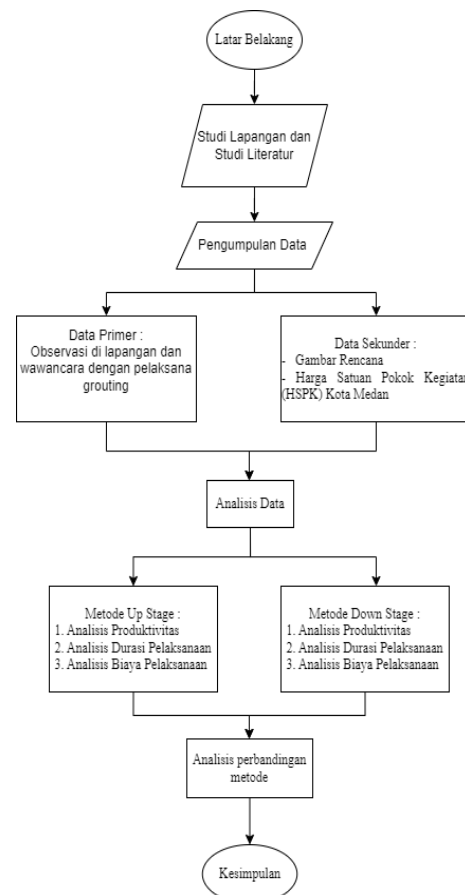
Hilmy Fadhilah dan Mohammad Arif Rohman
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: arif@ce.its.ac.id

Abstrak—*Grouting* merupakan suatu proses pemasukan suatu cairan dengan tekanan ke dalam rongga atau pori atau rekahan pada batuan, yang memadat dan keras secara fisika maupun kimiawi. Pada Proyek Pembangunan Bendungan Lausimeme, pekerjaan *grouting* pada posisi *Riverbed* perlu diselesaikan terlebih dahulu sebelum proses pekerjaan timbunan inti dilaksanakan. Oleh karena itu, pemilihan metode tersebut diharapkan mampu memenuhi aspek ekonomis, efektif, dan efisien pada proyek. Terdapat dua macam metode pelaksanaan pekerjaan *grouting*, yaitu Metode *Up Stage* dan Metode *Down Stage*. Namun, Metode *Up Stage* memiliki kemungkinan penggunaan material yang lebih banyak dibandingkan dengan Metode *Down Stage* karena pada Metode *Down Stage* sebagian rekahan di atasnya sudah digrout. Dalam penelitian ini akan dilakukan perbandingan waktu dan biaya antara kedua metode tersebut. Analisis waktu ditentukan berdasarkan volume pekerjaan dan produktivitas total, dimana produktivitas total didapatkan dari penjumlahan antara produktivitas tenaga kerja yang didapatkan dari pengamatan di lapangan dan perhitungan produktivitas alat yang digunakan. Analisis waktu kemudian dilanjutkan dengan penjadwalan dengan menggunakan *Bar Chart*. Sedangkan analisis biaya dilakukan dengan menggunakan perhitungan berdasarkan Pedoman AHSP Bidang Umum Kementerian PUPR dan harga satuan didasarkan pada HSPK Kota Medan tahun 2022 kemudian dihitung RAB yang diperlukan untuk masing-masing metode. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil perbandingan dimana Metode *Up Stage* merupakan metode yang dapat dilaksanakan lebih cepat dengan selisih 16 hari serta biaya pelaksanaan yang lebih murah dengan selisih Rp 101.299.650 terhadap Metode *Down Stage*.

Kata Kunci—*Grouting*, Metode *Down Stage*, Metode *Up Stage*, Waktu dan Biaya Proyek.

III. PENDAHULUAN

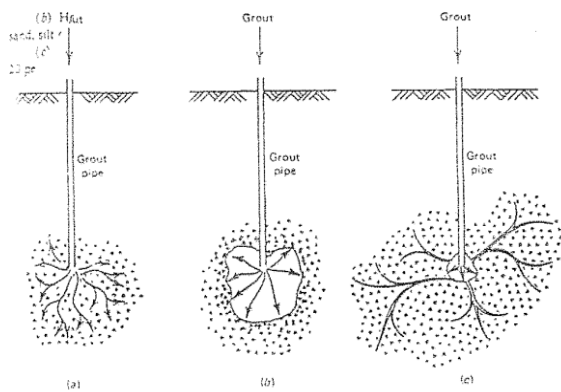
BENDUNGAN merupakan bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, dan beton yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk [1]. Berdasarkan informasi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, target pembangunan bendungan di tahun 2022 mencapai 35 bendungan. Dalam proses pembangunan bendungan, pekerjaan pondasi merupakan salah satu pekerjaan yang membutuhkan pertimbangan lebih dalam. Hal ini dikarenakan pondasi bendungan perlu dibangun dengan daya dukung tanah yang baik serta tidak menyebabkan adanya rembesan air agar tidak terjadi kegagalan struktur pada bendungan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk



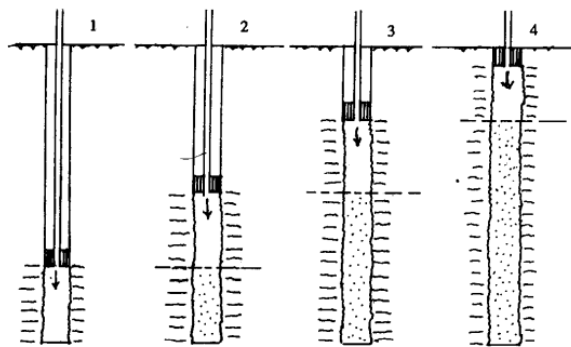
Gambar 1. Metodologi penelitian.

mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan metode *grouting*. *Grouting* merupakan suatu proses pemasukan suatu cairan dengan tekanan ke dalam rongga atau pori, rekahan dan kekar pada batuan, yang dalam waktu tertentu cairan tersebut akan menjadi padat dan keras secara fisika maupun kimiawi [2].

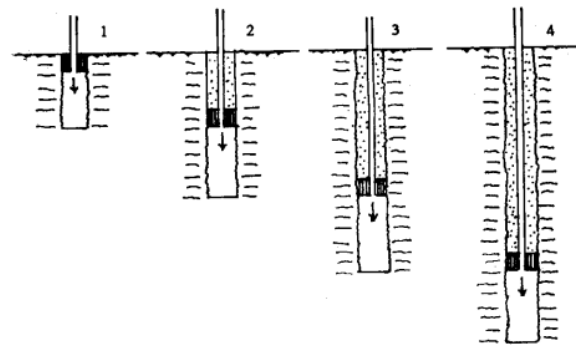
Salah satu proyek yang memanfaatkan pekerjaan *grouting* adalah Proyek Pembangunan Bendungan Lausimeme Paket I, Kab. Deli Serdang. Proyek tersebut merupakan proyek yang bertujuan untuk membangun bendungan yang mampu menampung air dengan kapasitas mencapai 21,07 juta m³. Proyek tersebut saat ini dikerjakan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk dengan PT. Bumi Karsa melalui kerja sama organisasi (KSO). Dalam pembangunan proyek tersebut, selain memiliki manfaat terhadap pondasi bendung, pekerjaan *grouting* juga mengambil peran penting dalam segi biaya dan waktu pada proyek konstruksi bendungan. Pekerjaan *grouting* pada posisi *Riverbed* perlu diselesaikan



Gambar 2. Ilustrasi grouting.



Gambar 3. Pelaksanaan grouting Metode Up Stage.



Gambar 4. Pelaksanaan grouting Metode Down Stage.

terlebih dahulu sebelum proses pekerjaan timbunan inti dilaksanakan. Oleh karena itu, diperlukan pertimbangan yang lebih dalam terkait pemilihan metode pelaksanaan pekerjaan grouting agar pekerjaan timbunan inti dapat berjalan sesuai rencana. Pemilihan metode tersebut diharapkan mampu memenuhi aspek ekonomis, efektif, dan efisien pada proyek.

Terdapat dua macam metode pelaksanaan pekerjaan grouting, yaitu Metode Up Stage dan Metode Down Stage. Pada Metode Up Stage, waktu yang dibutuhkan lebih singkat dibandingkan dengan Metode Down Stage dikarenakan proses grouting tiap stage tidak perlu menunggu proses penjuanan. Namun, Metode Up Stage memiliki kemungkinan penggunaan material yang lebih banyak dibandingkan Metode Down Stage. Hal tersebut dikarenakan pada Metode Down Stage sebagian rekahan di atasnya sudah di grouting. Melihat adanya kekurangan dan kelebihan dari kedua metode tersebut, sehingga perlu dilakukan analisis perbandingan penggunaan Metode Up Stage dengan Metode Down Stage dari segi biaya dan waktu.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Konsep Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan melalui proses pengumpulan data, penyusunan data, dan perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui perbandingan biaya dan waktu antara Metode Up Stage dan Metode Down Stage pada pekerjaan grouting pada Proyek Bendungan Lausimeme, Deli Serdang.

B. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini merupakan Proyek Pembangunan Bendungan Lausimeme Paket I yang terletak di Desa Rumah Gerat, Kecamatan Sibiru-biru, Kabupaten

Tabel 1.
Durasi pekerjaan grouting dan plugging

Jenis alat berat	Produktivitas (ton/hari)	Durasi (hari)
Grouting	2,71	0,05
Plugging	1,10	0,19

Tabel 2.
Durasi pekerjaan timbunan

Jenis alat berat	Produktivitas (m ³ /jam)	Volume (m ³)	Durasi (jam)
Excavator	100,00	5,03	0,05
Dump Truck	26,94	5,03	0,19
Bulldozer	149,40	5,03	0,03
Sheepfoot Roller	39,84	5,03	0,13
Total			0,40

Deli Serdang, Sumatera Utara. Proyek ini dimiliki oleh Kementerian PUPR – Balai Wilayah Sungai Sumatera II dan dikerjakan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk dan PT. Bumi Karsa melalui kerja sama organisasi.

C. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui observasi di lapangan serta wawancara dengan pihak terkait yaitu pelaksana pekerjaan grouting terkait material, peralatan, dan pekerja. Sedangkan data sekunder didapatkan dari pihak proyek seperti gambar rencana dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Medan Tahun 2022. Data yang digunakan merupakan data terbaru sehingga perencanaan dapat tetap relevan pada saat pelaksanaan.

D. Analisis Data

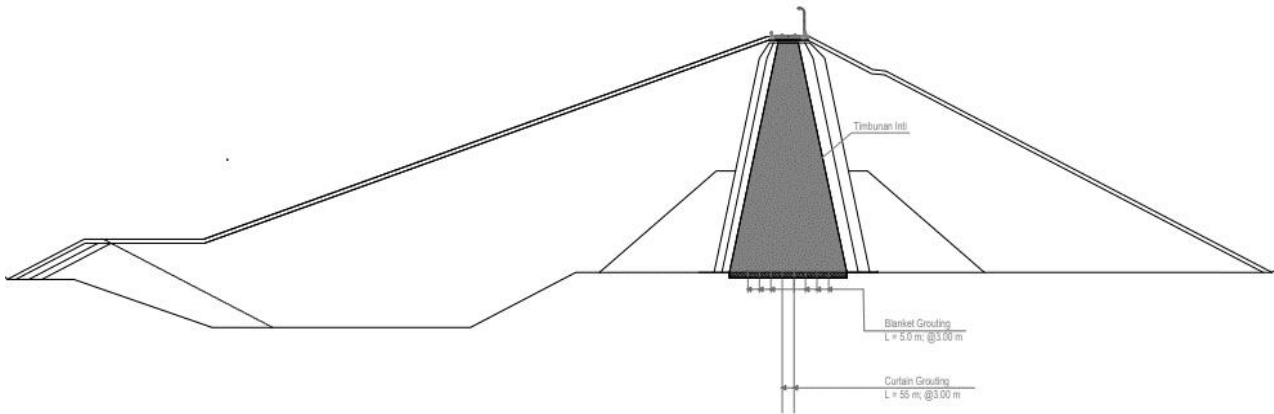
Dalam proses penelitian ini, diperlukan perencanaan yang terstruktur untuk mengerjakannya sehingga lebih mudah dan terarah. Adapun tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

0) Analisis Produktivitas

Analisis produktivitas yang dilakukan merupakan analisis produktivitas pada pekerjaan grouting dan produktivitas pada pekerjaan timbunan inti. Produktivitas yang akan dinalisis merupakan produktivitas alat, produktivitas tenaga kerja, dan produktivitas bahan yang digunakan dalam proses pekerjaan-pekerjaan tersebut [3].

a. Pekerjaan drilling

Pada pekerjaan drilling, produktivitas didasarkan dari produktivitas lapangan yang merupakan hasil wawancara dengan pelaksana pekerjaan grouting serta pengamatan di



Gambar 5. Gambar timbunan inti pada Proyek Bendungan Lausimeme.

Tabel 3.
AHSP pekerjaan *drilling* kedalaman 0 - 5 m Metode *Up Stage*

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA				
	Pekerja	OH	0,258	Rp150.000	Rp38.750
	Mandor	OH	0,086	Rp225.000	Rp19.375
			JUMLAH HARGA TENAGA KERJA		Rp58.125
B	BAHAN				
	Solar	L	0,667	Rp6.800	Rp4.533
			JUMLAH HARGA BAHAN		Rp4.533
C	PERALATAN				
	Mesin bor	Hari	0,086	Rp3.886.080	Rp334.635
			JUMLAH HARGA ALAT		Rp334.635
D	JUMLAH (A+B+C)				Rp397.293
E	Biaya Umum dan Keuntungan			10%	Rp59.594
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)				Rp456.887

lapangan. Alat yang dianalisis merupakan produktivitas alat bor. Perhitungan produktivitas alat bor didapatkan dari persamaan (1) berikut ini:

$$Q = \frac{V \times p \times Fa \times 60}{Ts} \tag{1}$$

dengan Q adalah produktivitas alat bor (m^3/jam), V adalah kapasitas alat (titik), p adalah kedalaman pengeboran (m), Fa adalah faktor efisiensi alat, dan Ts adalah waktu siklus (menit) [4].

b. Pekerjaan *Water Pressure Test* (WPT), *grouting*, dan *plugging*

Pada pekerjaan WPT, *grouting*, dan *plugging*, produktivitas didasarkan dari produktivitas lapangan yang merupakan hasil wawancara dengan pelaksana pekerjaan *grouting* serta pengamatan di lapangan. Perhitungan produktivitas pekerjaan tersebut didapatkan dari persamaan (2) berikut ini:

$$Q = \frac{v}{Ts/60} \tag{2}$$

dengan Q adalah produktivitas per jam, v adalah volume pekerjaan, dan Ts adalah waktu siklus (menit).

c. Pekerjaan timbunan inti

Pada pekerjaan timbunan inti, produktivitas yang dihitung merupakan produktivitas alat berat. Alat berat yang digunakan adalah *excavator*, *bulldozer*, *sheepfoot roller*, dan *dump truck*. Perhitungan produktivitas alat didasarkan pada volume per siklus waktu.

1) *Excavator*

Persamaan (3) berikut ini merupakan perhitungan produktivitas untuk *excavator*.

$$Q = \frac{q \times Fb \times Fa \times 60}{Ts \times Fv} \tag{3}$$

dengan Q adalah produktivitas (m^3/jam), q adalah kapasitas *bucket* (m^3), Fb adalah faktor blade, Fa adalah faktor efisiensi alat, Fv adalah faktor konversi kedalaman, dan Ts adalah waktu siklus (menit).

2) *Bulldozer*

Persamaan (4) berikut ini merupakan perhitungan produktivitas untuk *bulldozer*.

$$Q = \frac{Tb^2 \times Lb \times Fb \times Fm \times Fa \times 60}{Ts} \tag{4}$$

dengan Q adalah produktivitas *bulldozer* (m^3/jam), Lb adalah lebar *blade* (m), Fb adalah faktor blade, Fm adalah faktor kemiringan pisau, Fa adalah faktor efisiensi alat, dan Ts adalah waktu siklus (menit).

3) *Sheepfoot roller*

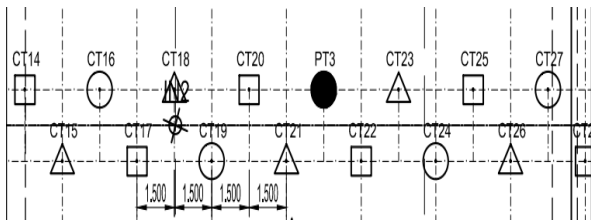
Persamaan (5) berikut ini merupakan perhitungan produktivitas untuk *sheepfoot roller*.

$$Q = \frac{(v \times 1000) \times Lk \times H \times Fa}{n} \tag{5}$$

dengan Q adalah produktivitas (m^3/jam), v adalah kecepatan alat gilas (km/jam), Lk adalah lebar efektif pemadatan (m), H adalah ketebalan material yang dipadatkan (m), Fa adalah faktor efisiensi alat, n adalah jumlah lintasan, dan Ts adalah waktu siklus (menit).

4) *Dump truck*

Persamaan (6) berikut ini merupakan perhitungan produktivitas untuk *dump truck*.



Gambar 6. Urutan pola pengeboran lubang grouting.

URAIAN PEKERJAAN	Volume	Harga Satuan Pekerjaan	Total Harga
PEKERJAAN DRILLING DAN GROUTING			
<i>Drilling untuk Curtain Grouting</i>			
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 0 - 5 m</i>	190	Rp215.023	Rp40.854.373
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 5-10 m</i>	190	Rp70.779	Rp13.447.983
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 10 -15 m</i>	190	Rp50.381	Rp9.572.332
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 15-20 m</i>	190	Rp41.274	Rp7.842.131
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 20-25 m</i>	190	Rp35.811	Rp6.804.010
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 25-30 m</i>	190	Rp31.440	Rp5.973.513
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 30-35 m</i>	190	Rp28.942	Rp5.498.944
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 35-40 m</i>	190	Rp27.069	Rp5.143.017
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 40-45 m</i>	190	Rp25.126	Rp4.773.907
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 45-50 m</i>	190	Rp24.009	Rp4.561.669
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 50-55 m</i>	190	Rp29.718	Rp5.646.348
<i>Drilling untuk Pilot Hole</i>			
<i>Drilling untuk Pilot Hole 0-5 m</i>	25	Rp456.887	Rp11.422.174
<i>Drilling untuk Pilot Hole 5-10 m</i>	25	Rp202.638	Rp5.065.960
<i>Drilling untuk Pilot Hole 10-15 m</i>	25	Rp145.572	Rp3.639.303
<i>Drilling untuk Pilot Hole 15-20 m</i>	25	Rp118.132	Rp2.953.293
<i>Drilling untuk Pilot Hole 20-25 m</i>	25	Rp101.668	Rp2.541.688
<i>Drilling untuk Pilot Hole 25-30 m</i>	25	Rp89.963	Rp2.249.071
<i>Drilling untuk Pilot Hole 30-35 m</i>	25	Rp82.227	Rp2.055.670
<i>Drilling untuk Pilot Hole 35-40 m</i>	25	Rp76.425	Rp1.910.619
<i>Drilling untuk Pilot Hole 40-45 m</i>	25	Rp71.426	Rp1.785.660
<i>Drilling untuk Pilot Hole 45-50 m</i>	25	Rp67.865	Rp1.696.621
<i>Drilling untuk Pilot Hole 50-55 m</i>	25	Rp71.574	Rp1.789.340
<i>Water Pressure Test 1 tekanan</i>	418	Rp944.016	Rp394.598.610
<i>Water Pressure Test 7 tekanan</i>	55	Rp1.744.263	Rp95.934.485
<i>Grouting</i>	109,1	Rp4.908.616	Rp535.545.704
<i>Plugging</i>	206,52	Rp8.009.912	Rp1.654.239.118
SUBTOTAL I			Rp2.827.545.542
PEKERJAAN TIMBUNAN INTI			
<i>Pekerjaan timbunan material kedap air (inti)</i>	166749,62	Rp273.173	Rp45.551.477.800
SUBTOTAL II			Rp45.551.477.800
TOTAL			Rp48.379.023.342

Gambar 7. Total biaya Metode Up Stage.

$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{Ts \times D} \tag{6}$$

dengan Q adalah produktivitas (m^3/jam), V adalah volume pekerjaan (m^3), Fa adalah faktor efisiensi alat, D adalah koefisien konversi tanah, dan Ts adalah waktu siklus (menit) [5].

5) Analisis Durasi Pelaksanaan

Analisis durasi pekerjaan melalui proses perhitungan volume pekerjaan, penentuan produktivitas, perhitungan durasi pekerjaan, dan pembuatan penjadwalan dengan Bar Chart dengan bantuan program Microsoft Office Project. Dalam melakukan analisis durasi pekerjaan, dapat menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$Durasi = \frac{Volume}{produktivitas} \tag{7}$$

6) Analisis Biaya Pelaksanaan

Analisis biaya pelaksanaan melalui proses perhitungan volume pekerjaan, pengumpulan data upah pekerja dan material, perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

7) Analisis Perbandingan Metode

Perbandingan antara Metode Up Stage dengan Metode Down Stage dilakukan untuk mengetahui metode manakah

URAIAN PEKERJAAN	Volume	Harga Satuan Pekerjaan	Total Harga
PEKERJAAN DRILLING DAN GROUTING			
<i>Drilling untuk Curtain Grouting</i>			
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 0 - 5 m</i>	190	Rp302.444	Rp57.464.306
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 5-10 m</i>	190	Rp158.200	Rp30.057.916
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 10 -15 m</i>	190	Rp108.661	Rp20.645.621
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 15-20 m</i>	190	Rp84.985	Rp16.147.097
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 20-25 m</i>	190	Rp70.779	Rp13.447.983
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 25-30 m</i>	190	Rp60.580	Rp11.510.158
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 30-35 m</i>	190	Rp53.919	Rp10.244.639
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 35-40 m</i>	190	Rp48.924	Rp9.295.500
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 40-45 m</i>	190	Rp44.553	Rp8.465.003
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 45-50 m</i>	190	Rp41.493	Rp7.883.656
<i>Drilling untuk Curtain Grouting 50-55 m</i>	190	Rp38.990	Rp7.408.007
<i>Drilling untuk Pilot Hole</i>			
<i>Drilling untuk Pilot Hole 0-5 m</i>	25	Rp529.738	Rp13.243.438
<i>Drilling untuk Pilot Hole 5-10 m</i>	25	Rp282.774	Rp7.069.351
<i>Drilling untuk Pilot Hole 10-15 m</i>	25	Rp198.996	Rp4.974.897
<i>Drilling untuk Pilot Hole 15-20 m</i>	25	Rp158.200	Rp3.954.989
<i>Drilling untuk Pilot Hole 20-25 m</i>	25	Rp133.722	Rp3.343.044
<i>Drilling untuk Pilot Hole 25-30 m</i>	25	Rp116.675	Rp2.916.868
<i>Drilling untuk Pilot Hole 30-35 m</i>	25	Rp105.123	Rp2.628.068
<i>Drilling untuk Pilot Hole 35-40 m</i>	25	Rp96.459	Rp2.411.467
<i>Drilling untuk Pilot Hole 40-45 m</i>	25	Rp89.234	Rp2.230.858
<i>Drilling untuk Pilot Hole 45-50 m</i>	25	Rp83.892	Rp2.097.299
<i>Drilling untuk Pilot Hole 50-55 m</i>	25	Rp79.521	Rp1.988.023
<i>Water Pressure Test 1 tekanan</i>	418	Rp962.883	Rp402.485.095
<i>Water Pressure Test 7 tekanan</i>	55	Rp1.766.311	Rp97.147.087
<i>Grouting</i>	109	Rp4.908.616	Rp535.545.704
<i>Plugging</i>	206,5	Rp8.009.912	Rp1.654.239.118
SUBTOTAL I			Rp2.928.845.192
PEKERJAAN TIMBUNAN INTI			
<i>Pekerjaan timbunan material kedap air (inti)</i>	166749,62	Rp273.173	Rp45.551.477.800
SUBTOTAL II			Rp45.551.477.800
TOTAL			Rp48.480.322.992

Gambar 8. Total biaya Metode Down Stage.

yang memiliki waktu lebih cepat dan biaya yang lebih murah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Pelaksanaan Grouting

Grouting merupakan suatu proses pemasukan suatu cairan dengan tekanan ke dalam rongga atau pori, rekahan dan kekar pada batuan, yang dalam waktu tertentu cairan tersebut akan menjadi padat dan keras secara fisika maupun kimiawi [2] seperti ilustrasi pada Gambar 2.

Pada Proyek Bendungan Lausimeme, grouting yang akan dilakukan terletak di bawah timbunan inti. Jenis grouting yang akan dilakukan merupakan blanket grouting dengan kedalaman 5 m setiap lubang dan curtain grouting serta pilot grouting dengan kedalaman 55 m setiap lubang. Terdapat dua metode pelaksanaan pekerjaan grouting, yaitu Metode Up Stage dan Metode Down Stage.

1) Metode Up Stage

Metode pelaksanaan ini merupakan metode grouting dimana drilling dan Water Pressure Test (WPT) dilaksanakan hingga stage terakhir dan grouting dilaksanakan secara bertahap dari bawah ke atas [5]. Metode pelaksanaan ini didasarkan pada dokumen metode pelaksanaan yang disesuaikan dengan pelaksanaan metode di lapangan. Adapun tahapan pelaksanaan Metode Grouting Up Stage berdasarkan Gambar 3 adalah sebagai berikut:

- Melakukan pengeboran lubang grouting satu stage dengan kedalaman tiap stage yaitu 5 m. Pengeboran dilakukan dengan bantuan air bertekanan untuk melakukan pencucian lubang.
- Memasang alat packer di dalam lubang dan lakukan proses WPT. Alat packer digunakan untuk menutup

lubang agar tidak terjadi kebocoran pada saat WPT dan air dapat masuk ke rekahan.

- c. Melakukan langkah sebelumnya hingga mencapai kedalaman maksimal (*stage* 11 dengan kedalaman 55 m) yang telah ditentukan.
- d. Memulai proses *grouting* dari bagian paling bawah dengan tekanan maksimal. *grouting* dapat dihentikan jika campuran *grouting* pada *mixer* dan *Hopper* tidak mengalami penurunan.
- e. Setelah selesai satu *stage*, menarik *packer* ke atas dan melakukan *grouting* pada *stage* di atasnya (bagian 2)
- f. Melakukan langkah sebelumnya hingga *stage* paling atas (bagian terakhir) dengan jarak tiap *stage* sebesar 5 m.
- g. Melakukan proses *plugging* untuk menutup lubang *grouting* dengan campuran semen dan air dengan perbandingan 1 : 0,5.

2) Metode Down Stage

Metode pelaksanaan ini merupakan metode *grouting* dimana *drilling*, *Water Pressure Test* (WPT), dan *grouting* dilaksanakan setiap *stage* secara bertahap dari atas ke bawah hingga kedalaman maksimal [5]. Perbedaan metode *down stage* dan metode *up stage* terletak pada urutan pekerjaan *grouting*-nya, dimana pada metode *up stage* pekerjaan *grouting* dilakukan setelah melakukan pengeboran pada seluruh *stage*. Sedangkan pada metode *down stage*, pekerjaan *grouting* dilakukan setelah melakukan pengeboran untuk setiap *stage*. Selain itu, pada metode *down stage* terdapat proses penjenjahan *grouting*. Metode pelaksanaan ini didasarkan pada dokumen metode pelaksanaan yang disesuaikan dengan pelaksanaan metode di lapangan. Adapun tahapan pelaksanaan Metode *Grouting* Down Stage berdasarkan Gambar 4.

- a. Melakukan pengeboran lubang *grouting* satu *stage* dengan kedalaman tiap *stage* yaitu 5 m. Pengeboran dilakukan dengan bantuan air bertekanan untuk melakukan pencucian lubang.
- b. Memasang alat *packer* di dalam lubang dan lakukan proses WPT. Alat *packer* digunakan untuk menutup lubang agar tidak terjadi kebocoran pada saat WPT dan air dapat masuk ke rekahan.
- c. Memulai proses *grouting* pada *stage* tersebut hingga campuran *grouting* pada *mixer* dan *Hopper* tidak mengalami penurunan.
- d. Setelah satu *stage* telah selesai di *grouting*, menunggu proses penjenjahan campuran *grouting* selama ± 4 jam.
- e. Memindahkan mesin bor ke lubang lainnya dan melakukan langkah-langkah sebelumnya selagi menunggu proses penjenjahan pada lubang semula.
- f. Meletakkan mesin bor ke lubang semula dan melakukan pengeboran kembali (*redrilling*) untuk *stage* selanjutnya.
- g. Melakukan langkah-langkah sebelumnya (*drilling*, WPT, dan *grouting*) hingga *stage* paling bawah.
- h. Melakukan proses *plugging* untuk menutup lubang *grouting* dengan campuran semen dan air dengan perbandingan 1 : 0,5.

B. Perhitungan Volume Pekerjaan

a. Pekerjaan *drilling*

Pada penelitian ini, pekerjaan *drilling* memiliki satuan pekerjaan m'. Lubang yang dibor merupakan lubang identik

dengan kedalaman yaitu 55 m setiap lubang. Sehingga volume untuk setiap lubang yaitu 55 m'.

b. Pekerjaan *Water Pressure Test* (WPT)

Pada penelitian ini, terdapat dua macam *Water Pressure Test* (WPT), yaitu WPT 1 tekanan untuk *curtain hole* dan WPT 7 tekanan untuk *pilot hole*. Satuan yang digunakan pada pekerjaan ini merupakan nos. Satuan nos (*number of sectors*) pada pekerjaan WPT meliputi pengukuran tinggi *pressure gauge* dari permukaan bidang datar, pengukuran *Ground Water Level* (GWL), menentukan tekanan yang digunakan untuk WPT sesuai dengan urutan *stage*, dan pengaliran air ke dalam lubang sesuai dengan tekanan yang telah ditentukan sebelumnya.

c. Pekerjaan *grouting*

Pada penelitian ini, volume pekerjaan *Grouting* didasarkan pada volume lapangan dimana setiap lubang memiliki volume *Grouting* yang berbeda-beda. Volume pekerjaan *Grouting* memiliki satuan ton. Pada penelitian ini, volume *Grouting* pada Metode *Up Stage* dan Metode *Down Stage* diasumsikan sama.

d. Pekerjaan *plugging*

Pada penelitian ini, pekerjaan *plugging* memiliki satuan ton. Perhitungan volume campuran *plugging* pada lubang *Grouting* pada dasarnya adalah perhitungan volume lubang *Grouting* dengan perbandingan campuran semen dan air yaitu 1:0,5. Lubang yang di-*plugging* merupakan lubang identik dengan perhitungan volume campuran *plugging* pada lubang *Grouting* adalah sebagai berikut.

Kedalaman lubang	: 55 m
<i>Capping</i>	: 1 m
Kedalaman lubang total	: 56 m
Diameter lubang	: 0,073 m

$$V_{\text{lubang}} = \pi r^2 t = 3,14 \times \left(\frac{0,073}{2}\right)^2 \times 56 = 0,0234 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = \text{Volume lubang} = 234,38 \text{ liter}$$

$$V_{\text{total}} = W + C/3,1$$

$$W = 1/3 V_{\text{total}} = 1/3 \times 234,38 \text{ liter} = 78,13 \text{ liter}$$

$$C = (V_{\text{total}} - W) \times 3,1 = (234,38 - 78,13) \times 3,1 = 484,39 \text{ kg}$$

Dari hasil perhitungan semen di atas, terdapat proses penjenjahan sehingga kebutuhan semen naik sebesar 2%. $C = 484,39 \text{ kg} \times 2\% = 494,08 \text{ kg} = 0,494 \text{ ton}$. Maka, jumlah campuran yang dibutuhkan untuk melakukan *plugging* 1 lubang dengan kedalaman 56 m, yaitu semen sebanyak 0,494 ton dan air sebanyak 78,13 liter.

e. Pekerjaan timbunan inti

Pada penelitian ini, volume pekerjaan timbunan inti didasarkan pada gambar rencana pada aplikasi AutoCAD. Pekerjaan timbunan inti memiliki satuan m³. Gambar perencanaan timbunan inti dapat dilihat pada Gambar 5.

$$\text{Volume} = \frac{(\text{Luas}_1 + \text{Luas}_2)}{2} \times \text{jarak antar potongan}$$

$$\text{Volume} = \frac{(0,45 + 0,45)}{2} \times 10 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 2,51 \text{ m}^3$$

C. Analisis Waktu

Analisis waktu pada kedua metode memiliki cara yang sama namun data yang dianalisis berbeda. Berikut ini

merupakan contoh perhitungan durasi pada masing-masing pekerjaan.

0) Metode Up Stage

a. Pekerjaan *drilling*

Kapasitas alat (V)	: 1 titik
Kedalaman pengeboran (p)	: 5 m
Diameter bor	: 0,073 m
Faktor efisiensi alat	: 0,75 (Kondisi operasi baik, pemeliharaan mesin baik)

Waktu siklus	
Persiapan alat	: 50 menit
Pasang stang bor	: 4,08 menit
Pengeboran	: 80 menit
Lepas stang bor	: 4,92 menit
Mengatasi hambatan	: 16 menit
Pindah lubang	: <u>0 menit</u>
Total	: 155 menit +

$$Q = \frac{1 \times 5 \times 0,75 \times 60}{155} = 1,45 \frac{m'}{jam} = 1,45 \times 8 = 11,61 \frac{m'}{hari}$$

$$Durasi\ pekerjaan = \frac{5}{11,61} = 0,43\text{hari}$$

b. Pekerjaan *Water Pressure Test (WPT)*, *grouting*, dan *plugging*

Jam kerja	: 8 jam
Waktu siklus	: 143,68 menit
Produktivitas	$= \frac{1}{143,68/60} \times 8 = 3,34\text{ nos/hari}$

$$Durasi\ pekerjaan = \text{ hari}$$

Dengan menggunakan cara yang sama pada Persamaan (2), dapat dilakukan perhitungan pada pekerjaan lainnya dan didapatkan hasil perhitungan durasi yang tertera pada Tabel 1.

c. Pekerjaan timbunan inti

a. Excavator backhoe

Alat yang digunakan	: Komatsu PC-200 / 125 HP
Faktor kembang material (Fk)	: 1,08
Kapasitas bucket (V)	: 0,8 m ³
Faktor bucket (Fb)	: 1 (kondisi operasi sedang, tanah biasa)
Faktor efisiensi alat (Fa)	: 0,75 (kondisi operasi sedang)
Waktu siklus (Ts)	: 0,33 menit
Kapasitas produksi (Q)	$= \frac{0,8 \times 1 \times 0,75 \times 60}{0,33 \times 1,08} = 100 \frac{m^3}{jam}$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat dilakukan perhitungan pada alat berat lainnya dan didapatkan hasil perhitungan durasi yang tertera pada Tabel 2.

2) Metode Down Stage

a. Pekerjaan *drilling*

Kapasitas alat (V)	: 1 titik
Kedalaman pengeboran (p)	: 5 m
Diameter bor	: 0,073 m
Faktor efisiensi alat	: 0,75 (Kondisi operasi baik, pemeliharaan mesin baik)

Waktu siklus	
Persiapan alat	: 50 menit

Pasang stang bor	: 4,08 menit
Pengeboran	: 80 menit
Lepas stang bor	: 4,92 menit
Mengatasi hambatan	: 16 menit
Pindah lubang	: <u>25 menit</u>
Total	: 180 menit +

$$Produktivitas (Q) = \frac{1 \times 5 \times 0,75 \times 60}{180} = 1,25 \frac{m'}{jam} = 1,25 \times 8 = 10 \frac{m'}{hari}$$

$$Durasi\ pekerjaan = \frac{5}{10} = 0,5\text{hari}$$

b. Pekerjaan *Water Pressure Test (WPT)*, *grouting*, dan *plugging*

Jam kerja	: 8 jam
Waktu siklus	: 156,68 menit
Produktivitas	$= \frac{1}{156,68/60} \times 8 = 3,025\text{ nos/hari}$

$$Durasi\ pekerjaan = \text{ hari}$$

Perhitungan pekerjaan *grouting* dan *plugging* pada metode *Down Stage* diasumsikan sama dengan perhitungan pada Metode *Up Stage*. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

3) Pekerjaan timbunan inti

Perhitungan pekerjaan timbunan inti pada metode *Down Stage* diasumsikan sama dengan perhitungan pada Metode *Up Stage*. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah dilakukan analisis durasi pelaksanaan, selanjutnya dilakukan penjadwalan dengan *sequence* yang dijadwalkan yaitu tiap lubang dengan durasi yang telah dihitung. Pada analisis ini, diasumsikan terdiri dari 3 grup pekerja dengan komposisi grup yaitu 1 orang mandor dan 3 orang pekerja. Urutan lubang yang dikerjakan dimulai dari *pilot hole* dan lubang primer secara bersamaan yang membentuk pola segitiga (dapat dilihat pada Gambar 6) kemudian dilanjutkan ke lubang sekunder baik di sebelah kanan ataupun kiri lubang primer kemudian dilanjutkan ke lubang tersier. Pergerakan perpindahan lubang dimulai dari zona *riverbed* bagian tengah, kemudian bergerak pada zona *riverbed* bagian kiri (dilihat dari hulu ke hilir) dan dilanjutkan pada zona *riverbed* bagian kanan. Pada metode *Down Stage*, saat menunggu penjujukan pada satu lubang diasumsikan grup pekerja melakukan pekerjaan *Grouting* pada lubang lain. Dari hasil penjadwalan tersebut, didapatkan durasi total Metode *Up Stage* yaitu 407 hari dan Metode *Down Stage* yaitu 423 hari.

D. Analisis Biaya

Pada analisis biaya, untuk menghitung biaya setiap pekerjaan perlu dilakukan perhitungan AHSP yang kemudian dikalikan dengan volume pekerjaan [6]. Berikut ini merupakan contoh perhitungan AHSP untuk pekerjaan *drilling* pada kedalaman 0 – 5 m.

$$\text{Koefisien alat bor} = \frac{1}{11,61} = 0,086$$

$$\text{Koefisien pekerja} = \frac{Tk \times P}{Qt}; Q_t = Tk \times Q_1$$

$$\text{Koefisien pekerja} = \frac{8 \times 3}{8 \times 11,61} = 0,258$$

$$\text{Koefisien mandor} = \frac{8 \times 1}{8 \times 11,61} = 0,086$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah harga} &= \text{Koefisien} \times \text{Harga satuan} \\ &= 0,258 \times \text{Rp } 150.000 \\ &= \text{Rp } 38.750 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dapat dilakukan perhitungan pada sumber daya lainnya dan didapatkan hasil seperti Tabel 3. Perhitungan AHSP dilakukan pada seluruh item pekerjaan untuk setiap metode dan didapatkan hasil analisis biaya seperti pada Gambar 7 untuk Metode *Up Stage*. Berdasarkan Gambar 7, dapat diketahui bahwa total biaya yang diperlukan untuk melaksanakan pekerjaan *grouting* Metode *Up Stage* dan pekerjaan timbunan inti adalah sebesar Rp 48.379.023.342. Berdasarkan Gambar 8, dapat diketahui bahwa total biaya yang diperlukan untuk *grouting* Metode *Down Stage* dan pekerjaan timbunan inti memerlukan biaya sebesar Rp 48.480.322.992.

E. Pembahasan Hasil Analisis Waktu dan Biaya

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan hasil yaitu Metode *Up Stage* membutuhkan waktu 16 hari lebih singkat dibandingkan dengan Metode *Down Stage*. Walaupun menggunakan sumber daya (jumlah pekerja, jumlah bahan, dan jumlah alat) yang sama, tetap terdapat perbedaan pada kedua metode. Perbedaan ini dikarenakan adanya perbedaan waktu siklus pada pekerjaan *drilling*, pekerjaan WPT, dan adanya proses penjujukan pada Metode *Down Stage* sehingga memengaruhi produktivitas dari masing-masing metode. Produktivitas inilah yang memengaruhi durasi pekerjaan.

Selain memengaruhi durasi pekerjaan, produktivitas juga memengaruhi koefisien sumber daya pada analisis harga satuan pekerjaan. Apabila produktivitas pekerjaan semakin besar, maka nilai koefisien semakin kecil. Sebaliknya, apabila produktivitas pekerjaan semakin kecil, maka nilai koefisien semakin besar. Nilai koefisien yang besar akan membuat harga satuan pekerjaan menjadi semakin mahal. Pada analisis penelitian ini, pekerjaan *Grouting* dengan menggunakan Metode *Down Stage* membutuhkan biaya Rp 101.299.650 lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan Metode *Up Stage*. Hal ini dikarenakan produktivitas pada Metode *Down Stage* lebih kecil dibandingkan dengan Metode *Up Stage* sehingga koefisien sumber dayanya lebih besar. Hasil perbandingan analisis waktu dan biaya kedua metode dapat dilihat pada Tabel 2.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: (1) Pekerjaan *Grouting* pada lokasi *Riverbed* pada Proyek Pembangunan Bendungan Lausimeme, Deli Serdang dengan 43 titik yang di analisis memerlukan 407 hari dengan menggunakan Metode *Up Stage*. Sedangkan, pekerjaan *Grouting* dengan menggunakan Metode *Down Stage* memerlukan waktu 423 hari. (2) Pekerjaan *Grouting* pada lokasi *Rverbed* pada Proyek Pembangunan Bendungan Lausimeme, Deli Serdang dengan 43 titik yang di analisis memerlukan biaya sebesar Rp 48.379.023.342 dengan menggunakan Metode *Up Stage*. Sedangkan, pekerjaan *Grouting* dengan menggunakan Metode *Down Stage* memerlukan biaya sebesar Rp 48.480.322.992. (3) Selisih antara Metode *Up Stage* dengan Metode *Down Stage* dari segi waktu adalah selama 16 hari, sedangkan dari segi biaya yaitu sebesar Rp 101.299.650. Berdasarkan analisis perbandingan tersebut, dapat diketahui bahwa Metode *Up Stage* membutuhkan waktu yang lebih cepat dan lebih murah dalam pelaksanaannya dibandingkan dengan Metode *Down Stage*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 Tahun 2015 tentang Bendungan. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015.
- [2] Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman Grouting untuk Bendungan. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2005.
- [3] Ricky Virona Martono, Analisis Produktivitas dan Efisiensi . Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2019. doi: 978-602-06-2271-2.
- [4] H. Bakri, "Produktivitas kinerja mesin bor dalam pembuatan lubang ledak di quarry batugamping B6 Kabupaten Pangkep Propinsi Sulawesi Selatan Selatan," Jurnal Geomine, vol. 5, no. 2, 2017.
- [5] Soedibyo, Teknik Bendungan. Jakarta: Pradnya Paramita, 2003.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tahun 2016 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum, vol. 28/PRT/M/2016. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016.