

PENJADWALAN PROYEK KONSTRUKSI DENGAN METODE FUZZY LOGIC APPLICATION FOR SCHEDULING

Atep Nuryana Hidayat¹, Albani Musyafa²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia

Email: 12511382@students.uii.ac.id

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia

Email: 955110102@uui.ac.id

Abstract : *Bridge, included Pules Bridge at Donokerto, is a connecting access whose existence is very important for the community. So scheduling is a very critical thing to do in the planning stage. The purpose of this study is to identify the factors that cause project delays, make scheduling implementation and calculate the total cost of the project using the FLASH method. This type of research is analytical. Data collection was done by indepth interview, questionnaires and collect the secondary data. The delay factors identify from the results of the questionnaire to find the value of a cut for each bridge structure work, followed by the preparation of a network of Activity On Node (AON), calculation of the value of FES (Fuzzy Early Start), FEF (Fuzzy Early Finish), FLS (Fuzzy Late Start), FLF (Fuzzy Late Finish), and threshold time to determine the critical path and maximum duration and minimum project completion. Furthermore, project costs are calculated in pessimistic and optimistic conditions by comparing the duration of obtaining labor and equipment costs in each condition. The results of this study were the factors identified as the cause of the delay in the Pules bridge construction project were weather factors of 39.86%; equipment, material and finance at 18.5%; field conditions of 15%; and HR and managerial at 13.06%. From the results of calculations with FLASH for the implementation of the Pules Bridge project it can be carried out at the earliest 148 days at a cost of Rp. 3.948.871.192,19 and no later than 162 days with a budget of Rp. 4.031.725.085,63*

Keywords: *Schedulling, Duration, Cost, FLASH.*

1. PENDAHULUAN

Jembatan Pules adalah jembatan yang menghubungkan dua kecamatan yaitu Tempel dan Pakem, Sleman, kedua daerah tersebut terpisahkan oleh Sungai Mangut. Jembatan tersebut terletak di ruas jalan Tempel-Pakem yang menjadi jalur alternatif dari kota Magelang menuju kota Jogja maupun Solo.

Jembatan Pules ini pada hari Rabu malam tanggal 22 April 2015 terputus akibat hujan deras di wilayah Sleman sehingga aliran air bercampur material batu dan pasir meluap di sungai mangut. Oleh karena itu, Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah

Provinsi D.I. Yogyakarta membangun kembali jembatan baru dengan bentang yang lebih panjang untuk menggantikan jembatan lama.

Suatu proyek dikatakan baik jika penyelesaian proyek tersebut efisien, ditinjau dari segi waktu dan biaya serta mencapai efisiensi kerja, baik manusia maupun alat. Ada sebuah alternatif metode penjadwalan dengan mengakomodasikan ketidakpastian durasi menggunakan teori *fuzzy set*. Metode ini diberi nama metode *Fuzzy Logic Application for Scheduling* (FLASH). Metode ini berbeda dengan metode lainnya karena menggunakan posibilitas dalam menganalisis hasil

akhirnya, yaitu untuk mengetahui kemungkinan terselesaikannya proyek dalam jangka waktu yang ditentukan (Huda, 2014). Dalam menentukan durasi waktu yang mungkin untuk ditempuh dalam penyelesaian suatu proyek digunakan suatu batasan berupa batas bawah, nilai yang paling mungkin dan batas atas.

Adapun tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek, membuat penjadwalan pelaksanaan dan menghitung total biaya proyek dengan metode FLASH.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Keterlambatan Proyek

Keterlambatan proyek konstruksi berarti bertambahnya waktu pelaksanaan penyelesaian yang telah direncanakan dan tercantum dalam dokumen kontrak. Penyelesaian pekerjaan tidak tepat waktu adalah merupakan kekurangan dari tingkat produktifitas dan sudah tentu kesemuanya ini akan mengakibatkan pemborosan dalam pembiayaan, baik berupa pembiayaan langsung yang dibelanjakan untuk proyek-proyek pemerintah, maupun berwujud pembengkakan investasi dan kerugian-kerugian pada proyek-proyek swasta. Keterlambatan proyek disebabkan oleh beberapa faktor yang berasal dari Kontraktor, Owner, dan selain kedua belah pihak (Hasan dkk, 2016).

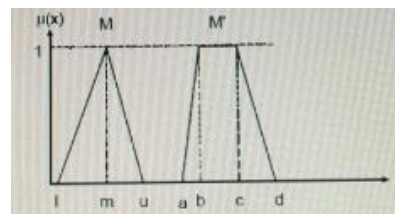
Menurut Ahmed et al (2003) dan Alaghbari (2005) faktor keterlambatan terdisiri dari faktor eksternal dan internal. Faktor internal timbul dari empat pihak yang terlibat dalam proyek pengadaan jasa konstruksi. Pihak-pihak tersebut yaitu owner, kontraktor, konsultan perencana, dan konsultan pengawas sedangkan faktor keterlambatan eksternal disebabkan pihak diluar keempat pihak tadi antara lain pemerintah, supplier, dan cuaca.

2.2. FLASH (*Fuzzy Logic Application for Shedulling*)

FLASH pada dasarnya sama dengan CPM dalam hal *activity on Arrow* (AOA) diagram

dan perhitungannya kecuali karakteristik durasinya. Durasi aktivitas i-j dinyatakan dalam tiga nilai berbeda: batas bawah, paling mungkin, dan batas atas. Karena FLASH mengasumsikan durasi aktivitas dinyatakan dalam bilangan *fuzzy* segitiga, ketiga nilai tersebut merupakan nilai l, m, dan u atau Di-j (l,m,u). Untuk *node* i, *Early start* (Ei), dan *Latest start* (Li) merupakan bilangan *fuzzy* juga tetapi tidak harus selalu bilangan *fuzzy* segitiga (Wibowo, 2001).

Durasi kegiatan dinyatakan dalam TFN (*Triangular Fuzzy Number*) seperti terlihat pada gambar 1



Gambar 1 Kurva Segitiga Bilangan *Fuzzy*

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa fungsi keanggotaan kurva segitiga tersebut adalah sebagai berikut.

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & , x \leq l \\ (x-l)/(m-l) & , l < x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & , m < x \leq u \\ 0 & , x > u \end{cases} \quad (1)$$

Dimana: μ = fungsi keanggotaan (*membership function*), l = waktu optimis, m = waktu normal, u = waktu pesimis, x = nilai *crisp output*

Pada derajat keanggotaan *fuzzy* terdapat nilai α -cut, α -cut dari fuzzy adalah sebuah set ordinary yang anggota *fuzzy* A sekurang-kurangnya mempunyai derajat α . Karena itu, α -cut didefinisikan sebagai:

$$A_\alpha = \{X \in U \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2)$$

$$\alpha_i = 1 - \frac{\sum \text{Faktor penyebab keterlambatan}}{4} \quad (3)$$

α -cut merupakan kasus umum dari sebuah fuzzy. Nilai α -cut didapat dari faktor keterlambatan. Nilai m dikenal sebagai durasi terpendek yang mungkin (*most optimistic time*), u adalah durasi paling lama

(*most pessimistic time*) dan l adalah durasi yang paling mungkin (*most likely time*).

Dalam kaitannya dengan manajemen proyek, bilangan *fuzzy* akan dioperasikan antara lain menurut operasi - operasi sebagai berikut : Misalnya 2 buah TFN $M(a,b,c,d)$ dan $N(e,f,g,h)$.

$$M (+) N = (a + e, b + f, c + g, d + h) \quad (4)$$

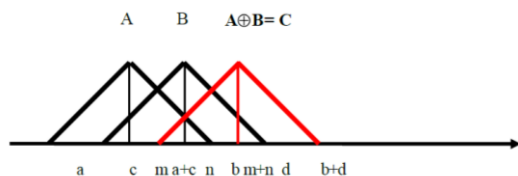
$$M (-) N = (a - h, b - g, c - f, d - e) \quad (5)$$

$$\text{Min}(M, N) = [\wedge(a, e), \wedge(b, f), \wedge(c, g), \wedge(d, h)] \quad (6)$$

$$\text{Max}(M, N) = [\vee(a, e), \vee(b, f), \vee(c, g), \vee(d, h)] \quad (7)$$

dimana M = Bilangan *Fuzzy* yang terdiri dari (a,b,c,d) , N = Bilangan *Fuzzy* yang terdiri dari (e,f,g,h) , $(+)$ = operasi penjumlahan *fuzzy*, $(-)$ = operasi pengurangan *fuzzy*, \vee = maksimum, dan \wedge = minimum

Operasi maksimum dan minimum merupakan perbandingan pada tiap titik dalam dua TFN, dan keluarannya merupakan bilangan-bilangan yang sesuai dengan operatornya (maksimum atau minimum). Jadi misalkan $A(1,5,6)$ dan $B(3,4,7)$, maka $\text{max}(A,B)$ menghasilkan $(3,5,7)$.



Gambar 2. Penjumlahan Dua Bilangan *Fuzzy* Segitiga

Untuk mencari jalur kritis, sebelumnya harus dicari parameter-parameter waktu dari tiap kegiatan yang meliputi:

- FES (*Fuzzy Early Start*) yakni waktu mulai paling awal kegiatan dilaksanakan.
- FEF (*Fuzzy Early Finish*) yakni waktu selesai paling awal dari suatu kegiatan.
- FLS (*Fuzzy Latest Start*) merupakan waktu paling akhir kegiatan dimulai tanpa memperlambat keseluruhan proyek
- FLF (*Fuzzy Latest Finish*) adalah waktu paling akhir kegiatan selesai tanpa memperlambat penyelesaian proyek.

Perhitungan Maju

Pencarian jalur kritis dan parameter waktu kegiatan dimulai dengan proses *forward pass*, yang menghitung FES dan FEF yang diawali dari awal kegiatan sampai ke akhir kegiatan. FES dan FEF dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$FES_x = \max(FEF_p) \quad (8)$$

$$FEF_x = FES_x(+) FD_x \quad (9)$$

Dengan FES_x = waktu mulai tercepat dalam *fuzzy* dari aktivitas x , p = aktivitas yang mendahului, FEF = waktu selesai tercepat dalam bentuk *fuzzy*, FD_x = durasi dari sebuah aktivitas x

Perhitungan Mundur

Proses backward pass dilakukan untuk mencari FLS dan FLF, diawali dengan kegiatan terakhir sampai dengan kegiatan awal. Jika terdapat aktivitas yang mendahului oleh lebih dari satu aktivitas, maka dihitung dahulu fungsi keanggotaan masing-masing aktivitas pendahulu dan dipilih nilai yang paling minimal untuk menentukan aktifitas selanjutnya.

$$FLF_x = \min(FLS_s) \quad (10)$$

$$FLS_x = FLF_x (-) FD_x \quad (11)$$

Dengan FLS_x = waktu paling akhir kegiatan x dimulai, FLF_x = waktu paling akhir kegiatan x selesai, FD_x = durasi dari sebuah aktivitas x

Waktu Ambang (*Floats*)

Menurut Hamzah, Unas, Widiarsa (2012) waktu ambang adalah sejumlah waktu yg tersedia dalam suatu aktifitas sehingga memungkinkan aktifitas tersebut dapat ditunda tanpa menyebabkan penambahan total durasi proyek. Ada tiga tipe waktu ambang, waktu ambang total atau *total float* (TF), waktu ambang bebas atau *free float* (FF), dan waktu ambang independen atau *independent float* (IF).

$$TF_x = FLF_x - FD_x - FES_x \quad (12)$$

$$FF_x = FEF_x - FD_x - FES_x \quad (13)$$

$$IF_x = FES_x - FD_x - FLS_x \quad (14)$$

Sedangkan centroid (C) dari sebuah *fuzzy* (a,b,c) dapat dihitung dengan rumus (Shankar et.al.,2010) :

$$C = \frac{a+b+c}{3} \quad (15)$$

2.3. Estimasi Biaya

Yusuf (2010) mendefinisikan estimasi biaya sebagai proses menaksir hubungan antara biaya-biaya dan pengaruh penyebab biaya tersebut. Estimasi ini merupakan hal penting dalam dunia industri konstruksi. Hal ini dikerjakan sebelum pelaksanaan fisik dilakukan dan memerlukan analisa detail, kompilasi dokumen penawaran dan lainnya. Keakuratan dalam estimasi biaya tergantung pada keahlian dan keaktifan estimator dalam mengikuti seluruh proses pekerjaan dan sesuai dengan informasi terbaru. Biaya Tenaga kerja dan Peralatan dapat dilihat dengan persamaan berikut ini.

$$\text{Biaya} = \text{Harga Satuan} \times \text{Volume} \quad (16)$$

2.4. Hubungan Biaya dan Durasi

Apabila dalam suatu proyek Perencanaan waktu proyek didasarkan pada durasi atau waktu normal untuk kegiatan atau pekerjaan. Durasi normal adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan berdasarkan pengalaman pada proyek sebelumnya, dengan menggunakan sumber daya secara normal seperti: sumber daya manusia pada batas kepadatan, alat umum atau biasa, serta teknologi umum atau biasa. Pengaruh keterlambatan yang terjadi tidak hanya menyebabkan meningkatnya durasi kegiatan, tetapi akan berpengaruh terhadap meningkatnya biaya konstruksi (Ervianto, 2005).

3. METODOLOGI

Studi ini bersifat deskriptif, yaitu menjelaskan bagaimana penerapan teori *fuzzy* dalam menganalisis suatu jadwal konstruksi proyek yang di dalamnya mengandung unsur durasi yang tidak pasti.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode FLASH (*Fuzzy Logic Application for Scheduling*). Perhitungan dilakukan dalam tiga tahap, yaitu perhitungan maju (*early start*), perhitungan mundur (*latest start*) dan perhitungan *float*. Perhitungan maju dilakukan dengan penjumlahan dan *fuzzy* max sedangkan perhitungan mundur dan perhitungan *float* dilakukan dengan pengurangan dan *fuzzy* min. Hasil yang diperoleh dari perhitungan data dengan cara perhitungan maju dan perhitungan mundur adalah kemungkinan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek tersebut, berupa waktu optimis, waktu pesimis dan waktu yang paling mungkin terjadi serta *float* atau waktu ambang yang didalamnya termasuk waktu ambang total, waktu ambang bebas dan waktu ambang independen. Nilai ambang ini menunjukkan jalur kritis proyek yang diamati. Selanjutnya berdasarkan perbandingan durasi minimal dan maksimal yang telah diperoleh dengan durasi normal, dilakukan perhitungan untuk memperoleh biaya minimal dan maksimal proyek.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Faktor Penyebab Keterlambatan

Antisipasi keterlambatan ini dapat dilakukan lebih efektif apabila kontraktor memahami faktor-faktor apa saja yang menyebabkan keterlambatan. Berdasarkan hasil survey keempat faktor ini secara garis besar:

a. Faktor Cuaca (C)

Cuaca yang buruk seperti hujan dan angin kencang dapat mengganggu jalannya proyek. Cuaca ini erat kaitannya dengan periode musim saat pelaksanaan proyek. Pada Proyek yang diteliti, hujan kerap terjadi pada awal-awal proyek.

b. Faktor Kondisi Lapangan (K)

Kondisi lapangan juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan jadwal. Dalam kasus ini, kondisi lapangan atau lokasi peningkatan jembatan berada di atas sungai yang merupakan jalur larva dingin. Sehingga saat terjadi hujan, aliran

sungai menjadi deras. Hal ini menyebabkan kesulitan tersendiri dalam membuat pondasi pada awal-awal pelaksanaan proyek.

c. Faktor Peralatan, Material dan Keuangan (P)

Faktor peralatan, material dan keuangan ini meliputi mobilisasi sumber daya (bahan, alat, tenaga kerja) yang lambat, sulitnya material diperoleh di sekitar lokasi proyek, kerusakan peralatan yang digunakan, inflasi dan keterlambatan pembayaran oleh owner.

d. Faktor Sumber Daya Manusia dan Manajerial (S)

Sumber Daya Manusia dalam hal ini menyangkut seluruh pekerja, tukang, mandor, pelaksana, pengawas hingga perencana. Keterampilan, produktivitas,

jumlah, hingga kedisiplinan menjadi pertimbangan sehingga SDM ini perlu dianalisis sebagai faktor keterlambatan. Adapun manajerial yang dimaksud adalah segala sesuatu terkait perizinan hingga kemampuan pengendalian pelaksanaan proyek.

Setelah mengidentifikasinya, selanjutnya menentukan nilai faktor- faktor tersebut. Penentuan ini dilakukan dengan Kuesioner yang diisi oleh 14 responden dari *stakeholder* yang terlibat langsung dalam proyek yang menjadi studi kasus dan kontraktor sejenis yang ada di Yogyakarta. Tabel 1 di bawah ini merupakan rekapitulasi nilai keempat faktor tersebut.

Tabel 1. Faktor Keterlambatan untuk Setiap Pekerjaan Struktur Jembatan Pules

Pekerjaan	C (%)	K (%)	P (%)	S (%)	Rata-rata (%)
Baja Tulangan U24 Polos	46,79	27,50	9,64	23,57	26,88
Baja Tulangan U24 Polos lanjutan	32,14	19,29	8,93	21,79	20,54
Beton mutu sedang, fc' 20 Mpa	53,57	28,57	18,93	8,57	27,41
Beton mutu sedang, fc' 20 Mpa lanjutan	53,93	18,57	19,29	9,64	25,36
Baja Tulangan U32 Polos	36,43	12,14	10,00	21,07	19,91
Dinding Sumuran Silinder terpasan, diameter 3,50 m	49,64	27,14	23,21	9,64	27,41
Beton Siklop, fc' 15 Mpa	51,07	27,86	17,50	7,50	25,98
Beton mutu sedang, fc' 30 Mpa	51,43	17,50	23,93	10,00	25,71
Beton mutu rendah, fc' 10 Mpa	54,29	11,43	24,64	9,64	25,00
Perletakan Elastomerik Sintetis Ukuran (600x380x60)	27,14	9,29	10,36	10,71	14,38
Penyediaan Unit Pracetak Gelagar Tipe I bentang 20 meter	33,21	8,93	22,14	8,93	18,30
Pemasangan Unit Pracetak Gelagar Tipe I bentang 20 meter	36,43	7,14	41,43	24,64	27,41
Beton mutu rendah, fc' 15 Mpa	52,14	16,79	21,79	7,86	24,64
Baja Prategang	36,79	18,57	23,57	8,21	21,79
Beton Diafragma fc' 30 MPa termasuk pekerjaan penegangan setelah pengecoran (post-tension)	35,36	19,64	42,50	23,57	30,27
Beton mutu sedang, fc' 30 Mpa untuk Lantai Jembatan	47,86	13,21	20,71	19,64	25,36
Pipa Drainase Baja diameter 75 mm	22,14	6,79	10,00	10,71	12,41
Expansion Joint Asphaltic Plug tipe Fixed	32,14	6,79	9,64	10,00	14,64
Expansion Joint tipe Rubber 1	31,07	7,86	10,36	9,64	14,73
Sandaran (Railing)	26,79	5,00	8,93	10,36	12,77
Papan Nama Jembatan	26,79	5,00	11,07	8,57	12,86
Rata-rata	39,86	15,00	18,50	13,06	21,60

4.2. Durasi Proyek dengan FLASH

Selain data hubungan antar kegiatan, durasi kegiatan juga perlu diketahui dalam menyusun jaringan kerja ini. Berbeda dengan CPM, pada FLASH durasi dinyatakan dalam FN (*Fuzzy Number*) yang diperoleh dari data wawancara. Sehingga setiap pekerjaan memiliki 3 jenis durasi yakni waktu optimis, normal dan pesimis. Ketiga durasi inilah yang selanjutnya disebut sebagai FD_x atau Durasi *fuzzy* untuk pekerjaan x.

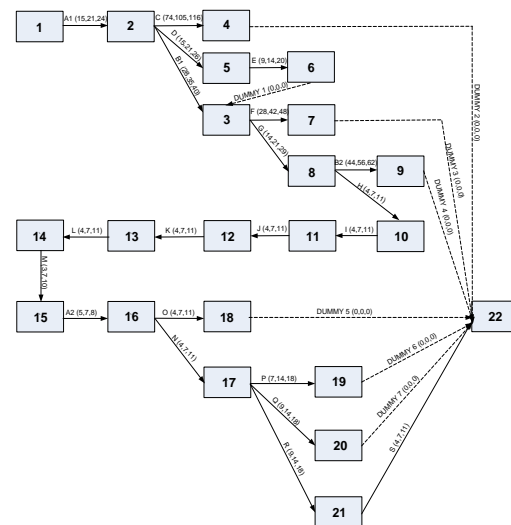
Tabel 2. Durasi Optimis (O), Normal (N), dan Pesimis (P) Setiap Pekerjaan

Pekerjaan	Kode	Durasi		
		O	N	P
Baja Tulangan U24 Polos	A1	15	21	24
Baja Tulangan U24 Polos lanjutan	A2	5	7	8
Beton mutu sedang, fc' 20 Mpa	B1	28	35	40
Beton mutu sedang, fc' 20 Mpa lanjutan	B2	44	56	62
Baja Tulangan U32 Ulir	C	74	105	116
Dinding Sumuran Silinder terpasan, diameter 3,50 m	D	15	21	26
Beton Siklop, fc' 15 MPa	E	9	14	20
Beton mutu sedang, fc' 30 Mpa	F	28	42	48
Beton mutu rendah, fc' 10 Mpa	G	14	21	29
Perletakan Elastomerik Sintetis Ukuran (600x380x60)	H	4	7	11
Penyediaan Unit Pracetak Gelagar Tipe I bentang 20 meter	I	4	7	11
Pemasangan Unit Pracetak Gelagar Tipe I bentang 20 meter	J	4	7	11
Beton mutu rendah, fc' 15 Mpa	K	3	7	10
Baja Prategang	L	4	7	11
Beton Diafragma fc' 30 MPa termasuk pekerjaan penegangan setelah pengecoran (post-tension)	M	4	7	11

Pekerjaan	Kode	Durasi		
		O	N	P
Beton mutu sedang, fc' 30 Mpa untuk Lantai Jembatan	N	4	7	11
Pipa Drainase Baja diameter 75 mm	O	4	7	11
Expansion Joint Aspartic Plug tipe Fixed	P	7	14	18
Expansion Joint tipe Rubber 1	Q	9	14	18
Sandaran (Railing)	R	9	14	18
Papan Nama Jembatan	S	4	7	11

Misalnya, pekerjaan Baja Tulangan U24 Polos lanjutan (A2) didahului oleh pekerjaan Beton Diafragma fc' 30 MPa termasuk pekerjaan penegangan setelah pengecoran (post-tension) (M) dengan durasi *Fuzzy* pengerjaan waktu optimis 5 hari, waktu normal 7 hari, dan waktu pesimis 8 hari.

Jaringan kerja penyelesaian pekerjaan struktur pada proyek peningkatan jembatan Pules. Jaringan ini akan mempermudah memberikan gambaran kegiatan kegiatan yang dilakukan secara tumpang tindih (bersamaan) sehingga perhitungan kebutuhan Jaringan kerja AOA (*Activity On Arrow*) untuk kasus ini dapat dilihat pada Gambar ini.

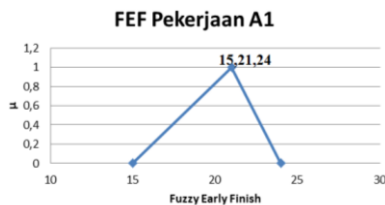


Gambar 3. AOA Pekerjaan Struktur Jembatan Pules

Dalam kasus ini batas fungsi keanggotaan *fuzzy* bukanlah 1 melainkan nilai α cut. Dikarenakan nilai 1 telah dikurangi rerata faktor keterlambatan proyek. Dengan kata lain, nilai α cut ini menunjukkan besarnya kemungkinan terselesaikannya proyek secara tepat waktu untuk setiap pekerjaan.

Perhitungan Maju

Perhitungan maju merupakan perhitungan yang dimulai dari node awal dan bergerak ke akhir untuk menghitung *Fuzzy Early Start* (FES) dan *Fuzzy Early Finish* (FEF). Dari jaringan kerja diatas dapat dilakukan perhitungan maju untuk setiap pekerjaan. Nilai FES pada pekerjaan A1 (Baja Tulangan Polos 24) adalah (0,0,0) karena merupakan pekerjaan pertama yang dilakukan. Maka nilai FES nya adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik FEF Pekerjaan A1

Nilai x merupakan nilai output crisp dari fungsi keanggotaan *fuzzy*. Proses perhitungan ini dimaknai sebagai proses defuzzyfikasi. Pada suatu level α , dalam kasus ini nilai α cut pekerjaan A1 adalah 73,13%, maka x akan menghasilkan 2 nilai yang berbeda yakni untuk keadaan minimal dan keadaan maksimal. Nilai x tersebut adalah:

$$x_1 = 6\alpha + 15$$

$$= 6(0,7313) + 15 \approx 20 \text{ hari}$$

$$x_2 = 24 - 3\alpha$$

$$= 24 - 3(0,7313) \approx 22 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan ini memberikan makna bahwa pekerjaan A1 minimal dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari dan maksimal 22 hari. Dengan cara yang sama diperoleh nilai FES dan FEF pekerjaan selanjutnya.

Perhitungan Mundur

Seperti halnya pada penjadwalan dengan CPM, selain dilakukan perhitungan maju dilakukan pula perhitungan mundur. Perhitungan mundur dilakukan untuk mencari menghitung *Fuzzy Latest Start* (FLS) dan *Fuzzy Earliest Finish* (FEF). Perhitungan dimulai dari kegiatan paling terakhir sampai dengan kegiatan awal.

Dalam kasus ini pengurangan diberlakukan untuk menghitung nilai menghitung FLS dan FEF. Seperti namanya, maka perhitungan dimulai dari ujung belakang (atau kegiatan terakhir) dengan asumsi nilai FLF pada pekerjaan terakhir yakni pekerjaan Papan Nama Jembatan (S) adalah sama dengan nilai FLSnya. Dengan demikian maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai FLSnya sebagai berikut.

$$FLS_s = FLF_s - FD_s$$

$$FLS_s = (102,154,212) - (4,7,11)$$

$$= (102 - 11, 154 - 7, 212 - 4)$$

$$= (130,147,208)$$

Tabel 3. Durasi FES, FEF, NILAI CRIPS OUT, FLS DAN FLF Setiap Pekerjaan

Kode	FES			FEF			Nilai		FLS			FLF		
	O	N	P	O	N	P	X1	X2	O	N	P	O	N	P
A1	0	0	0	15	21	24	20	22	-110	0	110	-86	21	125
A2	80	119	164	85	126	172	118	136	54	119	190	62	126	195
B1	15	21	24	43	56	64	53	59	-80	21	125	-40	56	153
B2	57	77	99	101	133	161	125	141	40	98	168	102	154	212

Kode	FES			FEF			Nilai		FLS			FLF		
	O	N	P	O	N	P	X1	X2	O	N	P	O	N	P
C	15	21	24	89	126	140	119	129	-14	49	138	102	154	212
D	15	21	24	30	42	50	39	45	-86	21	129	-60	42	144
E	30	42	50	39	56	70	52	60	-60	42	144	-40	56	153
F	43	56	70	71	98	118	92	104	54	112	184	102	154	212
G	43	56	70	57	77	99	72	83	-40	56	153	-11	77	167
H	57	77	99	61	84	110	81	88	-11	77	167	0	84	171
I	61	84	110	65	91	121	87	97	0	84	171	11	91	175
J	65	91	121	69	98	132	91	108	11	91	175	22	98	179
K	69	98	132	73	105	143	96	117	22	98	179	33	105	183
L	73	105	143	77	112	154	105	122	33	105	183	44	112	187
M	77	112	154	80	119	164	110	131	44	112	187	54	119	190
N	85	126	172	89	133	183	122	146	62	126	195	73	133	199
O	85	126	172	89	133	183	128	140	91	147	208	102	154	212
P	89	133	183	96	147	201	140	155	84	140	205	102	154	212
Q	89	133	183	98	147	201	140	155	84	140	203	102	154	212
R	89	133	183	98	147	201	141	154	73	133	199	91	147	208
S	98	147	201	102	154	212	148	162	91	147	208	102	154	212

Perhitungan Waktu Ambang

Waktu ambang dalam FLASH bertujuan untuk menentukan titik kritis. Sebagai contoh, dengan berdasarkan pada data-data pada tabel 3, maka untuk pekerjaan A1 (Baja Tulangan U24 Polos) nilai TF, FF, IF dihitung dengan cara berikut.

$$\begin{aligned}
 TF_{A1} &= FLF_{A1} - FD_{A1} - FES_{A1} \\
 &= (-86, 21, 125) - (15, 21, 24) - (0, 0, 0) \\
 &= (-86 - 24 - 0), (21 - 21 - 0), (125 - 15 - 0) \\
 &= (-110, 0, 110)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FF_{A1} &= FEF_{A1} - FD_{A1} - FES_{A1} \\
 &= (15, 21, 24) - (15, 21, 24) - (0, 0, 0) \\
 &= (15 - 24 - 0), (21 - 21 - 0), (24 - 15 - 0) \\
 &= (-9, 0, 9)
 \end{aligned}$$

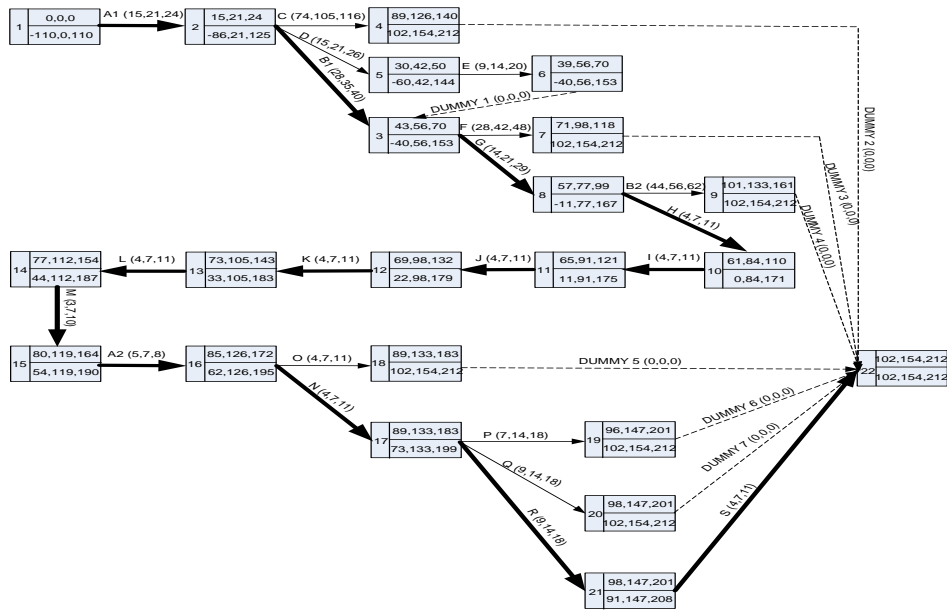
$$\begin{aligned}
 IF_{A1} &= FEF_{A1} - FD_{A1} - FLS_{A1} \\
 &= (15, 21, 24) - (15, 21, 24) - (-110, 0, 110) \\
 &= (15 - 24 - 110), (21 - 21 - 0), (24 - 15 - (-110)) \\
 &= (-119, 0, 119)
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama digunakan untuk memperoleh nilai TF,

FF dan IF untuk semua pekerjaan struktur jembatan. Jalur kritis dalam kasus ini ditunjukkan oleh nilai centroid pada Total Float yang bernilai kurang dari sama dengan 0. ($C \leq 0$). Hal ini menunjukkan bahwa pada pekerjaan tersebut harus diberikan perhatian agar tidak mengalami keterlambatan, karena tidak ada tengang waktu yakni jalur kritis proyek jembatan pekerjaan struktur adalah (A1-B1-G-H-I-J-L-M-A2-N-R-S) yang tervisualisasi pada Gambar 5 dengan jalur anak panah tebal.

4.3. Perhitungan Biaya

Penjadwalan sangat berkaitan erat dengan biaya yang dikeluarkan. Oleh karena itu dengan adanya perubahan penjadwalan maka terjadi pula perubahan biayanya. Biaya yang berhubungan dengan waktu sebagai biaya tidak tetap meliputi biaya tenaga kerja dan biaya penyewaan alat, sedangkan biaya material tidak berubah dalam kasus ini.



Gambar 5. Jalur Kritis pada AOA Pekerjaan Struktur Jembatan Pules

Tabel 4. Biaya Minimal dan Maksimal Setiap Pekerjaan

Kode	Dmin	Dmax	Biaya Min	Biaya Max
A1	20	22	Rp11,622,669.34	Rp11,745,663.19
A2	5	8	Rp3,771,728.24	Rp3,956,219.01
B1	33	37	Rp177,509,476.24	Rp179,434,998.15
B2	53	58	Rp284,111,438.07	Rp286,518,340.46
C	99	107	Rp1,018,006,246.74	Rp1,026,299,848.03
D	19	23	Rp137,183,343.92	Rp137,650,717.72
E	13	15	Rp66,682,211.23	Rp68,160,616.16
F	39	45	Rp1,016,274,874.39	Rp1,026,726,718.62
G	19	24	Rp10,486,223.92	Rp10,650,538.18
H	5	9	Rp69,915,351.29	Rp70,084,648.71
I	6	9	Rp485,000,000.00	Rp485,000,000.00
J	4	11	Rp159,568,476.48	Rp164,091,719.08
K	5	9	Rp23,033,488.37	Rp23,966,511.63
L	5	9	Rp46,250,638.30	Rp80,373,388.93
M	5	9	Rp103,895,600.33	Rp107,313,983.03
N	4	10	Rp135,795,172.99	Rp144,395,789.77
O	4	10	Rp2,743,939.98	Rp2,991,537.46
P	9	18	Rp70,037,194.63	Rp72,454,389.26
Q	9	18	Rp60,317,747.21	Rp62,399,494.43
R	8	19	Rp65,569,555.92	Rp66,358,703.40
S	7	8	Rp1,095,816.60	Rp1,151,260.40
Total	148	162	Rp3,948,871,194.19	Rp4,031,725,085.63

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Faktor-faktor yang teridentifikasi sebagai penyebab keterlambatan proyek konstruksi jembatan Pules adalah faktor cuaca sebesar 39,86%; peralatan, material dan keuangan sebesar 18,5%; kondisi lapangan sebesar 15%; serta SDM dan manajerial sebesar 13,06%.
2. Rencana awal durasi pelaksanaan pekerjaan struktur (Divisi 7) proyek Jembatan Pules adalah 154 hari, setelah dilakukan penjadwalan dengan FLASH didapat durasi paling cepat 148 hari dan paling lambat 162 hari.
3. Rencana awal anggaran biaya pekerjaan struktur (Divisi 7) proyek Jembatan Pules sebesar Rp 3.980.877.382,14 sedangkan dari hasil perhitungan dengan FLASH, anggaran biaya untuk pekerjaan struktur ini adalah minimal sebesar Rp 3.948.871.192,19 dan maksimal Rp 4.031.725.085,63

5.2. Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan memperhitungkan waktu pelaksanaan pekerjaan lainnya, dan akibat perubahan desain apabila ada sehingga estimasi waktu proyek dapat lebih mendekati realita.
2. Dalam suatu penawaran, metode FLASH ini dapat digunakan kontraktor untuk bahan pertimbangan dalam mengajukan suatu total durasi untuk penyelesaian proyek serta rentan biaya yang diajukan. Selain itu, bagi owner dapat dijadikan dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui kemungkinan terselesaikan proyek dalam waktu dan biaya yang diajukan oleh kontraktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin, R., 2011, "Optimasi Penjadwalan Proyek dengan Penyeimbangan Biaya Menggunakan Kombinasi CPM dan Algoritma Genetika", *Jurnal Masyarakat Informatika*, 2 (4).
- Ervianto, W.I, 2005, "*Manajemen Proyek Konstruksi*", Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Hamzah M., Unas S.E., dan Widiarsa, 2012, "Penjadwalan proyek konstruksi dengan metode FLASH (*Fuzzy Logic Application for Scheduling*)", *Jurnal Pengairan*, 2 (1).
- Hasan, H., Jantje B.M., dan Pingkan A.K.P. 2016. "Faktor-faktor Penyebab Keterlambatan pada Proyek Konstruksi dan Alternatif Penyelesaiannya (Studi Kasus di Manado Town Square II)", *Jurnal Sipil Statik*, 4 (11).
- Huda, A.M., 2014, "Perencanaan Penjadwalan Kantor Gedung PT Gersik Jasatama dengan Metode *Fuzzy Logic Application Scheduling* (FLASH)", *Jurnal Matrik*, 16 (2), 23-36.
- Shankar, N.R., Shireesa and Phani B. R., 2010, "*An Analytical Method For Finding Critical Path in a Fuzzy Project Network*". India Department of Applied Mathematics GIS, New Delhi.
- Wibowo A., 2001, "Alternatif Metode Penjadwalan Proyek Konstruksi Menggunakan Teori Set Samar", *Dimensi Teknik Sipil*. 3 (1), 1-8.
- Yusuf, D., 2010, "*Studi Estimasi Biaya Tidak Langsung Proyek Konstruksi Pada Perusahaan Konstraktor Kualifikasi Besar di Daerah Bandung dan Jakarta*". Tesis Program Magister Institut Teknologi Bandung, Bandung.