

PENJADWALAN PROYEK PENGEMBANGAN MINIHIDRO DENGAN MENGGUNAKAN *THEORY OF CONSTRAINT* (TOC) DI PT SUMBER DAYA SEWATAMA

Ratna Mufida
Rifa Arifati

Program Studi Teknik Industri FT UPN."Veteran" Jakarta
Jl.RS.Fatmawati Pondok Labu Jakarta Selatan
Telp.021-7656971 ext.195
Email :ratmuf@gmail.com; rifahs@yahoo.com

Abstract

In the intense competition to get the project, the company is expected to deliver the promise of a competitive project completion time, but great accuracy fulfillment, by making a robust project schedule, the schedule bias reduce uncertainty. One way to create a project schedule robustness is using TOC. Study aims to gain time and robust schedule of project completion by applying the six principles of the Theory of Constraints methods (TOC). The application of TOC method is done to optimize the planning of the project schedule and set a time-efficient buffer or buffer. From the calculation of project completion time obtained by the method of TOC 1055 days, PERT / CPM calculation of 876 days and 1080 days of the company. From the results of simulations performed using 5 sets generated time activity corresponding beta distribution gained more time to complete the project approaching completion time of the project by the method of TOC.

Key words: *Theory of Constraint, Project Schedule, Reliability, Uncertainty*

PENDAHULUAN

Secara nasional proyeksi pertumbuhan kebutuhan energi saat ini adalah 9,3% per tahun dalam sepuluh tahun kedepan, atau naik sebesar 2,2% dari tahun 2007 yang tercatat sebesar 7,1% (PT. Indra Karya, 2011). Mendukung program penyediaan listrik yang relatif murah dengan sumber energi terbarukan merupakan hal krusial yang menjadikan pentingnya proyek penyediaan listrik ini. Potensi sumber daya air yang cukup besar dipropinsi Sulawesi Selatan, dan kebijakan pemerintah dalam penggunaan sumber energi hidro, gas, dan batubara menjadikan energi pembangunan PLTM Sappaya, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan menarik bagi pengembang listrik swasta.

PT. Sumberdaya Sewatama ikut berperan dan berupaya untuk mengembangkan potensi sumber daya air di Indonesia untuk dijadikan PLTM. Untuk selanjutnya listrik yang dihasilkan akan dijual kepada PLN melalui *Power Purchase Agreement* (PPA).

Aktifitas proyek pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) meliputi lima aktivitas besar, yakni study kelayakan, perizinan, pra konstruksi/*commissing*, pekerjaan sipil, mekanikal dan elektrikal.

Studi kelayakan ini dimaksudkan untuk melakukan kajian terhadap inovasi fabrikasi pengembangan minihidro sebagai Sumber Energi Listrik yaitu membuat prototype Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro dengan efisien tinggi. Studi kelayakan adalah penelitian tentang dapat tidaknya suatu proyek dapat berjalan dengan baik, Perizinan atau yang biasa dikenal Izin Mendirikan Bangunan (IMB) dilakukan ketika proyek akan segera dibangun, Pra konstruksi /*commisioning* yaitu mendatangkan tenaga ahli dari vendor peralatan elektro mekanikal maupun tenaga ahli lokal, Pekerjaan sipil diantaranya pembuatan bendung, kolam pasir, canal/saluran terbuka-tertutup, bak penenang, bangunan intake dan pipa pesat, gedung sentral dan trailrace, jalan masuk dan jalan penghubung, Pekerjaan Elektrikal dan Mekanikal itu terdiri dari pemesanan turbin, pemasangan turbin dan pemasangan tegangan listrik.

Penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen perencanaan dalam pengelolaan yang dapat memberikan informasi tentang jadwal rencana, kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya berupa biaya, tenaga kerja, peralatan dan material, serta rencana durasi proyek, dan kemajuan waktu untuk

menyelesaikan proyek. Dalam proses penjadwalan, penyusunan kegiatan dan hubungan antar kegiatan dibuat lebih terperinci dan lebih mendetail. Hal ini dimaksudkan untuk membantu pelaksanaan evaluasi proyek. Selama proses pengendalian proyek, penjadwalan mengikuti perkembangan proyek dengan berbagai permasalahannya. Proses *monitoring* serta *updating* selalu dilakukan untuk mendapatkan penjadwalan yang paling realistis agar alokasi sumber daya dan penetapan durasinya sesuai dengan sasaran dan tujuan proyek (Ir. Abrar Husen, MT, 2011)

Dalam proyek pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Sappaya di PT.Sumberdaya Sewatama, diperlukan adanya penjadwalan proyek. Secara umum manfaat penjadwalan pada proyek yaitu memberikan pedoman terhadap unit pekerjaan/kegiatan mengenai batas-batas waktu untuk mulai dan akhir dari masing-masing tugas. Ada beberapa cara yang dapat digunakan, salah satunya adalah *Critical Path Method* (CPM) dan *Evaluation and Review Technique* (PERT). CPM adalah teknik penentuan (non-probabilitas) dan PERT adalah menyelesaikan waktu kegiatan dengan teknik probabilitas.

Dalam suatu kondisi pemilik proyek bisa saja menginginkan proyek selesai lebih awal dari rencana semula atau karena faktor eksternal seperti misalnya faktor cuaca. Proyek memiliki perkembangan yang buruk sehingga implementasi proyek tidak seperti yang direncanakan, atau dapat dikatakan kemajuan proyek paling lambat. Oleh karena itu diperlukan analisis optimalisasi durasi proyek sehingga dapat diketahui berapa lama suatu proyek tersebut dapat diselesaikan dan dapat diketahui pula batasan-batasan durasi proyek tanpa faktor yang dapat mengganggu jadwal proyek.

Seringkali pelaksanaan pada proyek tidak bisa sesuai dengan jadwal atau durasi waktu yang ditetapkan melalui metode CPM/PERT karena banyak faktor-faktor yang mengganggu. Disisi lain kontraktor menjanjikan *duedate* selesainya proyek, jadi gangguan bisa menyebabkan *duedate* mundur sehingga bisa mengurangi kepercayaan konsumen, oleh karena itu dibutuhkan penjadwalan proyek yang *robust*.

Berdasarkan latar belakang di atas disertai dengan perkembangan proyek tersebut, penulis berkeinginan untuk mengetahui lebih jauh proses perencanaan jadwal Proyek Minihidro di PT. Sumberdaya Sewatama. Maka dari itu

penulis tertarik untuk mengkaji permasalahan tentang penjadwalan yang *robust*, untuk selanjutnya judul Tugas Akhir ini diberi judul “ **Penjadwalan Proyek Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), Dengan Menggunakan Metode TOC di PT. Sumberdaya Sewatama**”.

TINJAUAN PUSTAKA

Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah kegiatan merencanakan, mengorganisasikan, memimpin, mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan herarki (arus kegiatan) vertikal maupun horizontal. Dari definisi di atas terlihat bahwa konsep manajemen proyek mengandung hal-hal pokok sebagai berikut (Imam Soeharto, 1999):

a. Menggunakan pengertian manajemen berdasarkan fungsinya, yaitu merencanakan, mengorganisir, memimpin dan mengendalikan sumberdaya perusahaan. b. Kegiatan yang dikelola berjangka pendek dengan sasaran spesifik. Ini memerlukan teknik dan metode pengelolaan yang khusus, terutama aspek perencanaan dan pengendalian. c. Memakai pendekatan sistem (*system approach to management*).

Jaringan Kerja (Network)

Jaringan kerja (Network) adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram *network*. Dengan demikian dapat dikemukakan bagian-bagian pekerjaan yang harus didahulukan, sehingga dapat dijadikan dasar untuk melakukan pekerjaan selanjutnya dan dapat dilihat pula bahwa suatu pekerjaan belum dapat dimulai apabila kegiatan sebelumnya belum selesai dikerjakan.

Metode Jalur Kritis (CPM)

Pada metode jalur kritis (CPM) dikenal dengan adanya jalur kritis, yaitu jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek yang tercepat. Jalur kritis sangat penting bagi pelaksanaan proyek, karena pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat, akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan.





Kadang-kadang dijumpai lebih dari satu jalur kritis dalam jaringan kerja (Imam Soeharto, 1999). Metode jaringan kerja dapat dibagi menjadi 2 (dua) :

Activity on Arrow Diagram (AOA)

Adapun persyaratan dan simbol pembuatan CPM antara lain :

- Diketahui logika urutan dan ketergantungan pekerjaan/ kegiatannya.
- Diketahui perkiraan waktu pelaksanaan dari pekerjaan tersebut.
- Satuan waktu yang dipakai dalam "durasi"-nya, biasanya hari kerja atau mingguan.
- Simbol-simbol yang digunakan.

Tabel Simbol Network

Nama Simbol	Gambar Simbol
1. Anak panah/busur	
2. Lingkaran kecil/simpul/node	
3. Anak panah terputus-putus	
4. Anak panah tebal	

Activity on Node Diagram (AON)

Metode *activity on node* (AON) yaitu kegiatan dalam node yang umumnya berbentuk segi empat, sedangkan anak panah hanya bertindak sebagai petunjuk hubungan diantara kegiatan-kegiatan yang bersangkutan. Dengan demikian dummy yang dalam CPM merupakan tanda penting untuk menunjukkan hubungan ketergantungan tidak diperlukan dalam PDM. Setiap node mempunyai dua peristiwa yaitu peristiwa awal dan peristiwa akhir. Ruang dalam node dibagi menjadi kompartemen-kompartemen kecil yang berisi keterangan spesifik dari kegiatan serta kegiatan yang bersangkutan dan dinamakan sebagai atribut. Beberapa atribut yang sering dicantumkan diantaranya adalah kurun waktu kegiatan (D), identitas kegiatan (nomor dan nama) mulai dan selesainya kegiatan (ES, LS, EF, LF) dan lain-lain. Dalam proses identifikasi jalur kritis dikenal rumus-rumus perhitungan sebagai

Konstrain, lead dan lag

Konstrain menunjukkan hubungan antar kegiatan dengan satu garis dari node terdahulu ke node berikutnya dan satu konstrain hanya dapat menghubungkan dua node. Karena setiap node mempunyai dua ujung yaitu ujung awal

atau *start* = (S) dan ujung akhir atau *finish* = (F), maka ada empat kontrain yaitu *start to start* (SS), *finish to start* (FS), *finish to finish* (FF), dan *start to finish* (SF). Pada garis kontrain dibubuhkan penjelasan mengenai waktu mendahului (*lead*) akan terlambat atau tertunda (*lag*).

Hitungan Maju

Dalam mengidentifikasi jalur kritis dipakai suatu cara yang disebut hitungan maju. Berikut adalah contoh sederhana untuk hitungan maju.

Tabel Hitungan Maju

Aktivitas	Kurun Waktu	Waktu Paling Awal	
		Mulai (ES)	Selesai (EF)
A	2	0	2
B	3	2	5
C	5	2	7
D	4	5	9
E	6	7	13
F	3	13	16

Aturan dalam menyusun jaringan kerja berikut ini :

Kecuali kegiatan awal, suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatan yang mendahuluinya telah selesai. Waktu selesai paling awal suatu kegiatan adalah sama dengan waktu mulai paling awal, ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan.

Rumus:

$$EF = ES + D$$

Ket:

ES = *Earliest Start* (saat paling cepat untuk memulai kegiatan)

EF = *Earliest Finish* (saat paling cepat untuk akhir kegiatan)

D = *Duration* (lama kegiatan)

Jadi untuk kegiatan A didapat $EF(A) = ES(A) + D = 0 + 2 = 2$. Kemudian waktu selesai paling awal kegiatan B adalah hari ke-2 plus hari ke-3, yang sama dengan hari ke-5. Berikutnya adalah kegiatan C, dimana kegiatan ini dimulai segera setelah kegiatan B selesai. Dengan kata lain, waktu mulai paling awal dari kegiatan C, sehingga waktu selesai paling awal kegiatan C adalah: $EF(C) = 2 + 5 = 7$.

Dengan pengertian yang sama, maka waktu dimulainya kegiatan D ditentukan oleh selesainya kegiatan C, dan waktu selesai paling awal kegiatan C adalah: $EF(C) = 5 + 4 = 9$. Sedangkan untuk kegiatan D didapat: $EF(D) = 7 + 6 = 13$.

Kemudian sampai pada kegiatan E, dimana sebelumnya didahului 2 kegiatan, yaitu D dan C. Kaidah dasar jaringan kerja menyatakan bahwa kegiatan E baru dapat dimulai bila semua kegiatan yang mendahuluinya telah selesai. Pada contoh ini kegiatan C selesai pada hari ke-9, tetapi kegiatan D baru selesai pada hari ke-13, sehingga hari ke-13 adalah waktu mulai paling awal (ES) bagi kegiatan E. Hal ini dapat dinyatakan bahwa untuk node 5 berlaku aturan sebagai berikut.

Bila suatu kegiatan memiliki dua atau lebih kegiatan terdahulu yang berkaitan, maka waktu mulai paling awal (ES) kegiatan tersebut adalah sama dengan waktu selesai paling awal (EF) yang terbesar dari kegiatan terdahulu. Jadi waktu selesai paling awal kegiatan F adalah:

$$EF(F) = EF(E) + 3 = 13 + 3 = 16$$

Hitungan Mundur

Perhitungan mundur dimaksudkan untuk mengetahui waktu atau tanggal paling akhir. Hitungan mundur dimulai dari ujung kanan (hari terakhir penyelesaian proyek) suatu jaringan kerja (Ir. Imam Soeharto, 1999). Pada contoh diatas waktu penyelesaian proyek adalah 16 hari. Hari 16 merupakan hari atau waktu paling akhir dari kegiatan proyek x atau waktu paling akhir peristiwa boleh terjadi, $L(6) = EF(F) = 16$ dan $LF(F) = L(6)$. Untuk mendapatkan angka waktu mulai paling akhir kegiatan F dipakai aturan jaringan kerja yang menyatakan bahwa :

Waktu paling akhir suatu kegiatan adalah sama dengan waktu selesai paling akhir dikurangi kurun waktu berlangsungnya kegiatan yang bersangkutan.

Rumus:

$$LS = LF - D$$

Keterangan :

LS = Latest Start (saat paling lambat untuk memulai kegiatan)

LF = Latest Finish (saat paling lambat untuk mengakhiri kegiatan)

D = Duration (lama kegiatan)

Jadi untuk kegiatan F dihasilkan :

$$LS(F) = LF(F) - D \text{ atau } = 16 - 3 = 13$$

Selanjutnya bila kegiatan E dimulai pada hari ke-13, maka ini berarti kedua kegiatan yang mendahuluinya harus diselesaikan pada hari ke-13 juga. Oleh karenanya LF dari kegiatan D dan C adalah sama dengan LS dari kegiatan E, yaitu hari ke-13, dengan memakai aturan diatas, dihasilkan angka-angka sebagai berikut:

$$\text{Kegiatan E, } LS(E) = 13 - 6 = 7$$

$$\text{Kegiatan D, } LS(D) = 13 - 4 = 9$$

$$\text{Kegiatan C, } LS(C) = 7 - 5 = 2$$

$$\text{Kegiatan B, } LS(B) = 9 - 3 = 6$$

$$\text{Kegiatan A, } LS(A) = 2 - 2 = 0$$

Jalur Kritis

Lintasan kritis adalah lintasan dengan durasi terpanjang dan kegiatannya mempunyai total float = 0. Dari perhitungan dan turbulasi pada tabel 2.1 terlihat bahwa waktu penyelesaian proyek paling cepat (EF) adalah 16 hari, dan terdiri dari urutan kegiatan yang mengikuti jalur-jalur A,B,D,E,F adalah jalur kritis, sementara kegiatan yang terletak di jalur kritis dinamakan kegiatan kritis. Syarat umum jalur kritis adalah pada kegiatan pertama :

$$ES = LS = 0 \text{ atau } ES(A) = LS(A) = 0$$

Pada kegiatan terakhir atau terminal : $LF = EF$

Rumus:

$$TF = LF - EF = LS - ES = 0$$

Keterangan:

TF = Total Float (waktu tenggang maksimum)

LF = Latest Finish (saat paling lambat untuk mengakhiri kegiatan)

ES = Earliest Start (saat paling cepat untuk memulai kegiatan)

LS = Latest Start (saat paling lambat untuk memulai kegiatan)

EF = Earliest Finish (saat paling cepat untuk akhir kegiatan)

PERT

PERT atau *Project Evaluation and Review Technique* yaitu teknik analisa jaringan (*net working*) yang menggunakan waktu aktivitas yang bersifat probabilitas atau menaksirkan (memperkirakan) waktu yang bersifat (*probabilistic*). Bertujuan untuk memperkirakan waktu aktivitas untuk jaringan proyek/aktivitas, sehingga akan diperoleh :

- Tiga perkiraan waktu untuk masing-masing kejadian, sehingga diperoleh waktu rata-rata dan varians,
- Waktu perkiraan proyek/aktivitas, beserta rata-rata dan varians,
- Probabilitas penyelesaian proyek/aktivitas sesuai dengan waktu proyek/aktivitas.

Fast track

Sesuai dengan namanya, secara bebas istilah *fast track* dapat dibaca sebagai 'jalur cepat', yaitu melaksanakan tahapan-tahapan pekerjaan secara bersamaan agar diperoleh solusi dengan

lebih cepat tanpa mengorbankan kualitas hasil pekerjaan. Sebagai contoh pekerjaan *fast track* ini adalah, tahapan pekerjaan pelaksanaan konstruksi di lapangan sudah dimulai tanpa menunggu tahapan pekerjaan perancangan selesai 100%. Umumnya pada pekerjaan dengan *carafast track* adalah pentingnya kesepakatan mengenai hal-hal pokok yang tidak boleh berubah lagi pada tahap pekerjaan selanjutnya.

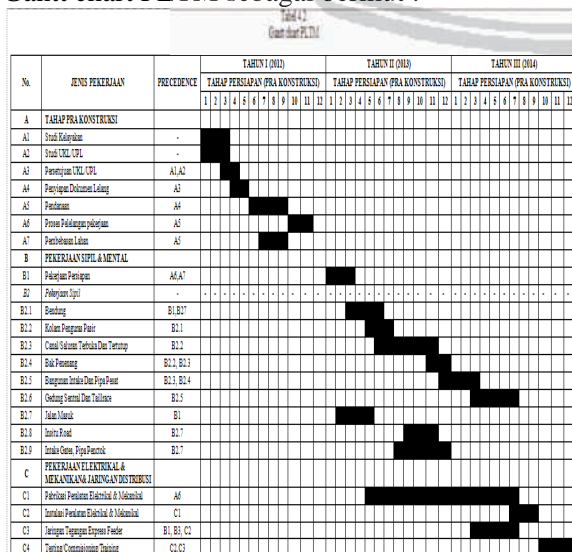
Theory of Constraint

Teori Kendala atau *Theory of Constraints* (TOC) merupakan sebuah filosofi manajemen yang mula-mula dikembangkan oleh Eliyahu M. Goldratt, 1986 dan dikenalkan dalam bukunya, *The Goal*. Dapat diartikan bahwa TOC adalah suatu pendekatan ke arah peningkatan proses yang berfokus pada elemen-elemen yang dibatasi untuk meningkatkan output (Yang, Min Lam and Tsai, Tsung Chieh, 2008).

PEMBAHASAN

Jadwal Pelaksanaan

Urutan pekerjaan yang diperlukan dalam penyusunan jadwal implementasi proyek PLTM *Minihydro*, meliputi Tahap Pra Konstruksi yang dikerjakan mulai dari bulan januari sampai dengan bulan november tahun 2012, sedangkan Pekerjaan Sipil & Metal dapat dikerjakan mulai dari bulan januari sampai desember pada tahun 2013, dan Pekerjaan Elektrikal & Mekanikal & Jaringan Distribusi dikerjakan mulai dari bulan mei 2013 sampai dengan juni 2014. Dengan tabel Gantt chart PLTM sebagai berikut :



Menghitung Perkiraan Waktu Aktivitas dan Varians

Perkiraan waktu aktivitas dan varians dapat digunakan dengan menggunakan rumus berikutini :

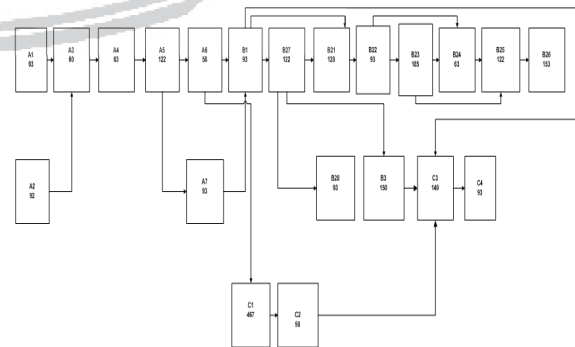
$$t = \frac{a + 4m + b}{6} \quad v = \frac{(b - a)^2}{6}$$

Tabel 4.3
Menghitung Perkiraan Waktu Aktivitas dan Varians

No.	Jenis Pekerjaan	Waktu				
		a	m	b	t	v
A	Tahap Konstruksi					
1	Studi Kelayakan	80	90	120	93	44.4
2	Studi UKL/UPL	80	90	100	92	2.78
3	Persetujuan UKL/UPL	30	60	90	60	100
4	Penyiapan Dok. Lelang	50	60	90	63	44.4
5	Pendanaan	100	120	150	122	69.4
6	Proses Pelelangan	30	60	75	58	56.3
7	Pekerjaan	75	90	120	93	56.3
B	Pekerjaan Sipil & Mekanikal					
1	Pekerjaan Persiapan	75	90	120	93	56.3
2	Pekerjaan Sipil	-	-	-	-	-
2.1	Bandung	110	120	180	128	136
2.2	Kolam Penguras Pasir	75	90	120	93	56.3
2.3	Saluran Saluran Terbuka & Tertutup	150	180	240	185	225
2.4	Bak Penampung	50	60	90	63	44.4
2.5	Bangunan Intake dan Pipa Pesat	100	120	150	122	69.4
2.6	Gedung Sentral & Trailirace	120	150	200	153	178
2.7	Jalan Masuk	100	120	150	122	69.4
2.8	Instalasi Road	75	90	120	93	56.3
2.9	Instalasi Gatas, Pipa Pemstock	120	150	180	150	100
C	Pekerjaan Elektrikal & Mekanikal & Jaringan distribusi					
1	Pabrikasi Peralatan Elektrikal & Mekanikal	400	450	600	467	1111
2	Instalasi Peralatan Elektrikal & Mekanikal	75	90	150	98	156
3	Jaringan Tegangan Ekspres Feeder	120	150	175	149	84
4	Testing Commissioning Training	75	90	120	93	56.3

Membuat Precedence Diagram Menggunakan Metode AON

Berikut langkah membuat precedence diagram dengan menggunakan metode AON, data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1.



Gambar 4.2
Diagram AON Aktivitas Sebelumnya

Data Hasil Hitungan Maju (TE/EET)

Dalam pengisian kolom node bagian kiri mulai dari node 0 sampai dengan node terakhir pada diagram jaringan kerja. Caranya adalah dengan

menambahkan durasi (waktu kegiatan) aktivitas satu dengan aktivitas yang mengikutinya sampai akhir kegiatan proyek. Dari hasil penambahan tersebut dapat diketahui waktu selesai paling cepat (ES) dan waktu selesai paling lambat (EF). Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.4
Tabel Hitungan Maju Paling Awal

No.	Node	Aktivitas Sebelumnya	Kurun Waktu	Paling Awal	
				Mulai (ES)	Selesai (EF) ES + D
1	A1	-	93	0	93
2	A2	-	92	0	92
3	A3	A1,A2	60	93	153
4	A4	A3	63	153	216
5	A5	A4	122	216	338
6	A6	A5	58	338	396
7	A7	A5	93	338	431
8	B1	A6,A7	93	431	524
9	B2	-	-	-	-
10	B21	B1,B27	128	646	774
11	B22	B21	93	774	867
12	B23	B22	185	867	1052
13	B24	B22,B23	63	1052	1115
14	B25	B23,B24	122	1115	1237
15	B26	B25	153	1237	1390
16	B27	B1	122	524	646
17	B28	B27	93	646	739
18	B3	B27	150	646	796
19	C1	A6	467	396	863
20	C2	C1	98	863	961
21	C3	B1,B3,C2	149	961	1110
22	C4	C3	93	1110	1203

Data Hasil Hitungan Mundur

Dalam mengisi kolom node bagian kanan mulai dari node terakhir hingga node 0 pada jaringan kerja LET node terakhir diketahui dari EET pada node terakhir $EET = LET$. Dari kegiatan tersebut diketahui waktu mulai paling lambat dan waktu selesai paling lambat (LF) dengan cara mengurangi durasi sebelumnya dengan sesudahnya. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.5
Hitungan Mundur

No.	Node	Aktivitas Sebelumnya	Kurun Waktu	Paling Awal		Paling Akhir	
				Mulai (ES)	Selesai (EF) ES + D	Mulai (LS)	Selesai (LF)
1	A1	-	93	0	93	0	93
2	A2	-	92	0	92	1	93
3	A3	A1,A2	60	93	153	93	153
4	A4	A3	63	153	216	153	216
5	A5	A4	122	216	338	216	338
6	A6	A5	58	338	396	338	431
7	A7	A5	93	338	431	431	431
8	B1	A6,A7	93	431	524	431	524
9	B2	-	-	-	-	-	-
10	B21	B1,B27	128	646	774	524	774
11	B22	B21	93	774	867	774	867
12	B23	B22	185	867	1052	867	1052
13	B24	B22,B23	63	1052	1115	1052	1115
14	B25	B23,B24	122	1115	1237	1115	1237
15	B26	B25	153	1237	1390	1237	1390
16	B27	B1	122	524	646	524	646
17	B28	B27	93	646	739	1297	1390
18	B3	B27	150	646	796	998	1148
19	C1	A6	467	396	863	583	1050
20	C2	C1	98	863	961	1050	1148
21	C3	B1,B3,C2	149	961	1110	1148	1297
22	C4	C3	93	1110	1203		

Data Hasil Total Float dan Float Bebas

Dalam menghitung total float (TF) dan float bebas (FF) dihitung dengan cara mencari selisih antara saat paling lambat dengan saat paling cepat dimulainya aktivitas (LS-ES). Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.6
Float Total, Float Bebas

No.	Node	Kurun Waktu	Aktivitas Sebelumnya	Paling Awal		Paling Akhir		Float		Keterangan
				Mulai (ES)	Selesai (EF) ES + D	Mulai (LS)	Selesai (LF)	Total (TF)	Bebas (FF)	
1	A1	93	-	0	93	0	93	0	0	Kritis
2	A2	92	-	0	92	1	93	1	0	Tidak Kritis
3	A3	60	A1,A2	93	153	93	153	0	0	Kritis
4	A4	63	A3	153	216	153	216	0	0	Kritis
5	A5	122	A4	216	338	216	338	0	0	Kritis
6	A6	58	A5	338	396	338	431	35	0	Tidak Kritis
7	A7	93	A5	338	431	431	431	0	0	Kritis
8	B1	93	A6,A7	431	524	431	524	0	0	Kritis
9	B2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	B21	128	B1,B27	646	774	524	774	0	0	Kritis
11	B22	93	B21	774	867	774	867	0	0	Kritis
12	B23	185	B22	867	1052	867	1052	0	0	Kritis
13	B24	63	B22,B23	1052	1115	1052	1115	0	0	Kritis
14	B25	122	B23,B24	1115	1237	1115	1237	0	0	Kritis
15	B26	153	B25	1237	1390	1237	1390	0	0	Kritis
16	B27	122	B1	524	646	524	646	0	0	Kritis
17	B28	93	B27	646	739	1297	1390	651	0	Tidak Kritis
18	B3	150	B27	646	796	998	1148	352	0	Tidak Kritis
19	C1	467	A6	396	863	583	1050	187	0	Tidak Kritis
20	C2	98	C1	863	961	1050	1148	187	0	Tidak Kritis
21	C3	149	B1,B3,C2	961	1110	1148	1297	187	0	Tidak Kritis
22	C4	93	C3	1110	1203	1297	1390	187	0	Tidak Kritis

Dari hasil perhitungan di atas didapat jalur kritis adalah A1 - A3 - A4 - A5 - A7 - B1 - B21 - B22 - B23 - B24 - B25 - B26 - B27, dengan waktu 1390 hari yang merupakan hasil tercepat dari perhitungan maju (EET) yang ditulis pada ruang kanan sebelah node. Dan dari hasil perhitungan mundur didapat 1390

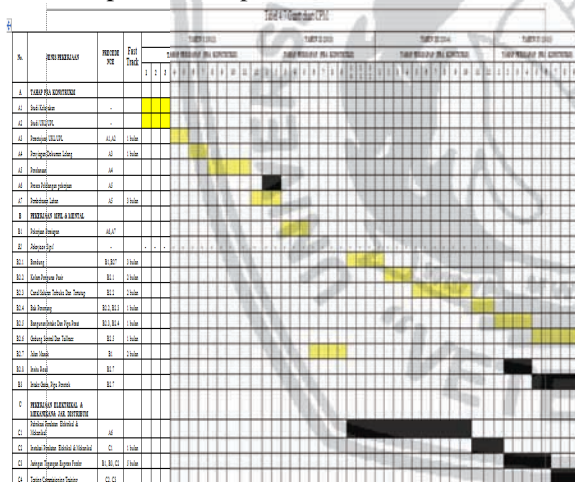
hari yang ditulis pada ruang sebelah kiri node. Setelah total float dan float bebas diketahui maka jalur kritis dapat diketahui yaitu : A1-A3-A4-A5-A7-B1-B21-B22-B23-B24-B25-B26-B27, Sedangkan jalur tidak kritis adalah jalur yang memiliki TF tidak sama dengan FF, yaitu : A2 - A6 - B28 - B3 - C1 - C2 - C3 - C4.

Menentukan Probabilitas Penyelesaian Proyek dengan Menggunakan Metode PERT

Lama proyek ditentukan oleh lintasan kritis. Jika μ menyatakan lama proyek, maka pada proyek Pembangkit Listrik Minihidro (PLTM) nilai yang diharapkan adalah :

$$\begin{aligned} \mu &= t_{A1} + t_{A3} + t_{A4} + t_{A5} + t_{A7} + t_{B1} + t_{B2.1} \\ &\quad + t_{B2.2} + t_{B2.3} + t_{B2.4} + t_{B2.5} + t_{B2.6} + \\ &\quad t_{B2.7} \\ \mu &= 93 + 60 + 63 + 122 + 93 + 93 + 128 \\ &\quad + 93 + 185 + 63 + 122 + 153 + 122 \\ \mu &= 1390 \end{aligned}$$

Dimana *ganttt chart* dari nilai hasil waktu CPM, dapat terlihat pada tabel 4.7 dibawah ini:



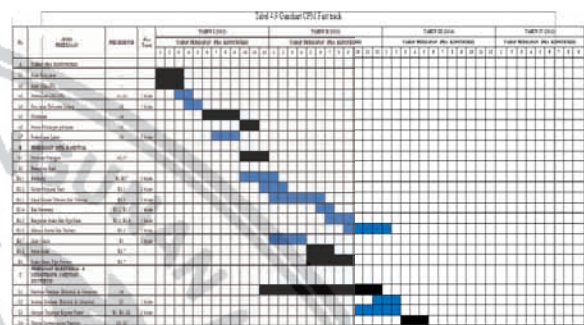
Fast Track

Fast track dapat dilakukan dengan melihat jadwal dan waktu yang ada pada Ganchart proyek PLTM, dimana kegiatan proyek PLTM tersebut dapat dilakukan secara bersamaan atau paralel. *Fast track* dilakukan dengan tujuan agar jadwal yang dihasilkan dengan metode yang diusulkan dapat dibandingkan performansinya dengan jadwal yang dibuat perusahaan, sehingga hal-hal yang dilakukan di pembuatan jadwal perusahaan pun dilakukan juga di jadwal dengan metode yang diusulkan. Dari *ganttt chart* jadwal perusahaan, kegiatan dan waktu percepatan atau *fast track* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel. 4.2.

Tabel 4.8 Fast Track

No.	Jenis Kegiatan	Waktu Percepatan	Hari
A3	Persetujuan UKL/UPL	1 bulan sebelum A1, A2 selesai	30
A4	Penyiapan Dokumen Lelang	2 bulan sebelum A3 selesai	60
A5	Pendanaan	2 bulan sebelum A4 selesai	60
A6	Proses Pelelangan Pekerjaan	2 bulan sebelum A2 selesai	60
A7	Pembebasan Lahan	1 bulan sebelum A6 selesai	30
B2.1	Bendung	2 bulan sebelum B1, B27 selesai	30
B2.2	Kolam Penguras Pasir	3 bulan sebelum B21 selesai	90
B2.3	Canal/Saluran Terbuka dan Tertutup	2 bulan sebelum B22 selesai	60
B2.4	Bak Penenang	1 bulan sebelum B22, B23 selesai	30
B2.5	Bangunan Intake dan Pipa Pesat	2 bulan sebelum B23, B24 selesai	60
B2.6	Gedung Sentral dan Tailrace	1 bulan sebelum B25 selesai	30
B2.7	Jalan masuk	1 bulan sebelum B1 selesai	30
C2	Instalasi Peralatan Elektrikal dan Mekanikal	1 bulan sebelum A6 selesai	30

Sehingga terbentuk jadwal yang baru dapat dilihat pada tabel 4.9 dan waktu jadwal penyelesaian proyek menjadi lebih cepat dari jadwal yang dibuat oleh perusahaan.



Tahapan pada TOC

Metode TOC dapat membuat penjadwalan menjadi lebih *robust*. Sehingga pada proyek Pembangkit Listrik Minihidro (PLTM) ini kontraktor dapat memenuhi jadwal atau durasi yang sesuai dengan permintaan konsumen tanpa faktor-faktor yang mengganggu jadwal proyek. Berikut langkah-langkahnya :

Menentukan Jaringan Proyek Dasar

Langkah pertama untuk mendapatkan nilai yang *robust* pada metode TOC ini adalah menentukan jaringan proyek dasar CPM/PERT dapat dilihat pada gambar 4.4. Jaringan dasar pada metode TOC ini digunakan untuk mengetahui jalur kritis maupun jalur tidak kritis atau melihat adanya hambatan-hambatan kegiatan aktivitas pada pelaksanaan proyek yang sedang berlangsung.

Pemeriksaan Hambatan Durasi Proyek

Langkah kedua untuk mendapatkan nilai yang *robust* pada metode TOC ini adalah memeriksa hambatan yang terjadi pada jaringan dasar CPM/PERT dapat dilihat pada gambar 4.4, dimana kegiatan jalur kritis pada metode TOC dipandang sebagai aktivitas yang menghambat durasi proyek. Kegiatan jalur kritis yang dianggap sebagai penghambat pada

metode TOC adalah A1 - A3 - A4 - A5 - A7 - B1 - B21 - B22 - B23 - B24 - B25 - B26 - B27.

Mengelola Jadwal Hambatan

Langkah ketiga untuk mendapatkan nilai yang *robust* pada metode TOC ini adalah mengelola durasi aktivitas pada *bottleneck* dengan cara menyediakan sumber daya yang cukup memadai seperti material dan mesin. Jadwal hambatan ini dapat memperkecil nilai ketidakpastian durasi dan dapat memperkirakan jadwal penundaan, untuk meningkatkan jadwal hambatan ini maka durasi pesimis (*b*) harus dikurangi dan menunda durasi kegiatan predesesor atau memajukan durasi kegiatan.

Mengidentifikasi Buffer

Langkah keempat untuk mendapatkan nilai yang *robust* pada metode TOC ini adalah meningkatkan waktu *buffer* dengan menggunakan rumus dan langkah-langkah pada metode TOC dapat dilihat pada tabel 4.10, tujuan untuk meningkatkan waktu buffer dengan menggunakan metode TOC ini yaitu agar waktu yang dimiliki mempunyai batasan-batasan waktu sebelum tanggal jatuh tempo yang sudah dijanjikan oleh perusahaan/kontraktor kepada konsumen, sehingga perusahaan sekiranya dapat menerapkan usulan waktu durasi ini dengan menggunakan metode TOC. Berikut perhitungan *buffer* :

Tabel 4.10 Buffer

$T_i = 076$

Node	Constraint buffer							Assembly buffer						
	T_{ai}	T_{ar}	CB_i $(T_{ai} - T_{ar})/2$	b_i	T_i	Buffer time _{bc} $b_i/T_i \times CB_i$	b_i bc Buffer time _{bc}	T_{ai}	T_{ar}	AB_i $(T_{ai} - T_{ar})/2$	b_i	T_i	Buffer time _{bc} $b_i/T_i \times AB_i$	b_i bc Buffer time _{bc}
A1	0	0	0	0	076	0	0	0	0	0	0	076	0	0
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	120	93	14	-	076	-	-	120	93	14	120	076	2	118
A4	210	153	29	90	076	3	87	-	-	-	-	076	-	-
A5	300	216	42	90	076	4	86	-	-	-	-	076	-	-
A6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	450	338	56	150	076	10	140	-	-	-	-	076	-	-
B1	570	491	70	-	076	-	-	570	491	70	120	076	10	110
B2.1	840	647	97	-	076	-	-	840	647	97	150	076	17	133
B2.2	1020	775	123	180	076	25	155	-	-	-	-	076	-	-
B2.3	1140	867	137	120	076	19	101	-	-	-	-	076	-	-
B2.4	1280	1023	164	-	076	-	-	1280	1032	164	240	076	45	195
B2.5	1470	1118	176	-	076	-	-	1470	1118	176	240	076	49	192
B2.6	1620	1237	192	150	076	33	117	-	1237	-	-	076	-	-
B2.7	1590	124	83	120	076	11	109	-	524	-	-	076	-	-
B2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Mengelola/Menambah Waktu Buffer

Langkah kelima untuk mendapatkan nilai yang *robust* pada metode TOC ini adalah dengan menambah waktu *bc* TOC dapat dilihat pada tabel 4.10. *Buffer Constraint (bc)* bertujuan untuk mendapatkan waktu aktual karena nilai *bc* pada tabel 4.10 sudah dianggap sebagai batasan-batasan waktu durasi yang cukup *robust*. Pada tabel dibawah ini nilai *bc* ditambahkan ke waktu PERT karena waktu PERT akan mendapatkan nilai waktu (*t*) dan varians (*v*).

Sehingga waktu penyelesaian proyek bila mempertimbangkan *buffer* adalah sebagai berikut:

Menentukan Penyelesaian Proyek dengan Menggunakan Metode CPM/PERT yang ditambah waktu Buffer

Tabel 4.1
Kegiatan Aktivitas dengan Perkiraan Waktu

No	Jenis Pekerjaan	Kode Kegiatan	Precedence	waktu (hari)	Waktu		
					a (estimasi waktu optimis)	m (estimasi waktu yang paling sering terjadi)	b (estimasi waktu pesimis)
A Tahap Pra Konstruksi							
1	Studi Kelayakan	A1	-	93	80	90	120
2	Studi UKL/UPL	A2	-	92	80	90	100
3	Persetujuan UKL/UPL	A3	A1,A2	60	30	60	90
4	Penyiapan Dok Lelang	A4	A3	63	50	60	90
5	Pendanaan	A5	A4	122	100	120	150
6	Proses Pelelangan Pekerjaan	A6	A5	58	30	60	75
7	Pembekalan Lahan	A7	A5	93	75	90	120
B Pekerjaan Sipil & Mekanikal							
1	Pekerjaan Persiapan	B1	A6,A7	93	75	90	120
2	Pekerjaan Sipil	B2	-	-	-	-	-
2.1	Bendung	B2.1	B1,B2?	128	110	120	180
2.2	Kolam Penguras Pasir	B2.2	B21	93	75	90	120
2.3	Canal/Saluran Terbuka & Tertutup	B2.3	B22	185	150	180	240
2.4	Bak Penenang	B2.4	B22,B23	63	50	60	90
2.5	Bangunan Intake dan Pipa Pesat	B2.5	B23,B24	122	100	120	150
2.6	Gedung Sentral & Trailrace	B2.6	B25	153	120	150	200
2.7	Jalan Masuk	B2.7	B1	122	100	120	150
2.8	Insitu Ripad	B2.7	B2?	93	75	90	120
3	Instalasi Gate, Pipa Panstock	B3	B2?	150	120	150	180
C Pekerjaan Elektrikal & Mekanikal & Jaringan distribusi							
1	Pabrikasi Peralatan Elektrikal & Mekanikal	C1	A6	48?	400	450	600
2	Instalasi Peralatan Elektrikal & Mekanikal	C2	C1	98	75	90	150
3	Jaringan Tegangan Ekspresi Feeder	C3	B1,B3,C2	149	120	150	175
4	Testing Commissioning Training	C4	C3	93	75	90	120

Mengidentifikasi Garis Edar Kritis dan Menghitung Waktu Penyelesaian Proyek

Lama proyek ditentukan oleh lintasan kritis. Jika μ menyatakan lama proyek, maka pada proyek Pembangkit Listrik Minihidro (PLTM) nilai yang diharapkan adalah :

$$\mu_{TOC} = 893$$

nilai μ_{TOC} ini didapat dengan menghitung *ganttt chart* CPM yang sudah di *fast track* dengan perkiraan waktu 2 tahun 5 bulan pada tabel 4.9 dengan waktu t yang dihitung pada tabel 4.11.

Jadi jumlah pada waktu *buffer* pada *fast track*, adalah :

$$bc = 2 + 3 + 4 + 10 + 10 + 25 + 19 + 45 + 33 + 11$$

$$bc = 162$$

dan waktu penyelesaian proyek yang ditawarkan adalah :

$$893 + 162 = 1055 \text{ hari.}$$

Mengontrol Tali

Langkah keenam untuk mendapatkan nilai yang *robust* pada metode TOC yaitu mengontrol jaringan proyek dasar CPM/PERT, karena jaringan dasar itu merupakan titik penting untuk kegiatan aktivitas jadwal hambatan. Untuk itu pemeriksaan pada jaringan proyek dasar CPM/PERT bisa diaktualkan dengan cara menambah waktu *buffer* dan membangkitkan waktu durasi masing-masing kegiatan proyek dengan pembangkit distribusi beta, sebagai berikut :

Simulasi

Untuk menguji tingkat *robustness* jadwal proyek metode yang diusulkan dengan lima tahap, dilakukan dengan rumus simulasi sbb:
 $= \text{BETAINV}(\text{RAND}(), \alpha, \beta, a, b)$.

Membandingkan waktu penyelesaian tersebut dengan waktu penyelesaian hasil CPM/PERT dan TOC

Perbandingan hasil simulasi CPM dan TOC dapat dilihat pada tabel 4.23, dimana hasil simulasi didapat dengan cara mengurangi nilai random yang dapat diasumsikan dengan menggunakan *ganttt chart* CPM pada metode *fast track* pada tabel 4.9 :

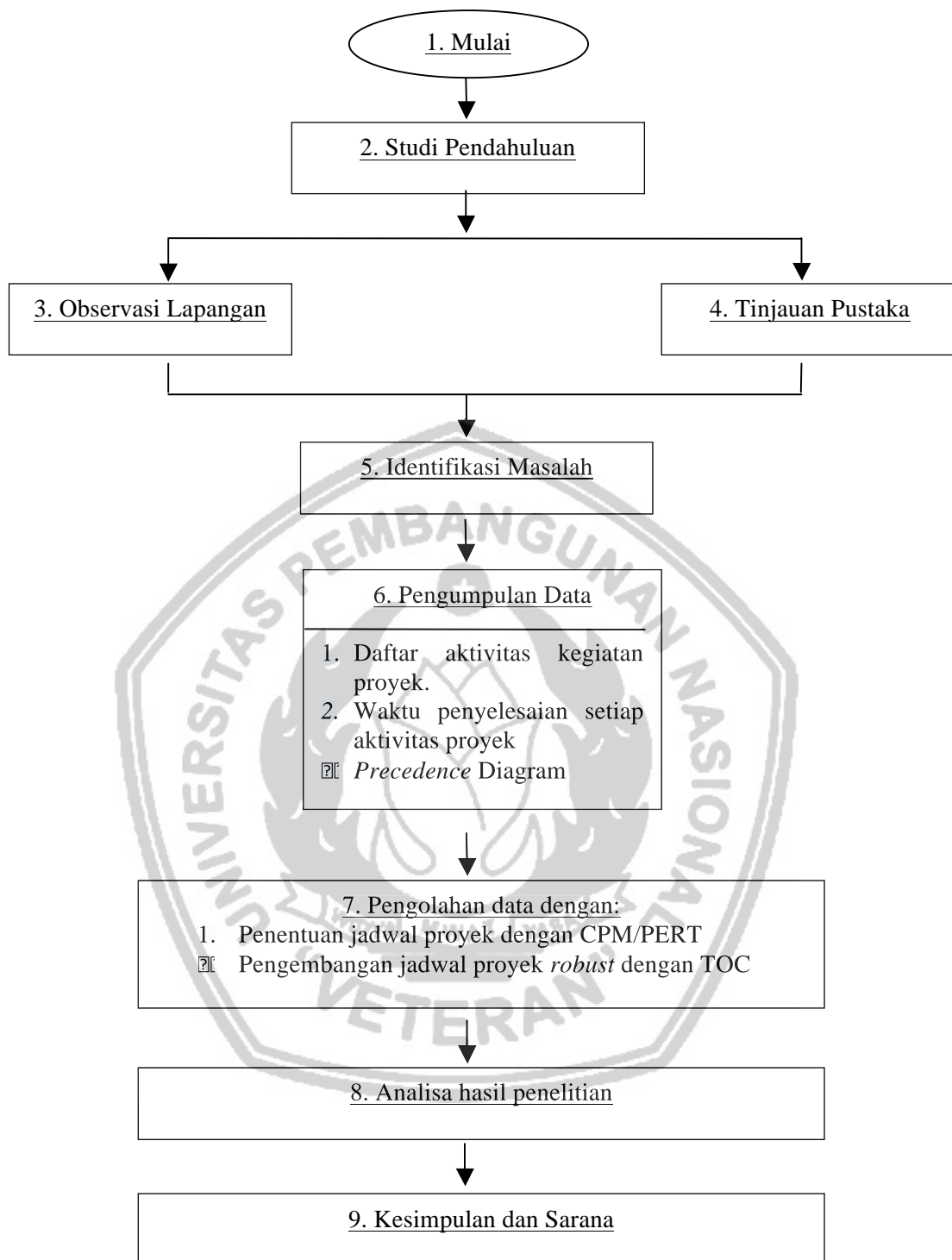
Tabel 4.23 Simulasi CPM dan TOC

No.	Simulasi	CPM	TOC	Simulasi
1	Simulasi 1	876	1055	976
2	Simulasi 2			916
3	Simulasi 3			975
4	Simulasi 4			974
5	Simulasi 5			904

Unit : day

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Theory of Constraint* Dari studi pendahuluan masalah yang dapat diidentifikasi yaitu bagaimana membuat jadwal proyek PLTM yang lebih *robust*, agar penyelesaian proyek tidak terlalu terpengaruh dengan gangguan selama pelaksanaan proyek. Tahapan penelitian dibagi ke dalam 9 bagian yang disajikan dalam Gambar 3.1 Bagian 1 dimulai. Bagian 2 merupakan studi pendahuluan lapangan yang terdiri dari data *engineer*. Bagian 3 Observasi lapangan. Bagian 4 Tinjauan pustaka. Bagian 5 Identifikasi Masalah. Bagian 6 Pengumpulan data. Bagian 7 Pengolahan data, menentukan jadwal proyek dengan menggunakan metode CPM/PERT, lalu mengembangkan jadwal proyek yang *robust* dengan menggunakan TOC. Bagian 9 kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1. Tahapan Penelitian

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan analisis, maka pada bab ini dapat dibuat kesimpulan berikut ini :

1. Berdasarkan jaringan kerja dengan metode CPM diketahui waktu penyelesaian proyek yaitu 876 hari dengan jalur kritis dan tidak kritis:

Tabel 6.1 Aktivitas jalur kritis

No.	Kode	Jenis Kegiatan
1	A1	Studi Kelayakan
2	A3	Persetujuan UKL/UPL
3	A4	Penyiapan Dokumen Lelang
4	A5	Pendanaan
5	A7	Pembebasan Lahan
6	B1	Pekerjaan Persiapan
7	B2.1	Bendung
8	B2.2	Kolam Penguras Pasir
9	B2.3	Canal/Saluran Terbuka dan Tertutup
10	B2.4	Bak Penenang
11	B2.5	Bangunan Intake dan Pipa Pesat
12	B2.6	Gedung Sentral dan <i>Trailrace</i>
13	B2.7	Jalan Masuk

Tabel 6.2 Aktivitas jalur tidak kritis

No.	Kode	Jenis Kegiatan
1	A2	Studi UKL/UPL
2	A6	Proses Pelelangan Pekerjaan
3	B2.8	Insitu Road
4	B3	Intake Gates, Pipa Penstock
5	C1	Pabrikasi Peralatan Elektrikal dan Mekanikal
6	C2	Instalasi Peralatan Elektrikal dan Mekanikal
7	C3	Jaringan Tegangan Express Feeder
8	C4	Testing/Commisioning/Training

2. Berdasarkan perhitungan waktu penyelesaian proyek dengan menggunakan TOC, maka didapat nilai yaitu $\mu_{TOC} = 1055$. Nilai tersebut lebih lama dibandingkan dengan nilai CPM yaitu 876, karena ditambahkan *buffer* untuk mengantisipasi apabila terdapat ketidaksesuaian selama pelaksanaan proyek.
3. Pada pengujian dengan menggunakan simulasi distribusi beta waktu penyelesaian proyek lebih banyak yang mendekati waktu penyelesaian proyek dengan metode TOC dari pada metode CPM/PERT. Hal ini menunjukkan waktu penyelesaian yang dihitung dengan metode TOC 1055 hari lebih *robust* dibandingkan dengan metode CPM 876 hari, sehingga dapat dikatakan

bahwa dengan perhitungan metode β didapatkan nilai yang *robust*.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang telah penulis buat diatas, maka penulis mempunyai saran pada perusahaan sebagai pelaksana proyek. Saran tersebut adalah sebagai berikut :

1. Apabila sumber daya bisa didapat secara mudah dan murah menggunakan CPM karena waktu penyelesaian yang dihasilkan lebih cepat, sehingga lebih kompetitif bila diajukan ke customer.
2. Apabila sumber daya susah dan mahal, menggunakan TOC karena lebih *robust*, sehingga apabila terjadi ketidaksesuaian saat pelaksanaan tidak terlalu mempengaruhi jadwal yang telah dijanjikan ke customer, namun waktu penyelesaian pun masih tetap kompetitif.
3. Diharapkan usulan yang diberikan penulis kepada perusahaan dapat dilaksanakan secara kontinu pada periode-periode mendatang agar perusahaan dapat meningkatkan produktivitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Davis, Ron, 2008. *Teaching Project Simulation in Excel Using PERT-Beta Distributions*. California
- Soeharto Imam, 1995. *Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional*. Jakarta
- PT. IndraKarya, 2012. *Feasibility Study PLTM Maiting 1 & 2 KabupatenToraja Utara Propinsi Sulawesi Selatan*. Surabaya
- PT. Wiratman, 2012. *Feasibility Study PLTM Sapaya Di Sulawesi Selatan Sungai Sapaya Das JeneberangKab.Gowa Sulawesi Selatan*. Jakarta
- PT. PLN Persero, 2011. *BIONERGI untuk PembangkitListrik, Kebijakan Pengembangan Bahan Baka rNabati Untuk Pembangkit Listrik*. Jakarta
- Taylor ,Bernard W, 2001, *Sains Manajemen Pendekatan Matematika untuk BisnisEdisi Kedua*. Jakarta
- Yang, Min Lam and Tsai, TsungChieh, 2008, *Enhancement of Scheduling Reliability in Building Project Using Theory of Contraints*, Journal of the OperationsResearch Society of Japan Vol. 51 No. 4, Jepang