



EVALUASI PEKERJAAN BETON LOWER TEROWONG DAN PENGARUH PENGUNAAN *CHICKEN NET* SEBAGAI ALTERNATIF DARI BEKISTING KONVENSIONAL PADA PEKERJAAN BEKISTING NON-EKSPOS DI BENDUNGAN BULANGO ULU

Penulis: Yoga Surya Nusantara (23-880)

1. LATAR BELAKANG

Pembangunan Bendungan Bulango Ulu dimaksudkan untuk mengatasi masalah pengendalian banjir Kota Gorontalo dan Kabupaten Gorontalo serta kebutuhan air baku bagi masyarakat di Wilayah kota Gorontalo serta meminimalkan perbedaan distribusi pengembangan sumberdaya air diantara daerah-daerah berdasarkan pada prinsip berkeadilan dan berkelanjutan. Tujuan dan sasaran yang hendak dicapai dari pembangunan Bendungan Bulango Ulu adalah sebagai pengendalian banjir Kota Gorontalo, suplai air baku secara kontinyu untuk kebutuhan sehari-hari bagi masyarakat Wilayah Kota Gorontalo, menambah suplai listrik sebesar 4.95 MW, mendukung perkembangan Pariwisata di Kabupaten Bone Bolango, dan pengembangan perikanan darat bagi masyarakat dihilir waduk.

PT Brantas Abipraya dipercaya untuk melaksanakan Pembangunan Bendungan Bulango Ulu Paket II dengan cakupan Pekerjaan Persiapan, Pekerjaan Jalan (Relokasi Jalan Warga), Pekerjaan Pengelakan, Pekerjaan Bangunan Pelimpah (Spillway), Pekerjaan Bangunan Pengambilan, Pekerjaan Hidromekanikal, dan Pekerjaan Bangunan Fasilitas. Pada artikel ini, penulis akan berfokus pada Pekerjaan Bangunan Pelimpah (Spillway) terutama pada Pekerjaan Beton. Pekerjaan Beton sebagai salah satu item pekerjaan mayor pada Pekerjaan Bangunan Pelimpah (Spillway) dengan bobot 17.145% dari keseluruhan kontrak. Pekerjaan Beton pada Bangunan Pelimpah (Spillway) Meliputi Beton K-225, Betok K-300, Tulangan Beton Ulir, Bekisting *Expose*, Bekisting *Non-expose*, dan Waterstop.

Sebagai penyedia jasa yang unggul, PT Brantas Abipraya (Persero) telah berkomitmen untuk menyelesaikan amanah secara tepat mutu, waktu, dan biaya. Untuk mendapatkan ketepatan mutu, waktu, dan biaya, diperlukan analisa terkait produktivitas, schedule, dan biaya yang diperlukan untuk memproduksi suatu pekerjaan. Dikutip dari Permen PU No. 1

Tahun 2022, Produktivitas dapat diartikan sebagai perbandingan antara output (hasil produksi) terhadap input (komponen produksi: tenaga kerja, bahan, peralatan, dan waktu). Jadi dalam Analisis Produktivitas dapat dinyatakan sebagai rasio antara output terhadap input dan waktu (jam atau hari). Bila input dan waktu kecil maka output semakin besar sehingga produktivitas semakin tinggi.. Pengukuran produktivitas kerja Tenaga Kerja dalam gugus kerja tertentu yang terdiri atas tukang, pembantu tukang/laden, kepala tukang dan mandor. Produktivitas Tenaga Kerja dinyatakan sebagai orang jam (OJ) atau orang hari (OH) yang diperlukan untuk menghasilkan suatu satuan pekerjaan tertentu. Pengukuran produktivitas kerja tersebut menggunakan metode time and motion study dengan mengamati gerak para pekerja dan produknya pada setiap menitnya. Jumlah Tenaga Kerja terhadap produktivitas alat utama dalam satu hari kerja adalah 8 (delapan) jam dengan istirahat 1 (satu) jam, sehingga waktu kerja efektif adalah 7 (tujuh) jam, dan jumlahnya diasumsikan berdasarkan pengalaman.

Bekisting adalah Suatu struktur bersifat sementara, digunakan untuk mencetak beton yang dituangkan sesuai dengan dimensi yang diperlukan dan menahannya sampai beton itu mampu mendukung berat sendiri (Rupasinghe dan Nolan, 2007). Dari hasil pengamatan kemudian dilakukan analisis agar tercapainya efisiensi dengan tepat mutu, waktu, dan biaya.

2. DASAR TEORI

SNI 03-2834-2000 beton didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Tahap pekerjaan dalam proses pengecoran adalah sebagai berikut.

1. Pekerjaan Pembesian, fabrikasi besi sesuai gambar/shop drawing, hasil fabrikasi diangkut dikirim ke area kerja. Besi yang telah difabrikasi kemudian dilakukan pemasangan dengan diikat menggunakan kawat bendrat sesuai dengan gambar/shop drawing yang sudah terkonfirmasi lokasi dan letak oleh tim survey.
2. Pekerjaan bekisting, pemasangan bekisting sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Pada pekerjaan pengecoran terowong, pemasangan bekisting dibagi menjadi 2, yaitu bekisting ekspos dan non-ekspos. Bekisting non ekspos menggunakan bekisting konvensional berupa kayu/*chicken net*, sedangkan bekisting ekspos menggunakan sliding form. Dalam dunia konstruksi, kayu merupakan bahan bekisting

yang banyak digunakan, khususnya pada bekisting konvensional dimana keseluruhan bahan bekisting dibuat dari kayu (Alfandias Seysna Putra, 2021). Selain pemasangan bekisting, peletakan pipa grouting juga dilakukan sebelum dilakukannya pengecoran. Pemasangan bekisting dan pemasangan pipa grouting dibantu oleh tim survey untuk memastikan kesesuaian lokasi yang akan dicor. Setelah rangkaian tulangan, pipa grouting, dan bekisting sudah disetujui oleh tim QC dan konsultan, pengecoran bisa dilanjutkan.

3. Pekerjaan Pelaksanaan Pengecoran, saat proses pengecoran dilakukan uji slump, dan membuat sampel beton. Pada proses pengecoran, digunakan vibrator untuk mengeluarkan angin atau udara yang masih ada pada adonan tersebut sehingga tidak menimbulkan rongga atau lubang.
4. Perawatan beton, dilakukan proses curing untuk menjaga beton tetap lembab dan dalam kondisi yang baik selama periode pematangan/pengerasan.

Material yang digunakan untuk beton sesuai dengan **spesifikasi teknis** Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu adalah sebagai berikut:

1. Semen, semen yang dipakai pada pekerjaan ini harus berkualitas sama dengan semen Portland, tipe biasa seperti standar JIS R 5210 atau yang disarankan ASTM C 150 dan atau yang disarankan oleh Direksi.
2. Bahan Pencampur (Admixture), Penyedia Jasa harus menyediakan mengangkut dan memasukkan bahan tambahan beton (bahan pencampur) ke dalam campuran beton untuk menyempurnakan pelaksanaan pekerjaan dan penyelesaian pekerjaan beton dan menaikkan sifat spesial lainnya.
3. Agregat Halus, Agregat halus terdiri dari pecahan batuan bersih, keras, padat, tahan lama dan tidak dicat dengan gradasi memadai dan harus bebas kotoran, debu, lempung atau zat organik lain atau material lain yang tidak diperlukan. Kadar air agregat halus yang dibawa ke batching plant dapat bervariasi tidak lebih dari 1.0 % dari total air yang ada pada agregat halus dalam waktu 1 jam dan tidak boleh bervariasi melebihi 3.0% dalam waktu kerja 1 shift.
4. Agregat Kasar, Istilah agregat kasar dipakai untuk agregat yang ukuran nominalnya 5 mm dan digradasikan mulai dari 5 mm sampai ukuran terbesar seperti yang diperlukan dalam pekerjaan.

5. Air, Air yang dipakai untuk beton, grouting dan mortar untuk pencucian agregat dan untuk pembasahan beton harus betul-betul bersih dan bebas jumlah yang tidak disetujui dari lumpur, zat-zat organik, alkali, garam, asam dan kotoran yang lain.

Manajemen dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia merupakan penggunaan sumber daya secara efektif untuk mencapai sasaran. Proyek dalam KBBI adalah rencana pekerjaan dengan sasaran khusus dan dengan saat penyelesaian yang tegas. Secara singkat, manajemen proyek adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan pekerjaan dengan penggunaan sumber daya secara efektif dan efisien dengan biaya, mutu, dan waktu tertentu sebagai sasaran.

Menurut Husen (2009:4), proyek adalah gabungan dari sumber-sumber daya seperti manusia material, peralatan, dan modal/ biaya yang dihimpun dalam suatu wadah organisasi sementara untuk mencapai sasaran dan tujuan. Menurut Ervianto (2005:21), manajemen proyek adalah semua perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) hingga berakhirnya proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya dan tepat mutu. Menurut Larson, proyek adalah kegiatan yang kompleks, tidak rutin, dan usaha sesaat yang dibatasi oleh waktu, anggaran, sumber daya dan spesifikasi kinerja yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pelanggan (dalam Buku Pengantar Manajemen Proyek oleh Zaenal Arifin).

Tujuan dari manajemen proyek adalah untuk mendapatkan metode atau cara teknis yang paling baik agar dengan sumber-sumber daya yang terbatas diperoleh hasil maksimal dalam hal ketetapan, kecepatan, penghematan, dan keselamatan kerja secara komprehensif .

3. METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Langkah yang dilakukan adalah menentukan rumusan masalah penelitian, tujuan, dan melakukan literatur.

2. Tahap Pengumpulan Data

Penulis melakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer merupakan data hasil pengamatan sendiri pada saat pelaksanaan di lokasi pekerjaan, dan data

sekunder didapatkan dari wawancara pelaksana lapangan maupun orang-orang yang terlibat dalam proses pekerjaan.

3. Tahap Analisa Data

Data yang sudah diperoleh kemudian dianalisa untuk setiap item pekerjaan yang dibahas dalam artikel ini. Analisa meliputi produktivitas, waktu, biaya, dan mutu.

4. Tahap Pembahasan

Dari hasil analisa kemudian dilakukan pembahasan terkait analisa yang telah dilakukan yang kemudian dapat dijadikan evaluasi pada proyek itu sendiri atau proyek lainnya.

4. PENGAMATAN LAPANGAN

4.1. LOKASI PROYEK

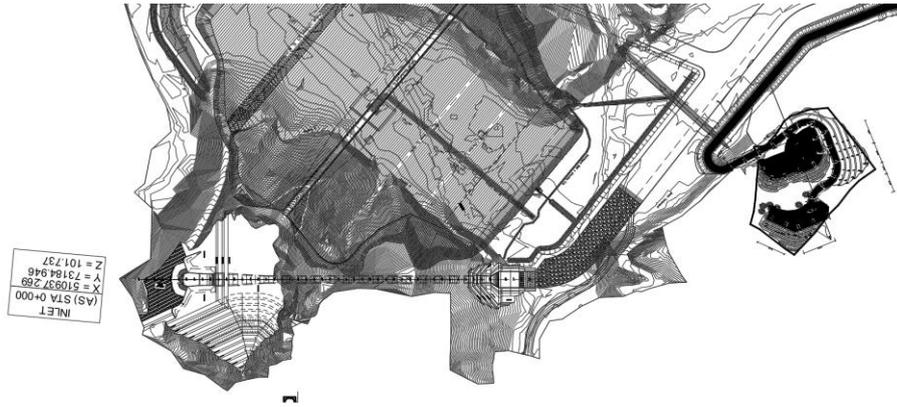
Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu Paket II (MYC) terletak di Sungai Mongilo, Kabupaten Bone Bulango, Provinsi Gorontalo.



Gambar 4.1 Lokasi Proyek Bendungan Bulango Ulu

4.2. PENGAMATAN LAPANGAN

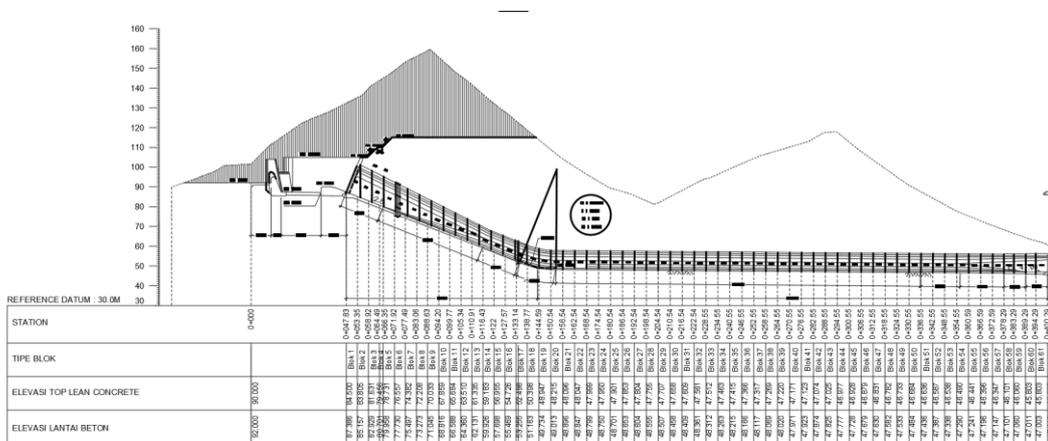
Pengamatan dilakukan pada September 2023 sampai dengan Desember 2023. Pekerjaan pada Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu Paket II (MYC) meliputi Pekerjaan Persiapan, Pekerjaan Jalan, Pekerjaan Pengelakan, Pekerjaan Bangunan Pelimpah (Spillway), Pekerjaan Hidromekanikal, dan Pekerjaan Bangunan Pelimpah. Pada artikel ini, penulis berfokus pada pengamatan lapangan dilakukan pada Pekerjaan Bangunan Pelimpah (Spillway).



Gambar 4.2 Layout Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu

Pengamatan yang dilakukan penulis meliputi pengamatan terhadap metode pekerjaan dan juga siklus waktu yang diperlukan untuk masing-masing proses pekerjaan, terutama pada rangkaian pekerjaan pengecoran yang meliputi kegiatan pembesian, pekerjaan bekisting, dan pekerjaan beton.

Pada Bendungan Bulango Ulu Paket II (MYC), Pekerjaan Bangunan Pelimpah dibagi menjadi 60 blok, Blok 1-20 (sisi miring) memiliki panjang bervariasi pada masing-masing blok dengan panjang maksimal 6 meter, pada Blok 21-60 dibagi konstan dengan panjang masing-masing blok 6 meter. Blok 1-20 berbentuk transisi dari persegi ke lingkaran, Blok 21-50 merupakan tipikal berbentuk lingkaran, dan 51-60 merupakan transisi dari lingkaran ke persegi. Pekerjaan dibagi menjadi 3 periode, Pekerjaan Terowong Spillway pada Blok 21-50, kemudian dilanjutkan pekerjaan Blok 1-20 dan Blok 51-60.



Gambar 4.3 Potongan Memanjang Terowong Spillway Bendungan Bulango Ulu

Pengamatan yang dituliskan pada artikel ini berfokus pada siklus pengecoran yang kemudian dilakukan upaya implementasi di lapangan agar dapat mempercepat progress dan efisiensi biaya tanpa mengurangi mutu yang telah ditentukan. Data pengamatan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4 Pekerjaan Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

1. Persiapan

Persiapan meliputi pembersihan, persiapan material di lokasi kerja, dan persiapan alat di lokasi kerja. Pembersihan dilakukan agar lokasi pekerjaan tidak terganggu dari material yang dapat merugikan seperti lumpur, sampah, dan sejenisnya sehingga dapat memudahkan pekerjaan dan menghasilkan pekerjaan yang tepat. Pembersihan umumnya dilakukan dengan cara penyemprotan dan menghabiskan waktu 1 – 2 jam.

2. Pembesian

Pembesian dibagi menjadi 2 bagian, yaitu fabrikasi dan instalasi. Fabrikasi dilakukan di lokasi pembesian kurang lebih 1 km dari lokasi instalasi besi. Fabrikasi besi mulai dilaksanakan pada bulan Juni 2023, sedangkan untuk instalasi pada lokasi dilakukan sejak Agustus 2023. Urutan pekerjaan pada pembesian adalah fabrikasi besi, langsir besi, kemudian instalasi besi di lokasi pekerjaan. Produktivitas dari instalasi besi berdasarkan pengamatan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.5 Pembesian Lower Terowong Spillway Blok 21-50

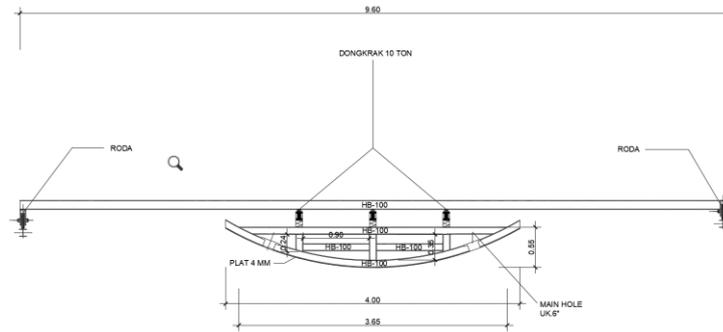
Tabel 4.1 Produktivitas Pekerjaan Tulangan Beton Ulir pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Tanggal	Waktu (Jam)	Jumlah Pekerja (Orang)	Volume Besi (Kg)	Produktivitas (Kg/jam)	Keterangan
1	03/09/2023	20	8	8701.89	435.09	2 Hari (1 Shift)
2	06/09/2023	19	9	8701.89	483.44	2 Hari (1 Shift)
3	09/09/2023	19	8	8701.89	457.99	2 Hari (1 Shift)
4	07/11/2023	20	7	8701.89	435.09	1 Hari (2 Shift)
5	09/11/2023	15	9	8701.89	580.13	1 Hari (2 Shift)
6	11/11/2023	14	9	8701.89	621.56	1 Hari (2 Shift)
	Rata-Rata	17.83	8.67	8701.89	492.56	

Dari hasil pengamatan, kecepatan dari pekerja cenderung mengalami peningkatan. Produktivitas lapangan bervariasi antara 435.09 kg/jam sampai 621.56 kg/jam dengan rata-rata 492.56 kg/jam. Faktor jumlah pekerja dan juga kondisi lapangan menjadi pengaruh yang besar dalam produktivitas pekerjaan.

3. Pemasangan Bekisting *Expose*

Pekerjaan pemasangan bekisting *expose* menggunakan sliding form. Instalasi sliding form dilakukan oleh 5 orang pekerja dengan 1 orang mandor. Waktu yang diperlukan untuk pemindahan bekisting *expose* rata-rata adalah selama 3 – 4 jam. Waktu lebih diperlukan jika memang memerlukan pemindahan rel sebagai pijakan dari sliding form.



Gambar 4.6 Sliding Form pada Pekerjaan Bekisting Expose untuk Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

Tabel 4.2 Produktivitas Pekerjaan Bekisting Expose pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Tanggal	Waktu (Jam)	Jumlah Pekerja (Orang)	Volume (m ²)	Produktivitas (m ² /jam)
1	05/09/2023	4	5	31.48	7.87
2	07/09/2023	4	5	31.48	7.87
3	11/09/2023	4	5	31.48	7.87
4	08/11/2023	3	5	31.48	10.49
5	10/11/2023	3	5	31.48	10.49
6	12/11/2023	3	5	31.48	10.49
	Rata-Rata	3.50	5.00	31.48	8.99

4. Pemasangan Waterstop

Pemasangan waterstop dilakukan bersamaan dengan pemasangan bekisting *non-expose*. Pemasangan waterstop dilakukan sepanjang potongan melintang dari setiap blok. Waktu instalasi dari waterstop bersamaan dengan instalasi bekisting *Non-expose*. Pemasangan dari waterstop membutuhkan waktu kurang lebih 15 menit – 30 menit sepanjang 6.74 m.



Gambar 4.7 Pekerjaan Pemasangan PVC Waterstop pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

5. Pemasangan Bekisting *Non-expose*

Pemasangan bekisting *non-expose* pada artikel ini dibagi menjadi 2, penggunaan bekisting konvensional (kayu) dan penggunaan kawat ayam (*Chicken net*). Penggunaan kawat ayam (*chicken net*) digunakan sebagai metode percepatan dan juga kemudahan dalam instalasi. Pada instalasi bekisting konvensional diperlukan waktu instalasi selama 16 jam, sedangkan dengan menggunakan *chicken net*, instalasi dilakukan hanya dalam waktu 8 jam.



Gambar 4.8 Pekerjaan Pemasangan Bekisting Non Expose (Konvensional) pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

Tabel 4.3 Produktivitas Pekerjaan Bekisting Non-Expose pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Tanggal	Waktu(Jam)	Jumlah Pekerja (Orang)	Volume (m2)	Produktivitas (m2/jam)
1	05/09/2023	14	9	12.89	0.92
2	07/09/2023	14	9	12.89	0.92
3	11/09/2023	12	9	12.89	1.07
	Rata-Rata	13.33	9.00	12.89	0.97

6. Pengecoran

Setelah semua siap, dan telah disetujui oleh konsultan maupun pemberi kerja, pengecoran dapat dilakukan. Pengecoran dilakukan dengan spesifikasi yang telah disetujui

oleh konsultan dan pemberi kerja. Campuran yang digunakan pada pekerjaan pengecoran Beton K-300 untuk lokasi lower terowong pelimpah adalah untuk 1 m³ beton, diperlukan 0.62 m³ Pasir, 0.65 m³ Split 1-2, 500 kg Semen, dan 3.5 kg Sikamen LN. Slump yang digunakan pada campuran beton untuk lower terowong bangunan pelimpah menggunakan slump flow bernilai 35 – 45 dengan nilai yang seringkali digunakan 40. Slump flow adalah diameter dari rata-rata diameter yang diambil dari dua arah. Besar perbedaan antara dua diameter yang didapat menandakan tidak meratanya tingkat permukaan (Irfani Asraar, 2016). Produktivitas dari proses pengecoran di blok 21-50 terowong spillway adalah sebagai berikut.



Gambar 4.9 Pekerjaan Pemasangan Pengecoran Beton K-300 pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

Tabel 4.4 Produktivitas Pengecoran Beton K-300 pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Tanggal	Waktu Pengerjaan (Jam)	Jumlah Pekerja (Orang)	Volume (m)	Produktivitas (m ³ /jam)	Keterangan
1	08/09/2023	5	15	77.33	15.47	Jumlah TM: 4
2	13/09/2023	4	15	77.33	19.33	Jumlah TM: 4
3	12/09/2023	4	15	77.33	19.33	Jumlah TM: 4
4	09/11/2023	4	15	77.33	19.33	Jumlah TM: 4
5	11/11/2023	3	15	77.33	25.78	Jumlah TM: 4
6	13/11/2023	3	15	77.33	25.78	Jumlah TM: 4
	Rata-Rata	3.83	8.67	31.48	20.17	

Produktivitas dari pengecoran sendiri tidak luput dari produktivitas batching plant, agitator truck, dan concrete pump yang digunakan. Dari hasil pengamatan, produktivitas untuk batching plant, agitator truck, dan concrete pump adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Produktivitas Batching Plant saat Pengecoran Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

URAIAN PEKERJAAN	BP 1			BP 2			RATA-RATA	
	MENIT	DETIK	TOTAL DETIK	MENIT	DETIK	TOTAL DETIK	DETIK	MENIT
ISI AIR	4	0	240	4	19	259	249.5	4.16
WAKTU KOSONG	1	10	70	1	28	88	79	1.32
ISI SEMEN	3	43	223	4	6	246	234.5	3.91
WAKTU KOSONG	1	46	106	2	8	128	117	1.95
ISI AGGREGAT	7	3	423	7	8	428	425.5	7.09
TOTAL			1062			1149	1105.5	18.425

Penuangan kedalam agitator truck sebesar 6 m³ membutuhkan waktu isi rata-rata sebesar 18.425 menit atau 0.31 jam, didapatkan produktivitas sebesar 19.54 m³/jam. Produktivitas tersebut bukanlah waktu efektif dari batching plant tsb, karena diperlukan banyak mobilisasi agitator truck di batching plant, sehingga waktu kosong pada batching plant dapat diminimalisir. Penulis memperkirakan produktivitas efektif dari batching plant dapat mencapai 23.75 m³/jam, atau meningkat 4.21 m³/jam.

Tabel 4.6 Produktivitas Agitator Truck saat Pengecoran Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

URAIAN PEKERJAAN	AT 1			AT 2			RATA-RATA	
	MENIT	DETIK	TOTAL DETIK	MENIT	DETIK	TOTAL DETIK	DETIK	MENIT
PERJALANAN TR-BR	2	0	120	2	0	120	120	2.00
WAKTU TUNGGU	4	0	240	5	2	302	271	4.52
ISI AIR	4	0	240	4	19	259	249.5	4.16
MOBILISASI LOKASI BP	1	10	70	1	28	88	79	1.32
ISI SEMEN	3	43	223	8	16	496	359.5	5.99
MOBILISASI LOKASI BP	3	52	232	2	8	128	180	3.00
ISI AGGREGAT	8	3	483	7	8	428	455.5	7.59
PERJALANAN BR-TR	4	29	269	4	57	297	283	4.72
WAKTU TUNGGU ANTRIAN TR	6	32	392	8	47	527	459.5	7.66
PENUANGAN	11	20	680	11	44	704	692	11.53
TOTAL			2949			3349	3149	52.48

Kapasitas concrete yang dibawa oleh agitator truck adalah sebesar 6 m³, dengan waktu tempuh rata-rata selama 52.48 menit atau 0.87 jam, didapatkan produktivitas agitator truck sebesar 6.86 m³/jam. Pengisian semen secara manual harus menjadi evaluasi kedepannya. Dengan penggunaan tangki semen (silo), penulis memperkirakan dapat meningkatkan produktivitas menjadi 10 m³/jam atau meningkat 3.14 m³/jam.

Tabel 4.7 Produktivitas Concrete Pump saat Pengecoran Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

Tanggal	Vol	Waktu Tembak			Produktivitas
	m ³	Menit	Detik	Total (dtk)	m ³ /jam
08/09/2023	6	11	20	680	31.76
13/09/2023	6	11	27	687	31.44
12/09/2023	6	10	9	609	35.47
09/11/2023	6	10	3	603	35.82
11/11/2023	6	12	16	736	29.35
13/11/2023	6	9	44	584	36.99
Rata-Rata		10.50	19.83	649.83	33.47

Untuk penembakan concrete menggunakan concrete pump dengan jarak tembak rata-rata sekitar 20 m, waktu tembak rata-rata selama 10' 50" sehingga didapatkan produktivitas sebesar 33.47 m³/jam. Hal tersebut merupakan waktu kotor penembakan. Waktu bersih yang dibutuhkan concrete pump dalam menembak beton sekitar 6' 33" sehingga menghasilkan produktivitas sebesar 54.96 m³/jam. Dari hasil pengamatan tersebut, didapatkan cycle time untuk pengecoran pada lower terowong spillway. Cycle time yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8 Simulasi Waktu Pekerjaan Sesuai Produktivitas

No	Uraian	Waktu (Jam)	Waktu (Hari)	1 Shift		2 Shift	
				Hari Ke-	Lembur (Jam)	Hari Ke-	Lembur (Jam)
1	Tulangan Beton Ulir	17.83	2.23	1 - 2	2	1	2
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	0.50	0.06	3		2	
3	Bekisting Expose	3.50	0.44	3		2	
4	Bekisting Non Expose	13.33	1.67	3 - 4	2	2	2
5	Beton K-300 (Tunnel)	3.83	0.48	5		3	
	Total	39.00	4.88				

Waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan bekisting *expose* maupun *non-expose* sudah termasuk bongkar dan pasang dari bekisting sebelumnya. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk *cycle time* pengecoran adalah 37.17 jam. Waktu tersebut belum termasuk waktu perkerasan beton yang telah ditentukan, yaitu 10 jam. Jika disimulasikan dengan asumsi pergerakan dilakukan secara berurut pada satu blok, dibutuhkan waktu pekerjaan selama 5 hari untuk pekerja 1 shift, atau 3 hari dengan 2 shift pekerja. Untuk saat ini di lapangan, terpantau pergerakan bergerak secara paralel, sehingga pada bulan November 2023, dapat dilakukan pengecoran 1-2 hari sekali.

7. Pemeliharaan Beton

Pemeliharaan beton dilakukan setelah pengecoran. Diketahui waktu pengerasan beton adalah 10 – 12 jam setelah selesainya pengecoran akhir. Kegiatan pemeliharaan beton yang umum dilakukan adalah proses perawatan beton (curing). Menurut Mulyono, dkk, (2011), perawatan (curing) beton adalah cara yang digunakan untuk menjaga kestabilan temperatur dan perubahan kelembaban di dalam maupun di luar beton, dan untuk membantu mempercepat proses hidrasi beton. Dikutip dari Jurnal Teknik Sipil, Vol. 11, No. 2, September 2022 (Adi T. M. Wila, 2022), menurut Nuryamsi (2005) secara umum perawatan beton dapat terbagi 2 metode:

- Metode perawatan basah

Metode perawatan basah memberikan air yang diperlukan oleh beton. Hal ini menjadikan kondisi beton selama perawatan selalu berhubungan langsung dengan air dalam jangka waktu tertentu, dimulai segera setelah permukaan beton tidak dapat lagi berubah bentuk.

- Metode perawatan membran

Metode perawatan membran melindungi air yang ada di dalam beton agar tidak keluar, tanpa menggunakan air tambahan dari luar beton untuk membantu berlangsungnya proses hidrasi. Metode ini disebut metode pengontrol air.



Gambar 4.10 Perawatan Beton (Curing) pada Beton K-300 Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

5. ANALISA DAN UPAYA

5.1. ANALISA

Analisa dilakukan berdasarkan hasil dari pengamatan lapangan penulis pada periode waktu September 2023 sampai dengan Desember 2023. Pengamatan meliputi metode yang digunakan, siklus waktu, dan produktivitas pada masing-masing kegiatan. Analisa

berfokus pada kegiatan pembesian, pemasangan bekisting *expose*, pemasangan bekisting non-ekspos, pemasangan waterstop, dan pengecoran. Analisa dilakukan dengan berpandangan pada waktu, mutu, dan biaya.

1. Analisa Harga Perkiraan Sendiri (HPS)

Analisa HPS menggunakan nilai dari produktivitas awal pengamatan yang telah dilakukan untuk masing-masing pekerjaan. Dari produktivitas, ditemukan koefisien yang kemudian akan dikalikan dengan harga satuan aktual pada Proyek Pembangunan Bendungan Bulango Ulu Paket II. HPS ini kemudian dapat digunakan sebagai acuan pekerjaan pada waktu-waktu berikutnya. Untuk perhitungan pada masing-masing pekerjaan adalah sebagai berikut.

A. Pembesian

Analisa HPS untuk pekerjaan tulangan beton ulir di terowong spillway adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1 HPS Tulangan Beton Ulir pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
I	Upah/Tenaga Kerja				
	- Mandor	OH	0.0015	210,000.00	316.00
	- Pekerja (Fabrikasi)	OH	0.0026	160,000.00	413.00
	- Pekerja (Pemasangan)	OH	0.0073	160,000.00	1,172.00
Sub Jumlah I					1,901.00
II	Bahan/Material				
	- Besi Tulangan Ulir	kg	1.0200	11,000.00	11,220.00
	- Kawat Bendrat	kg	0.0204	21,350.00	435.00
Sub Jumlah II					11,655.00
III	Peralatan				
	- Bar Bender	jam	0.0018	30,000.00	54.00
	- Bar Cutter	jam	0.0018	30,000.00	54.00
	- Dumptruck	jam	0.0003	120,000.00	41.00
	UHO	jam	0.0003	13,000.00	4.00
	Solar	Liter	0.0024	17,500.00	42.00
Sub Jumlah III					195.00
Jumlah					13,751.00

B. Pemasangan Bekisting *Expose*

Analisa HPS untuk pekerjaan bekisting *expose* di terowong spillway adalah sebagai berikut.

Tabel 5.2 HPS Bekisting *Expose* pada Lower Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
I	Upah/Tenaga Kerja				
	- Mandor	OH	0.0159	210,000.00	3,335.00
	- Pekerja	OH	0.0794	160,000.00	12,706.00
Sub Jumlah I					16,041.00
II	Bahan/Material				
	- Sliding Form Lower	LS	0.0011	253,000,000.00	267,894.00
	- Minyak Bekisting	liter	0.2000	19,700.00	3,940.00
Sub Jumlah II					271,834.00
III	Peralatan				
Sub Jumlah III					-
Jumlah					287,875.00

C. Pemasangan Bekisting *Non Expose*

Pada item pekerjaan bekisting *non-expose*, material yang digunakan berupa multiplex dan kayu kaso digunakan sebanyak 3 kali.

Tabel 5.3 HPS Bekisting *Non-expose* (*Konvensional*) pada Lower Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
I	Upah/Tenaga Kerja				
	- Mandor	OH	0.1358	210,000.00	28,510.00
	- Pekerja	OH	0.8146	160,000.00	130,333.00
Sub Jumlah I					158,843.00
II	Bahan/Material				
	- Multiplek	Lembar	0.1157	295,000.00	34,143.00
	- Kayu Kaso	m3	0.0187	3,035,715.00	56,666.00
	- Paku	kg	0.4073	21,000.00	8,553.00
	- Kawat BWG	kg	0.4073	30,000.00	12,218.00
	- Minyak Bekisting	Liter	0.2000	19,700.00	3,940.00
Sub Jumlah II					115,520.00
III	Peralatan				
	- Dumptruck	jam	0.0174	120,000.00	2,083.00
	- UHO	jam	0.0174	13,000.00	225.00
	- Solar	jam	0.1215	17,500.00	2,126.00
Sub Jumlah III					4,434.00
Jumlah					278,797.00

D. Pemasangan Waterstop

Analisa HPS untuk pekerjaan PVC waterstop di terowong spillway adalah sebagai berikut.

Tabel 5.4 HPS PVC Waterstop pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
I	Upah/Tenaga Kerja				
	- Mandor	OH	0.0056	210,000.00	1,168.00
	- Pekerja	OH	0.0278	160,000.00	4,451.00
Sub Jumlah I					5,619.00
II	Bahan/Material				
	- Waterstop	m	1.0500	190,000.00	199,500.00
Sub Jumlah II					199,500.00
III	Peralatan				
Sub Jumlah III					-
Jumlah					205,119.00

E. Beton K-300

Untuk pekerjaan Beton K-300, Analisa HPS untuk pekerjaan beton K-300 di terowong spillway adalah sebagai berikut.

Tabel 5.5 HPS Beton K-300 pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
I	Upah/Tenaga Kerja				
	- Mandor	OH	0.0081	210,000.00	1,697.00
	- Pekerja	OH	0.1212	160,000.00	19,398.00
Sub Jumlah I					21,095.00
II	Bahan/Material				
	- Pasir	m ³	0.62	155,000.00	96,100.00
	- Split 1-2	m ³	0.65	315,000.00	204,750.00
	- Semen	kg	500.00	1,576.58	788,290.00
	- Sikamen LN	kg	3.50	20,625.00	72,187.00
Sub Jumlah II					1,161,327.00
III	Peralatan				
	- Agitator Truck	jam	0.1458	187,500.00	27,335.00
	UHO	jam	0.1458	9,500.00	1,384.00
	Solar	Liter	1.8223	17,500.00	31,890.00
	- Concrete Pump	jam	0.0512	302,100.00	15,461.00
	UHO	jam	0.0512	33,500.00	1,714.00
	Solar	Liter	0.6398	17,500.00	11,195.00
	- Batching Plant	jam	0.0512	170,000.00	8,700.00
UHO	jam	0.0512	12,500.00	639.00	

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
	Solar	Liter	1.6122	17,500.00	28,213.00
Sub Jumlah III					126,531.00
Jumlah					1,308,953.00

Tabel 5.6 Rekapitulasi HPS Tulangan Beton Ulir pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Uraian	Pendapatan			RBP			HPS		
		Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat
1	Tulangan Beton Ulir	4,705	19,012	1,610	25,327	3,500	14,860	217	18,578	1,901
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	10,285	144,952	660	155,897	5,500	170,736	1,000	177,236	5,619
3	Bekisting <i>Expose</i>	62,489	260,287	14,968	337,744	20,096	278,471	-	298,567	16,041
4	Bekisting Non <i>Expose</i>	62,489	94,179	14,968	171,636	60,000	70,823	4,986	135,808	158,843
5	Beton K-300 (Tunnel)	344,850	1,210,437	170,834	1,726,121	75,000	1,016,424	147,609	1,239,033	21,095

Tabel 5.7 Rekapitulasi Selisih HPS Tulangan Beton Ulir pada Lower Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Uraian	Pendapatan - RBP (Rp.)				Pendapatan - HPS (Rp.)				RBP - HPS (Rp.)			
		Upah	Material	Alat	Total	Upah	Material	Alat	Total	Upah	Material	Alat	Total
1	Tulangan Beton Ulir	1,205	4,152	1,393	6,749	2,804	7,357	1,415	11,576	1,599	3,205	22	4,827
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	4,785	- 25,784	-340	- 21,339	4,666	- 54,548	660	- 49,222	-119	- 28,764	1,000	- 27,883
3	Bekisting <i>Expose</i>	42,393	- 18,184	14,968	39,177	46,448	- 11,547	14,968	49,869	4,055	6,637	-	10,692
4	Bekisting Non <i>Expose</i>	2,489	23,356	9,982	35,828	- 96,354	- 21,341	10,534	- 107,161	- 98,843	- 44,697	552	- 142,989
5	Beton K-300 (Tunnel)	269,850	194,013	23,225	487,088	323,755	49,110	44,303	417,168	53,905	- 144,903	21,078	- 69,920

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, perbandingan antara Pendapatan-RBP-HPS dapat dilihat dari tabel di atas. Nilai bervariasi, dan beberapa menghasilkan nilai HPS yang lebih besar dibandingkan dengan RBP bahkan pendapatan. Kontrol dan improvisasi lapangan diperlukan agar biaya tetap terjaga. Diketahui untuk pekerjaan 1 blok lower terowong spillway mendapatkan pendapatan sebesar Rp. 367,761,540, biaya pada RBP sebesar Rp. 269,813,584, dan berdasarkan nilai HPS sebesar Rp. 234,913,853.

2. Analisa Aktual

Analisa biaya aktual dihitung berdasarkan satuan per-blok. Desain pada terowong spillway untuk blok 21 – 50 adalah desain tipikal dengan spesifikasi yang sama per-bloknya. Analisa dilakukan per-item pekerjaan dan kemudian disatukan dan dibandingkan dengan nilai pendapatan, RBP, dan HPS yang telah dibuat. Analisa biaya aktual per-item pekerjaan adalah sebagai berikut.

A. Pembesian

Analisa biaya aktual per-blok m untuk item pekerjaan Besi Tulangan Ulir pada lower terowong spillway blok 21-50 adalah sebagai berikut.

Tabel 5.8 Analisa Biaya Aktual Per-Blok Pekerjaan Tulangan Beton Ulir

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1	UPAH				15,825,000
A	Jam Efektif				
	Mandor	Hari	2	210,000	420,000
	Pekerja	Hari	18	160,000	2,880,000
	Mandor (Fabrikasi & Langsir)	Hari	10.00	210,000	2,100,000
	Pekerja (Fabrikasi & Langsir)	Hari	60.00	160,000	9,600,000
B	Lembur				
	Mandor	Jam	2	15,000	30,000
	Pekerja	Jam	18	15,000	270,000
	Mandor (Fabrikasi & Langsir)	Jam	5	15,000	75,000
	Pekerja (Fabrikasi & Langsir)	Jam	30	15,000	450,000
2	Material				99,457,040
	Besi Tulangan Ulir	kg	8701.89	11,000	95,720,790
	Kawat Bendrat	kg	175	21,350	3,736,250
3	Alat				1,471,000
	Bar Bender	Jam	16	30,000	480,000
	Bar Cutter	Jam	16	30,000	480,000
	Dumptruck	Jam	2	120,000	240,000
	UHO	Jam	2	13,000	26,000
	Solar	Liter	14	17,500	245,000
TOTAL					116,753,040

B. Pemasangan Bekisting *Expose*

Analisa biaya aktual per-blok m untuk item pekerjaan bekisting *expose* pada lower terowong spillway blok 21-50 dengan menggunakan sliding form adalah sebagai berikut.

Tabel 5.9 Analisa Biaya Aktual Per-Blok Pekerjaan Bekisting *Expose*

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1	UPAH				441,875
A	Jam Efektif				
	Mandor	Hari	0.44	210,000	91,875
	Pekerja	Hari	2.19	160,000	350,000
2	Material				8,492,433
	Sliding Form	LS/m2	31.48	267,895	8,433,333
	Minyak Bekisting	Liter	3.00	19,700	59,100
3	Alat				-
TOTAL					8,934,308

C. Pemasangan Bekisting *Non-expose*

Analisa biaya aktual per-blok m untuk item pekerjaan bekisting *non-expose* pada lower terowong spillway blok 21-50 adalah sebagai berikut.

Tabel 5.10 Analisa Biaya Aktual Per-Blok Pekerjaan Bekisting *Non-expose* (Konvensional)

BEKISTING KONVENSIONAL						
No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah	Keterangan
1	UPAH				1,953,900	
A	Jam Efektif					
	Mandor	Hari	1.67	210,000	350,700	
	Pekerja	Hari	10.02	160,000	1,603,200	
2	Material				1,483,416	
	Multiplek	Lembar	1.50	295,000	442,500	4.5 lbr, pemakaian 3x 52 btg, pemakaian 3x
	Kayu Kaso	Batang	17.33	42,500	736,666	
	Paku	kg	5.00	21,000	105,000	
	Kawat BWG	kg	5.00	30,000	150,000	
	Minyak Bekisting	Liter	2.50	19,700	49,250	
3	Alat				31,937	
	Dumptruck	Jam	0.125	120,000	15,000	
	UHO	Jam	0.125	13,000	1,625	
	Solar	Liter	0.875	17,500	15,312	
TOTAL					3,469,253	

D. Pemasangan Waterstop

Analisa biaya aktual per-blok m untuk item pekerjaan waterstop pada lower terowong spillway blok 21-50 adalah sebagai berikut.

Tabel 5.11 Analisa Biaya Aktual Per-Blok Pekerjaan PVC Waterstop

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1	UPAH				38,025
A	Jam Efektif				
	Mandor	Hari	0.0325	210,000	6,825
	Pekerja	Hari	0.1950	160,000	31,200
2	Material				1,280,600
	Waterstop	m	6.74	190,000	1,280,600
3	Alat				-
TOTAL					1,318,625

E. Beton K-300

Analisa biaya aktual per-blok m untuk item pekerjaan Beton K-300 pada lower terowong spillway blok 21-50 adalah sebagai berikut.

Tabel 5.12 Analisa Biaya Aktual Per-Blok Pekerjaan Beton K-300 Lower

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1	UPAH				1,252,800
A	Jam Efektif				
	Mandor	Hari	0.48	210,000	100,800
	Pekerja	Hari	7.20	160,000	1,152,000
2	Material				89,573,724
	Pasir	m3	47.00	155,000	7,285,000
	Split 1-2	m3	50.00	315,000	15,750,000
	Semen	kg	38662.00	1,577	60,969,974
	Sikamen LN	kg	270.00	20,625	5,568,750
3	Alat				8,038,000
-	Agitator Truck	Jam	5	187,500	937,500
	UHO	Jam	5	9,500	47,500
	Solar	Jam	35	17,500	612,500
-	Concrete Pump	Jam	5	302,100	1,510,500
	UHO	Jam	5	33,500	167,500
	Solar	Jam	62.5	17,500	1,093,750
-	Batching Plant	Jam	5	170,000	850,000
	UHO	Jam	5	12,500	62,500
	Solar	Jam	157.5	17,500	2,756,250
TOTAL					98,864,524

Setelah dilakukan analisa aktual, hasil analisa dibandingkan dengan nilai HPS awal yang telah dibuat. HPS dilakukan pada proses awal penulis datang, sedangkan untuk data aktual menggunakan nilai rata-rata hasil pengamatan. Perbandingan antara nilai HPS dan aktual per-blok adalah sebagai berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Analisa Biaya Aktual Per-Blok pada Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway) (HPS - Biaya Aktual)

No	Uraian	HPS (Rp.)				Biaya Aktual (Rp.)				HPS - Biaya Aktual (Rp.)			
		Upah	Material	Alat	Total	Upah	Material	Alat	Total	Upah	Material	Alat	Total
1	Tulangan Beton Ulir	16,542,293	101,420,528	1,696,869	119,659,689	15,825,000	99,457,040	1,471,000	116,753,040	717,293	1,963,488	225,869	2,906,649
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	37,872	1,344,630	-	1,382,502	38,025	1,280,600	-	1,318,625	-153	64,030	-	63,877
3	Bekisting Expose	504,971	8,557,334	-	9,062,305	441,875	8,492,433	-	8,934,308	63,096	64,901	-	127,997
4	Bekisting Non Expose	2,047,486	1,469,053	57,154	3,593,693	1,953,300	1,463,416	31,937	3,469,253	93,586	5,637	25,217	124,440
5	Beton K-300 (Tunnel)	1,631,185	89,800,384	9,784,094	101,215,663	1,232,800	89,573,724	8,038,000	98,864,524	378,385	226,660	1,746,094	2,351,139

Dari tabel di atas, diketahui kecepatan pekerja yang meningkat dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan. Pada nilai HPS, 1 blok pekerjaan lower terowong spillway memerlukan biaya sebesar Rp. 234,913,853, untuk biaya aktual yang diperlukan adalah

sebesar Rp. 229,339,750. Selisih biaya yang dihasilkan adalah sebesar Rp. 5,574,103. Setelah dilakukan perbandingan terhadap HPS sendiri, dilakukan perbandingan dengan pendapatan dan RBP. Perbandingan nilai yang dihasilkan antara pendapatan, RBP, dan aktual perbloknya adalah sebagai berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Analisa Biaya Aktual Per-Blok pada Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway) (Pendapatan – RBP – Aktual)

No	Uraian	Sat	Vol	Pendapatan (Rp.)			RBP (Rp.)			Biaya Aktual (Rp.)					
				Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat	Total		
1	Tulangan Beton Ulir	kg	8701.89	40.942.392	165.440.333	14.010.043	220.392.768	30.456.615	129.312.718	1.891.173	161.660.505	15.825.000	99.457.040	1.471.000	116.753.040
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	m	6.74	69.321	976.976	4.448	1.050.746	37.070	1.150.757	6.740	1.194.567	38.025	1.280.600	-	1.318.625
3	Bekisting Expose	m ²	31.48	1.967.154	8.193.835	471.193	10.632.181	632.617	8.766.268	-	9.398.885	441.875	8.492.433	-	8.934.308
4	Bekisting Non Expose	m ²	12.89	805.483	1.213.967	192.938	2.212.388	773.400	912.904	64.264	1.750.568	1.953.900	1.483.416	31.397	3.469.253
5	Beton K-300 (Tunnel)	m ³	77.33	26.665.756	93.597.848	13.209.853	133.473.457	5.799.425	78.595.883	11.413.950	95.809.057	1.252.800	89.573.724	8.038.000	98.864.524

Tabel 5.15 Rekapitulasi Selisih Biaya Aktual Per-Blok pada Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway) (Pendapatan – RBP – Biaya Aktual)

No	Uraian	Sat	Vol	Pendapatan - RBP (Rp.)			Pendapatan - Biaya Aktual (Rp.)			RBP - Biaya Aktual (Rp.)					
				Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat	Total		
1	Tulangan Beton Ulir	kg	8701.89	10.485.777	36.127.615	12.118.870	58.732.263	25.117.392	65.983.293	12.539.043	103.639.728	14.631.615	29.855.678	420.173	44.907.465
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	m	6.74	32.251	173.781	2.292	143.822	31.296	303.624	4.448	267.879	955	129.843	6.740	124.058
3	Bekisting Expose	m ²	31.48	1.334.536	572.433	471.193	1.233.296	1.525.279	298.598	471.193	1.697.873	190.742	273.835	-	464.577
4	Bekisting Non Expose	m ²	12.89	32.083	301.063	128.674	461.820	1.148.417	269.449	161.001	1.256.865	1.180.500	570.512	32.327	1.718.685
5	Beton K-300 (Tunnel)	m ³	77.33	20.866.331	15.002.165	1.795.903	37.664.400	25.412.956	4.024.124	5.171.853	34.608.933	4.546.625	10.978.041	3.375.950	3.055.467

Dari tabel diatas, pendapatan yang didapatkan dari pekerjaan 1 blok lower terowong spillway adalah sebesar Rp. 367,761,540. Nilai pada RBP untuk pekerjaan 1 blok lower terowong spillway adalah sebesar Rp. 269,813,584. Nilai biaya aktual yang diperlukan untuk pekerjaan 1 blok lower terowong spillway adalah sebesar Rp. 234,913,853. Dari hasil tersebut, pada 1 blok pekerjaan lower terowong spillway dapat menghasilkan keuntungan sebesar Rp. 138,421,790 atau sekitar 37% dari pendapatan. Hasil tersebut merupakan nilai maksimal, belum termasuk biaya-biaya tak terduga lainnya, seperti pembersihan, pemeliharaan, overbreak, dan lainnya. Perlu diketahui bahwa nilai overbreak terbesar yang terjadi bisa mencapai 9.1 % pada lower, dan lebih besar pada pekerjaan upper.

Tabel 5.16 Harga Material pada Masing-Masing Dokumen (Kontrak – RBP – Realisasi)

MATERIAL	SAT	KONTRAK	RBP	REALISASI
Pasir	m3	112,200.00	141,750.00	155,000.00
Split 1-2	m3	244,800.00	275,000.00	315,000.00
Semen	kg	1,730.00	1,689.19	1,576.58
Sikamen LN	kg	-	67,642.54	20,625.00
Sika Viscocrete	kg	-	67,642.54	47,759.43
Besi Ulir	kg	16,300.00	13,662.19	11,000.00
Bekisting <i>Non-expose</i>	m2	171,636.00	135,808.22	30,556.00
Solar	ltr	13,400.00	22,175.00	17,500.00
Waterstop	m	125,500.00	162,605.26	190,000.00

Beberapa item pekerjaan menghasilkan biaya aktual yang lebih besar dibandingkan dengan pendapatan dan RBP, baik upah, material, ataupun alat. Upah sendiri dipengaruhi oleh produktivitas lapangan dan harga upah perorangan. Untuk harga material, dapat dilihat dari tabel di atas. Harga aktual saat ini lebih besar dibandingkan dengan kontrak dan RBP. Alat sangat dipengaruhi oleh produktivitas lapangan, mulai dari armada, kondisi lapangan, cuaca, dan lainnya.

5.2. UPAYA PERCEPATAN

Upaya percepatan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

- A. Penambahan Personil
- B. Penambahan Shift
- C. Penggunaan material alternatif (*chicken net*) untuk Bekisting *Non-expose*

Penggunaan *chicken net* sebagai bekisting *non-expose* pada pekerjaan beton dapat dijadikan alternatif. Pengaplikasian *chicken net* dapat mempermudah pengerjaan di lapangan. Kelebihan dan kekurangan penggunaan *chicken net* adalah sebagai berikut.

Kelebihan penggunaan *chicken net*:

- Lebih mudah dikerjakan dibandingkan bekisting konvensional (kayu)
- Dapat dikerjakan pada celah sempit dengan jauh lebih mudah
- Instalasi lebih cepat dibandingkan dengan bekisting konvensional
- Memudahkan mobilisasi material karena dimensi material lebih kecil dibandingkan bekisting konvensional
- Secara kesatuan bekisting, penggunaan *chicken net* lebih murah

Kekurangan penggunaan *chicken net*:

- Terdapat mortar yang lolos dari lokasi pengecoran (Approx. 1.11 %)
- Terdapat material yang tidak dapat digunakan kembali (*chicken net* dan beberapa besi penyangga)



Gambar 5.1 Penggunaan *Chicken net* sebagai Material Alternatif untuk Pekerjaan Bekisting Non-expose pada Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

Penggunaan *chicken net* sebagai bekisting *expose* menggunakan material Kawat Loket PVC (Uk. 1/4 Inch x 10 mtr). *Chicken net* yang digunakan sebanyak 2 lapis dengan penyangga berupa besi ulir. Besi ulir yang digunakan bervariasi, pada kondisi aktual lapangan didominasi oleh besi ulir D13 yang sebagian besar merupakan waste dari fabrikasi besi. Produktivitas pekerjaan bekisting *non-expose* dengan menggunakan *chicken net* adalah sebagai berikut.

Tabel 5.17 Produktivitas Pekerjaan Bekisting Non-expose dengan Menggunakan *Chicken Net* di Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Tanggal	Waktu (Jam)	Jumlah Pekerja (Orang)	Volume (m ²)	Produktivitas (m ² /jam)
4	08/11/2023	7	9	12.89	1.84
5	10/11/2023	6	9	12.89	2.15
6	12/11/2023	6	9	12.89	2.15
	Rata-Rata	6.33	9.00	12.89	2.04

Tabel 5.18 Simulasi Waktu Pekerjaan di Lower Bangunan Pelimpah (Spillway) setelah Menggunakan *Chicken Net* sebagai Bekisting Non-Expose

No	Uraian	Waktu (Jam)	Waktu (Hari)	1 Shift		2 Shift	
				Hari Ke-	Lembur (Jam)	Hari Ke-	Lembur (Jam)
1	Tulangan Beton Ulir	17.83	2.23	1 - 2	2	1	2
2	PVC waterstop, uk. 320 mm	0.50	0.06	3		2	
3	Bekisting Expose	3.50	0.44	3		2	
4	Bekisting Non Expose	6.33	0.79	3	4	2	4
5	Beton K-300 (Tunnel)	3.83	0.48	4		3	
	Total	32.00	4.00				

Dari hasil pengamatan dan perhitungan, penggunaan *chicken net* sebagai material bekisting *non-expose* dapat mengurangi siklus pekerjaan selama 8 jam (1 shift) kerja. Selanjutnya dilakukan analisa terkait penggunaan *chicken net* untuk menghasilkan Harga Perkiraan Sendiri (HPS). Penggunaan besi sebagai penyangga *chicken net* dapat digunakan secara berulang. Pada kondisi aktual lapangan, hampir semua besi penyangga dapat digunakan secara berulang dan menerus. Perhitungan analisa HPS untuk pekerjaan bekisting *non-expose* dengan menggunakan *chicken net* adalah sebagai berikut.

Tabel 5.19 HPS Pekerjaan Bekisting Non-expose dengan Chicken net pada Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

NO.	URAIAN	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
I	Upah/Tenaga Kerja				
	- Mandor	OH	0.0679	210,000.00	14,255.00
	- Pekerja	OH	0.4073	160,000.00	65,166.00
Sub Jumlah I					79,421.00
II	Bahan/Material				
	- Loket PVC (<i>chicken net</i>)	m2	2.0150	32,800.00	66,092.00
	- Besi Tulangan Ulir	kg	0.6951	11,000.00	7,646.00
	- Kawat BWG	kg	0.3879	30,000.00	11,636.00
Sub Jumlah II					85,374.00
III	Peralatan				
	- Dumptruck	jam	0.0174	120,000.00	2,083.00
	- UHO	jam	0.0174	13,000.00	225.00
	- Solar	jam	0.1215	17,500.00	2,126.00
Sub Jumlah III					4,434.00
Jumlah					169,229.00

Tabel 5.20 Perbandingan Bekisting Non-expose Konvensional vs Chicken net

No	Uraian	KONVENSIONAL (1) [Rp.]			CHICKEN NET (2) [Rp.]			(1) - (2) = (3) [Rp.]		
		Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat	Upah	Material	Alat
1	Bekisting Non-Ekspos	158,843	115,520	4,434	79,421	85,374	4,434	79,422	30,146	-

Dari hasil analisa HPS di atas, total HPS untuk bekisting konvensional adalah sebesar Rp. 278,797 dan untuk HPS bekisting dengan menggunakan *chicken net* adalah sebesar Rp. 169,229. Efisiensi yang dihasilkan adalah sebesar Rp. 109,568. Setelah dilakukannya penilaian terhadap HPS, dilakukan simulasi untuk pekerjaan 1 blok. Simulasi tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 5.21 Analisa Biaya Aktual Pekerjaan Bekisting Non-Expose dengan Menggunakan Chicken Net di Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah	Keterangan
1	UPAH				936,000	
A	Jam Efektif					
	Mandor	Hari	0.80	210,000	168,000	
	Pekerja	Hari	4.80	160,000	768,000	
2	Material				1,091,506	
	Chicken Net	m2	26.00	32,800	852,800	2 Lapis
	Besi Penyangga	kg	8.96	9,900	88,706	179.204 kg, Pemakaian Berulang
	Kawat BWG	kg	5.00	30,000	150,000	
3	Alat				31,937	
	Dumptruck	Jam	0.125	120,000	15,000	
	UHO	Jam	0.125	13,000	1,625	
	Solar	Liter	0.875	17,500	15,312	
TOTAL					2,059,443	

Dari hasil analisa di atas, penggunaan *chicken net* dapat mengurangi biaya untuk pekerjaan bekisting *non-expose* di lower terowong spillway blok 21-50. Hasil simulasi pekerjaan bekisting *non-expose* konvensional (kayu) adalah sebesar Rp. 3,469,253, sedangkan untuk penggunaan bekisting dari *chicken net* adalah sebesar Rp. 2,059,443. Dari hasil analisa tersebut, pada pekerjaan bekisting *non-expose* untuk 1 blok dapat menghemat sebesar Rp. 1,409,810.

Hasil analisa waktu dan biaya menyimpulkan bahwa penggunaan *chicken net* lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan bekisting konvensional. Selain dari waktu dan biaya, mutu merupakan hal yang wajib dipenuhi penyedia jasa. Mutu atau kualitas beton merupakan suatu hal yang wajib diperhatikan dalam pekerjaan. Pada artikel ini dilakukan pengujian kuat beton dengan menggunakan *hammer test* pada pekerjaan beton untuk mengetahui apakah penggunaan *chicken net* memengaruhi kualitas dari beton itu sendiri.

Dikutip dari Jurnal Perkiraan Kekuatan (Mutu) Beton Tanpa Merusak Beton (Pengujian Kuat Tekan Beton dengan *Hammer test*) (Syahdana, Muhammad Zaka, 2021),

pengujian beton dengan cara *hammer test* dinilai paling sederhana, ringan, murah dan mudah dilakukan (Pramita, 2019). Jarak pantulan suatu massa terkalibrasi (yang digerakkan oleh pegas) yang mengenai permukaan beton uji digunakan sebagai kriteria kekerasan beton (Lestari & Puspaningrum, 2021). Kemudian kekerasan beton ini dihubungkan dengan kuat-tekan beton normal, sehingga apabila kekerasan beton tidak relevan dengan kekuatan tekan beton normal, maka hasil pengujian dengan alat ini perlu dilakukan kalibrasi tersendiri (Pramita & Sari, 2020). Alat ini menganggap bahwa beton cukup homogen, sehingga perubahan mutu beton di bagian dalam tidak dapat ditunjukkan oleh alat ini. Semakin banyak titik pengamatan, semakin baik hasil yang diperoleh (Lestari & Aldino, 2020). Secara umum alat ini bisa digunakan untuk (Pramita et al., n.d.):

- Memeriksa keseragaman kualitas beton pada struktur.
- Mendapatkan perkiraan kuat tekan beton.
- Mengoreksi hasil pengujian benda uji beton (silinder/kubus)

Kelebihan *hammer test* yaitu :

- Pengukuran bisa dilakukan dengan cepat.
- Mudah diaplikasikan.
- Tidak merusak struktur/bangunan.
- Murah dari segi biaya.

Kekurangan dalam penggunaan alat uji *Hammer test* yaitu (A. Fitri et al., 2017):

- Hasil pengujian dipengaruhi oleh kerataan permukaan, kelembaban beton, sifat-sifat dan jenis agregat kasar, derajat karbonisasi, umur beton dan titik pengambilan sampel pengetesan.
- Sulit mengkalibrasi hasil pengujian.
- Tingkat keakurasian hasil pengujiannya rendah.
- Hanya memberikan informasi kekuatan karakteristik beton pada permukaan struktur.

Pengujian dilaksanakan pada beton yang berusia 28 hari atau lebih. Pengujian dilakukan pada 2 blok dimana blok tersebut pada saat proses pekerjaan menggunakan

bekisting konvensional dan lainnya menggunakan bekisting dari *Chicken net*. Untuk dokumentasi dan hasil pengujian *hammer test* adalah sebagai berikut.



Gambar 5.2 Pengujian Mutu Beton K-300 pada Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

Pengujian dilakukan pada 2 area pada masing-masing blok dengan jumlah 6 titik pada masing-masing area. Alat *hammer test* bisa digunakan sampai dengan 2024. Hasil test adalah sebagai berikut.

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR BALAI WILAYAH SUNGAI SULAWESI II GORONTALO SIVIT PEMBANGUNAN BENDUNGAN DWS SULAWESI II		YK	PT. YODYA KARYA (Persero) (KSO) PT. INDRA KARYA (Persero) PT. MULTI KARADIGUNA JASA	KASTARA PT BRANTAS ABIPRAYA - PT BUNH KARSA - PT ISTAKA RAYA KSO		
HAMMER TEST BETON						
Lokasi : Blok 27 Inlet Pelimpah		Di Uji Oleh : Lab PT Brantas Abipraya (Persero)				
Tanggal :		Merek dan No Seri Alat : Matest S.p.A dan C380/AU1010				
ELEMEN STRUKTUR		BANGUNAN TEROWONG PELIMPAH				
SUDUT PUKULAN	30°	UMUR	TARGET MUTU (Kg/cm ²)	Tipe Beton		
NO BLOK BETON	27					
NILAI LENTING PALU BETON (R)	1	32	34	28 Hari	240	Beton K300
	2	36	32	28 Hari	240	Beton K300
	3	34	34	28 Hari	240	Beton K300
	4	36	38	28 Hari	240	Beton K300
	5	32	38	28 Hari	240	Beton K300
	6	34	38	28 Hari	240	Beton K300
R MAKSIMUM		36	38			
R MINIMUM		32	32			
R RATA-RATA		34	36			
STADART DEVIASI						
MAKSIMUM KUAT TEKAN BETON (Kg/cm ²)		307,9	328,9		240	
MINIMUM KUAT TEKAN BETON (Kg/cm ²)		320,9	326,9		240	
RATA-RATA KUAT TEKAN BETON (Kg/cm ²)		316,8	307,9		240	

Gambar 5.3 Hasil Pengujian Betok K-300 Blok 27 Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

Pengujian *hammer test* beton pada lower terowong spillway yang dalam prosesnya menggunakan bekisting non *expose* konvensional terletak di Blok 27. Area pertama dilakukannya test pada Blok 27 menghasilkan nilai terendah 32, tertinggi 36, dengan nilai

rata-rata 34. Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan nilai terendah sebesar 326.4 kg/cm², tertinggi 387,4 kg/cm², dan rata-rata sebesar 346.8 kg/cm². Pengujian *hammer test* beton pada area kedua menghasilkan nilai terendah 32, tertinggi 38, dengan nilai rata-rata 36. Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan nilai terendah sebesar 326.4 kg/cm², tertinggi 387,4 kg/cm², dan rata-rata sebesar 346.8 kg/cm². Nilai minimum yang diharuskan untuk Beton K-300 adalah sebesar 240 kg/cm², sehingga untuk semua hasil test pada Blok 27 dinyatakan sesuai atau bahkan melewati spesifikasi seharusnya.

KEPENTINGAN PERIKLAMAN LINDUNG DAN PERSEKUTUAN BAYAN DIBERKORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR DALAM WILAYAH SUNGAI SLEWESI II CONCEPT SNVY PEMBANGUNAN BENDUNGAN DWS SULAWESI II		PT. YODYA KARYA (Persero) (KSO) PT. INDRA KARYA (Persero) PT. MULTI KARADIGUNA JASA		PT BRANTAS ABIPRAYA - PT BEM KARSA - PT ISTAKA RAYA KSO		
HAMMER TEST BETON						
Lokasi : Block 25 Invef+ Pelimpah		Di Uji Oleh : Lab PT Brantas Abipraya (Persero)				
Tanggal :		Merek dan No Seri Alat : Matest S.p.A dan C380/AU1010				
ELEMEN STRUKTUR		BANGUNAN TEROWONG PELIMPAH				
SUDUT PUKULAN	90°	UMUR		TARGET MUTU (Kg/cm ²)		
NO BLOK BETON	35	Tipe Beton				
NILAI LENTING PALU BETON (R)	1	32	32	28 Hari	240	Beton K300
	2	36	34	28 Hari	240	Beton K300
	3	36	32	28 Hari	240	Beton K300
	4	32	34	28 Hari	240	Beton K300
	5	34	34	28 Hari	240	Beton K300
	6	32	32	28 Hari	240	Beton K300
R MAKSIMUM		36	34			
R MINIMUM		32	32			
R RATA-RATA		34	33			
STADART DEVIASI						
MAKSIMUM KUAT TEKAN BETON (Kg/cm ²)		387,4	346,8		240	
MINIMUM KUAT TEKAN BETON (Kg/cm ²)		326,4	326,4		240	
RATA-RATA KUAT TEKAN BETON (Kg/cm ²)		346,8	336,6		240	

Gambar 5.4 Hasil Pengujian Betok K-300 Blok 35 Lower Terowong Bangunan Pelimpah (Spillway)

Pengujian *hammer test* beton pada lower terowong spillway yang dalam prosesnya menggunakan bekisting non *expose* dari *chicken net* terletak di Blok 35. Area pertama dilakukannya test pada Blok 35 menghasilkan nilai terendah 32, tertinggi 36, dengan nilai rata-rata 34. Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan nilai terendah sebesar 326.4 kg/cm², tertinggi 387.4 kg/cm², dan rata-rata sebesar 346.8 kg/cm². Pengujian *hammer test* beton pada area kedua menghasilkan nilai terendah 32, tertinggi 34, dengan nilai rata-rata 33. Hasil dari pengujian tersebut menghasilkan nilai terendah sebesar 326.4 kg/cm², tertinggi 346.8 kg/cm², dan rata-rata sebesar 336.6 kg/cm². Nilai minimum yang diharuskan untuk Beton K-300 adalah sebesar 240 kg/cm², sehingga untuk semua hasil test pada Blok 35 dinyatakan sesuai atau bahkan melewati spesifikasi seharusnya.

Dari hasil pengujian pada dua blok terkait, dapat disimpulkan bahwa penggunaan bekisting *non-expose* konvensional dari kayu ataupun *chicken net* menghasilkan nilai diatas

batas minimum yang ditentukan. Dari hasil pengujian, pada Blok 27 masih menghasilkan nilai yang lebih tinggi pada nilai maksimum yaitu mencapai 387.4 kg/cm^2 , sedangkan pada blok 35 menghasilkan nilai tertinggi sebesar 387.4 kg/cm^2 . Kedua hasil pengujian tetap diatas batas 240 kg/cm^2 sehingga lulus uji mutu.

6. KESIMPULAN

1. Seiring berjalannya waktu, keterampilan pekerja dalam mengerjakan pekerjaan mengalami peningkatan sehingga produktivitas meningkat seiring berjalannya waktu
2. Dari hasil pengamatan lapangan dan analisa, produktivitas untuk pekerjaan tulangan beton ulir 497.98 kg/jam , bekisting *expose* (sliding form) $8.99 \text{ m}^2/\text{jam}$, bekisting non-exopose konvensional $0.97 \text{ m}^2/\text{jam}$, bekisting *non-expose* dengan menggunakan *chicken net* $2.04 \text{ m}^2/\text{jam}$, dan waktu pengecoran beton K-300 lower $20.17 \text{ m}^3/\text{jam}$.
3. Harga Perkiraan Sendiri (HPS) yang didapatkan dengan menggunakan data aktual lapangan untuk pekerjaan pembesian Rp. 13,751 / kg, bekisting *expose* Rp. 287,875 / m^2 , bekisting *non-expose* konvensional Rp. 278,797 / m^2 , bekisting *non-expose* menggunakan *chicken net* Rp 169,229/ m^2 , waterstop Rp. 205,119 / m, dan beton K-300 Rp. 1,308,953 / m^3 .
4. Secara aktual biaya per-blok, secara berurutan biaya untuk masing-masing pekerjaan: Tulangan Beton Ulir sebesar Rp 116,753,040 ; PVC Waterstop sebesar Rp. 1,318,625 ; Bekisting *Expose* sebesar : Rp. 8,934,308 ; Bekisting *Non-expose* Konvensional sebesar Rp. 3,469,253 ; Bekisting *Non-expose* dengan *Chicken net* sebesar Rp. 2,059,443 ; dan Beton K-300 sebesar Rp. 98,864,524
5. Penggunaan material *chicken net* pada pekerjaan bekisting *non-expose* di lower terowong bangunan pelimpah (spillway) dapat meningkatkan produktivitas menjadi $2.04 \text{ m}^2/\text{jam}$ dari $0.97 \text{ m}^2/\text{jam}$ jika menggunakan material kayu (bekisting konvensional).
6. Secara analisa harga satuan, biaya dari penggunaan material alternatif (*chicken net*) pada pekerjaan bekisting *non-expose* lebih menguntungkan sebesar Rp. 79,422 pada Upah, Rp. 30,146 pada alat. Secara biaya aktual per 1 blok, selisih biaya upah Rp. 1,017,900 / blok pada upah dan Rp. 391,910 / blok pada material sehingga total Rp. 1,409,810 lebih efisien dibandingkan dengan bekisting *non-expose* konvensional.

7. Penggunaan material alternatif (*chicken net*) pada Beton K-300 dengan campuran ... tidak mengurangi mutu beton yang ditetapkan oleh pemberi kerja sehingga pekerjaan bekisting *non-expose* dengan menggunakan *chicken net* dapat dikatakan tepat mutu, waktu, dan biaya.

7. DAFTAR PUSTAKA

BWS Sulawesi II. Laporan Spesifikasi Teknis, DD dan Sertifikasi Desain Bendungan Bulango Ulu (MYC). HK.02.03/Bws12/Satker.Balai/K-PP/16/2017. 2017.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 11/PRT/M/2013. 2013. Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Jakarta: Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2022. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Siswanto, Agus B. dan Salim, M. Afif. 2020. Manajemen Proyek. Kota Semarang: CV. Pilar Nusantara.

Daulay, Muhammad Toyib, dkk. 2022. Konsep Dasar Manajemen Proyek di Era 4.0. Kota Batam: CV. Rey Media Grafika.

Badan Standardisasi Nasional. SNI 6880:2016 Spesifikasi Beton Struktural. BSN: 2016.

Putra, Alfandias Seysna Putra, dkk. Evaluasi Penggunaan Material Bekisting Kayu pada Proyek Pembangunan Gudang Penyimpanan Limbah PT. Ansori Jaya. Jurnal Teknik Sipil Volume 2 Nomor 2. 2021.

Basari, Khubab, dkk. Analisa Koefisien Produktivitas Tenaga Kerja Pada Pekerjaan Pembesian. Jurnal Teknik Sipil, Volume 3, Nomor 4, Tahun 2014, Halaman 830 – 839.

Syahdana, Muhammad Zaka, Destiana Safitri. Perkiraan Kekuatan (Mutu) Beton Tanpa Mersuak Beton (Pengujian Kuat Tekan Beton dengan *Hammer test*). Ilmuteknik.org, volume 1 (3), Tahun 2021.

Asraar, Irfani, dkk. Studi Perancangan Beton Hemat Energi (Self Compacting Concrete) untuk Beton Normal, $f_c' = 25$ MPa dengan Metode Aci Modifikasi. Jurnal Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura: 2016.