

Analisis *Rework* Terhadap Biaya pada Proyek Pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya dengan Metode *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Expected Monetary Value (EMV)*

Hansel Samuel Eiros Saragih dan I Putu Artama Wiguna

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: artama@ce.its.ac.id

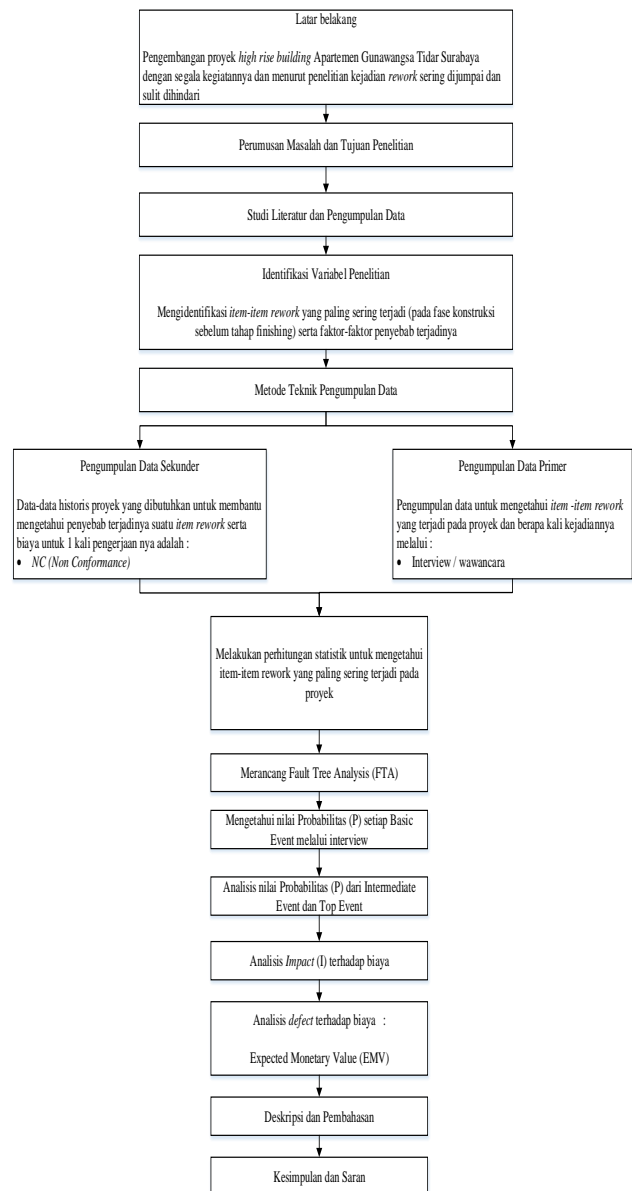
Abstrak—Pada pelaksanaan proyek konstruksi, besar kemungkinan untuk terjadi *rework*. *Rework* merupakan salah satu faktor dalam terjadinya pembengkakan biaya dalam suatu proyek konstruksi, terutama pada proyek *high rise building*. Telah banyak penelitian yang membahas mengenai *rework*. Namun sangat jarang yang membahas mengenai dampak *rework* terhadap biaya menggunakan metode *EMV (Expected Monetary Value)*. Objek pada penelitian ini adalah proyek pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya, periode 2015-2017 yang mengalami pembengkakan biaya akibat *rework*. Oleh karena itu, perlunya diadakan penelitian terhadap biaya akibat faktor-faktor penyebab terjadinya *rework* pada proyek tersebut. Variabel *rework* didapat pertama dari studi pustaka dan survey lapangan. Variabel *rework* kemudian divalidasi kepada beberapa responden yang terlibat untuk mengetahui *item-item rework* yang terjadi pada proyek. Untuk mengetahui *item-item rework* yang paling sering terjadi didapatkan dengan menghitung Mean dan Standar Deviasi. *Item-item rework* tersebut didesain *Fault Tree Analysis (FTA)* nya, lalu dicari probabilitas setiap *Basic Event*. Nilai *Basic Event* digunakan untuk menghitung probabilitas *Intermediate Event* dan *Top Event*. Setelah didapat nilai probabilitas, dilanjutkan dengan menghitung dampak (*impact*) terhadap biaya, untuk menghitung *Expected Monetary Value (EMV)*. Hasil dari penelitian ini adalah *item-item rework* yang sering terjadi pada proyek, seperti *repair kolom/shearwall* yang melembung, *repair kolom/shearwall* yang keropos, *repair kolom/shearwall* yang retak, dan *repair precast facade* yang retak gompal. Faktor-faktor penyebab utama dari setiap *item rework* tersebut dikarenakan adanya Kesalahan Pelaksanaan di Lapangan (*Intermediate Event B*) dan Kesalahan Manajerial oleh *Site Engineering (Intermediate Event C)*, dengan biaya perkiraan (*Expected Monetary Value*) yang terkecil adalah Rp 20.664,00 dan yang terbesar Rp 510.000,00.

Kata Kunci—*Rework, Fault Tree Analysis, Expected Monetary Value.*

I. PENDAHULUAN

REWORk tidak dapat dihindari. Kecil kemungkinan untuk tidak menemui *rework* pada suatu pelaksanaan proyek konstruksi. *Rework* dapat memberikan dampak buruk pada performa dan produktivitas kontraktor. Selain itu, *rework* juga merupakan salah satu kontributor utama pada pembengkakan biaya suatu proyek [1].

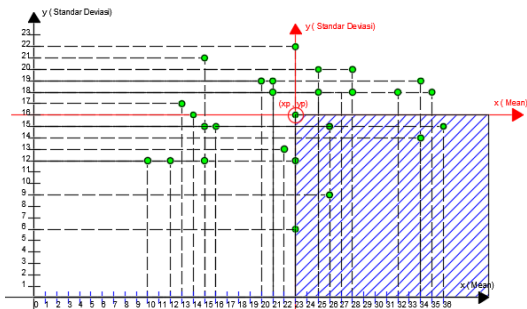
Penelitian *rework* yang telah dilakukan sebelumnya oleh Andi, [2] dalam makalahnya mengenai ‘Faktor-Faktor Penyebab *Rework* pada Pekerjaan Konstruksi’, menuliskan bahwa biaya yang ditimbulkan sebagai akibat dari *rework* cukup signifikan. Sebagai contoh, [3] mengatakan bahwa biaya *nonconformance (NC)* pada suatu proyek *highway* yang ditelitinya adalah sebesar 5% dari nilai kontrak. Dalam



Gambar 1. Diagram Alir Penyelesaian Studi.

penelitian yang lain di beberapa proyek, [4] menyebutkan bahwa biaya rata-rata yang dikeluarkan untuk memperbaiki masalah kualitas adalah 12,4% dari nilai kontrak. Sementara itu [5] bahkan menemukan biaya karena kegagalan kualitas mencapai 25%. *Rework* juga membawa dampak tidak langsung. Biaya-biaya administrasi (seperti *overhead* dan *paperwork*) dan menurunnya produktivitas, motivasi, dan moral pekerja dan personel adalah sedikit contoh dari dampak

- Gambar diagram kartesius dengan Mean sumbu x dan Standar Deviasi sebagai sumbu y, dan lakukan *plotting* antara Mean dengan Standar Deviasi dari setiap *item rework*.
- Mencari nilai rata-rata dari Mean (x_p) dan nilai rata-rata dari Standar Deviasi (y_p)
- Kemudian, (x_p, y_p) akan menjadi sebuah titik pusat baru dari diagram kartesius baru.



Gambar 2. Diagram Kartesius Baru

5. Dari diagram kartesius baru tersebut, kuadran 4 diarsir sebagai *item-item rework* yang ditinjau, karena :

- Nilai Mean (x) nya paling besar dibandingkan dengan kuadran lainnya, yang menunjukkan bahwa *item-item rework* yang ada pada kuadran ini adalah yang paling sering terjadi.
- Nilai Standar Deviasi (y) yang paling kecil dibandingkan dengan kuadran lainnya, menunjukkan ragam data di kuadran 4 kecil. Atau bisa dikatakan bahwa pendapat para responden mengenai *item-item rework* yang ada di kuadran ini kurang beragam / kesamaan pendapat. Para responden berpendapat sama bahwa *item-item rework* pada kuadran ini paling sering terjadi di proyek.

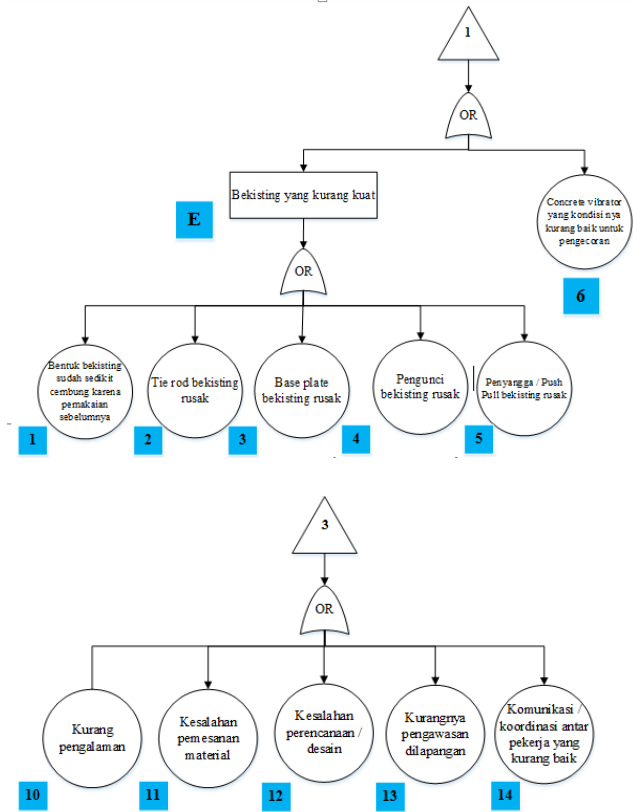
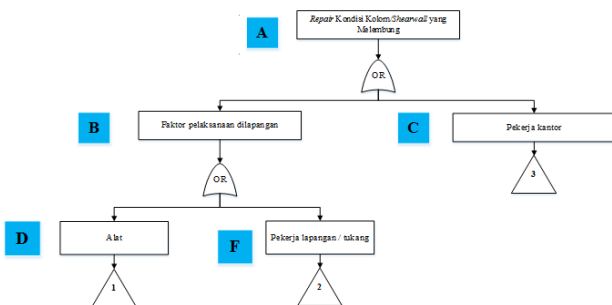
Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kuadran 4 terdapat 4 koordinat yang bertemu, sehingga perlu ditinjau:

- Repair* kolom/*shearwall* yang melembung
- Repair* kondisi kolom / *shearwall* yang keropos
- Repair* kondisi dinding kolom / *shearwall* yang retak
- Repair precast facade* yang retak gompal

6. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab dari masing-masing *item rework* tersebut melalui *interview* kepada responden-responden yang sama dengan sebelumnya.

C. *Fault Tree Analysis (FTA) dan Minimum Cut Set*

Fault Tree Analysis (FTA) adalah sebuah analisis kualitatif untuk menjelaskan dalam bentuk diagram sebab-sebab kerusakan sebuah sistem. *FTA* dalam Studi ini bertujuan untuk menjabarkan faktor-faktor penyebab dari keempat *item rework* yang paling sering terjadi pada proyek ini. Berikut adalah contoh *FTA* untuk *Repair Kolom/Shearwall* yang Melembung:



Gambar 3. *FTA Repair Kolom/Shearwall* yang Melembung

Setelah mendesain *Fault Tree Analysis* maka akan ditentukan *minimum cut set*. *Cut Set* adalah berbagai *Basic Event* yang memungkinkan terjadinya sebuah *Top Event*. *MOCUS (Method for Obtaining Cut Sets)* adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan (*Basic Events*) faktor-faktor utama pada kegagalan suatu sistem, yang dalam hal ini adalah faktor –faktor penyebab terjadinya suatu *item rework*, dapat dilihat pada Tabel 4 – Tabel 8.

Tabel 4
Faktor-Faktor Penyebab Kolom/*Shearwall* Melembung

Repair Kolom / Shearwall yang Melembung	
No. Basic Event	Nama Basic Event
1	Bentuk bekisting sudah sedikit cembung karena pemakaian sebelumnya
2	Tie rod bekisting rusak
3	Base plate bekisting rusak
4	Pengunci bekisting rusak
5	Penyangga / push pull bekisting rusak
6	Concrete vibrator yang kondisinya kurang baik untuk pengecoran
7	Kesalahan pemasangan penyangga besi untuk tulangan
8	Penggunaan concrete vibrator kurang benar saat pengecoran
9	Jumlah tie rod yang dipasang kurang / tidak sesuai dengan tinggi kolom
10	Kurang pengalaman
11	Kesalahan pemesanan material
12	Kesalahan perencanaan / desain
13	Kurangnya pengawasan dilapangan
14	Komunikasi / koordinasi antar pekerja yang kurang baik

Tabel 5.
Faktor-Faktor Penyebab Kolom/*Shearwall* Keropos

Repair Kolom / Shearwall yang Keropos	
No. Basic Event	Nama Basic Event
1	Pembesian dilaksanakan kurang benar, sehingga selimut beton terlalu tipis
2	Kesalahan pemasangan tebal triplek, tidak 12 mm
3	Kesalahan cara pelepasan bekisting
4	Penggunaan concrete vibrator kurang benar saat pengecoran
5	Terlalu cepat membongkar bekisting disaat beton belum kering
6	Bekisting tidak dibersihkan terlebih dahulu sebelum dipasang
7	Kurang pengalaman
8	Kesalahan pemesanan material
9	Kesalahan perencanaan / desain
10	Kurangnya pengawasan dilapangan
11	Komunikasi / koordinasi antar pekerja yang kurang baik

Tabel 7.
Faktor-Faktor Penyebab Kolom/Shearwall Retak

Repair Kolom / Shearwall yang Retak	
No Basic Event	Nama Basic Event
1	Tulangan mengalami korosi
2	Suhu campuran beton terlalu tinggi saat beton mengalami perkerasan
3	Agregat halus / pasir yang masih bercampur dengan lumpur
4	Adukan cor terlalu encer sehingga air semen keluar dari cetakan
5	Concrete vibrator kondisinya kurang baik untuk pengecoran
6	Cara penggunaan concrete vibrator kurang benar saat pengecoran
7	Kurangnya curing pada beton
8	Kurang pengalaman
9	Kesalahan pemesanan material
10	Kesalahan perencanaan / desain
11	Kurangnya pengawasan
12	Komunikasi / koordinasi antar pekerja yang kurang baik

Tabel 8.
Faktor-Faktor Penyebab Precast Facade yang Retak

Repair Precast Facade yang Retak Gompal	
No. Basic Event	Nama Basic Event
1	Kesalahan pemasangan chain block pada precast
2	Material handling yang salah
3	Beton precast belum waktunya diangkat (2 hari), sudah diangkat
4	Pemasangan jarak antar tulangan precast yang terlalu jauh
5	Kesalahan pemasangan transfer beam pada chain block
6	Kurang pengalaman
7	Kesalahan pemesanan material
8	Kesalahan perencanaan / desain
9	Kurangnya pengawasan dilapangan
10	Komunikasi / koordinasi antar pekerja yang kurang baik

D. Nilai Probabilitas (P)

3.4.1 Nilai Probabilitas (P) setiap Basic Event

Setelah diketahui Basic Event dari setiap item rework, dilakukan interview kepada responden-responden yang sama, untuk mengetahui probabilitas (P) dari masing-masing Basic Event tersebut. Nilai probabilitas adalah pada skala 0% - 100% atau 0 - 1. Pada tahap ini, masing-masing responden akan melakukan expert judgement untuk menentukan probabilitas (P) setiap Basic Event.

Karena nilai probabilitas setiap basic event beragam, maka jawaban setiap responden akan dicari nilai rata-ratanya (mean), sehingga didapatkan 1 nilai probabilitas untuk masing-masing basic event.

$$\text{Probabilitas (P) sebuah basic event} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Keterangan:

x1 = probabilitas dari responden pertama (ke-1)

x2 = probabilitas dari responden kedua (ke-2)

xn = probabilitas dari responden ke-n (ke-3, ke-4, dst.)

n = jumlah responden responden

3.4.2 Nilai Probabilitas (P) Intermediate Event

Setelah diketahui nilai probabilitas dari setiap Basic Event, maka nilai probabilitas dari Intermediate Event dapat dihitung. Berdasarkan hasil analisis, ditunjukkan bahwa keseluruhan fault tree dari setiap item rework hanya dihubungkan dengan OR Gate (Δ). Sehingga, rumus perhitungan probabilitasnya adalah sebagai berikut :

$$P = 1 - [(1 - P_n)(1 - P_n)]$$

Keterangan :

P = Probabilitas dari Intermediate Event

Pn = Probabilitas dari Basic Event yang terhubung dengan suatu Intermediate Event

Berdasarkan perhitungan, didapatkan Faktor Kesalahan Pelaksanaan di Lapangan (Intermediate Event B) dan Faktor Kesalahan Manajerial oleh Site Engineering (Intermediate Event C) sebagai faktor penyebab utama dari terjadinya keempat item rework yang telah disebutkan sebelumnya. Untuk nilai probabilitas Intermediate Event B

& Intermediate Event C setiap item rework adalah sebagai berikut:

Tabel 9.
Nilai Probabilitas (P) Intermediate Event

No.	Item Rework	Intermediate Event	Probabilitas (P)
1	Repair Kondisi Kolom / Shearwall yang Melembung	B	1
		C	0,67
2	Repair Kolom / Shearwall yang Keropos	B	1
		C	0,92
3	Repair Kondisi Kolom / Shearwall yang Retak	B	1
		C	0,67
4	Repair Kondisi Precast Facade yang Retak Gompal	B	1
		C	0,92

3.1. Impact (I) terhadap biaya

Impact (I) / dampak yang dimaksud dalam penelitian ini adalah impact terhadap biaya dari item rework yang paling sering terjadi pada proyek Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya. Untuk harga satuan setiap bahan baku dari masing-masing item rework tersebut didapat melalui interview pada pihak QC (Quality Control) atau didapat dari data sekunder berupa NC (Non Conformance) milik kontraktor.

Pada poin ini diketahui bahwa masing-masing item rework memiliki volume pekerjaan yang beragam. Namun pada Studi ini hanya membahas volume pekerjaan yang terkecil dan terbesar saja. Dikarenakan ada 2 volume pekerjaan, maka nilai impact-nya pun ada 2, impact minimum dan maksimum. Untuk impact (i) minimum dan maksimum setiap item rework dapat dilihat pada Tabel 10:

Tabel 10.
Nilai Impact (I) dari setiap Item Rework

No.	Item Rework	Impact (I)	
		Min.	Maks.
1	Repair Kolom/ Shearwall yang Melembung	Rp 136.000,00	Rp 237.000,00
2	Repair Kolom/ Shearwall yang Keropos tanpa Tulangan Terekspos	Rp 35.000,00	Rp 105.000,00
	Repair Kolom/ Shearwall yang Keropos dengan Tulangan Terekspos	Rp 102.000,00	Rp 204.000,00
3	Repair Kolom/ Shearwall yang Retak	Rp 170.000,00	Rp 510.000,00
4	Repair Precast Facade yang Retak Gompal	Rp 35.000,00	Rp 70.000,00

Pada Tabel 10 diketahui impact terhadap biaya dari setiap item rework yang sering terjadi pada proyek, yang dalam hal ini terdapat rework untuk volume kerusakan terkecil dan terbesar. Untuk kasus repair kolom/shearwall yang melembung, impact nya sebesar Rp 136.000,00 (terkecil) dan Rp 237.000,00 (terbesar). Begitu halnya dengan ketiga item rework yang lain.

3.2. Expected Monetary Value (EMV)

EMV dalam hal ini bertujuan untuk menghitung biaya perkiraan akibat faktor-faktor penyebab awal (Intermediate Events tingkat 1) dari masing-masing item rework yang paling sering terjadi pada proyek ini. Faktor-faktor penyebab awal dari setiap item rework adalah sama yaitu, Faktor Kesalahan Pelaksanaan di Lapangan (Intermediate Event B) dan Faktor Kesalahan Manajerial oleh Site Engineering (Intermediate Event C). Rumus EMV adalah:

$$EMV = P \times I$$

Keterangan:

P = Probabilitas / Probability Intermediate Event B atau Intermediate Event C. (Diketahui pada poin 4.4)

I = Impact minimum dan maksimum dari Intermediate Event B ataupun Intermediate Event C (Diketahui pada poin 4.5)

Pada Tabel 11 diketahui nilai *EMV* dari *Intermediate Event B* dan *C* untuk setiap *item rework* yang paling sering terjadi pada proyek, yang dalam hal ini terdapat *rework* untuk volume kerusakan terkecil dan terbesar. Untuk kasus repair kolom/*shearwall* yang melembung, *EMV* akibat *Intermediate Event B* sebesar Rp 136.000,00 (terkecil) dan Rp 237.000,00 (terbesar). Sedangkan *EMV* akibat *Intermediate Event C* sebesar Rp 91.120,00 (terkecil) dan Rp 158.790,00 (terbesar). Begitu halnya dengan ketiga *item rework* yang lain.

Tabel 11.
Nilai *EMV* dari setiap *Item Rework*

No.	Item Rework	Intermediate Event	EMV (Expected Monetary Value)	
			Min.	Maks.
1	Repair Kolom / Shearwall yang Melembung	B	Rp 136.000,00	Rp 237.000,00
		C	Rp 91.120,00	Rp 158.790,00
2	Repair Kolom / Shearwall yang Keropos tanpa Tulangan Terekspos	B	Rp 35.000,00	Rp 105.000,00
		C	Rp 32.200,00	Rp 96.600,00
		B	Rp 102.000,00	Rp 204.000,00
		C	Rp 93.840,00	Rp 187.600,00
3	Repair Kolom / Shearwall yang Retak	B	Rp 170.000,00	Rp 510.000,00
		C	Rp 113.900,00	Rp 341.700,00
4	Repair Precast Facade yang Retak Gompal	B	Rp 35.000,00	Rp 70.000,00
		C	Rp 32.200,00	Rp 64.400,00

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil pembahasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat 4 *item rework* yang sering terjadi di proyek pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar, yaitu:
 - a. *Repair Kolom / Shearwall* yang Melembung
 - b. *Repair Kolom / Shearwall* yang Keropos
 - c. *Repair Kolom / Shearwall* yang Retak
 - d. *Repair Precast Facade* yang Retak Gompal
2. Faktor-faktor penyebab awal (*Intermediate Event* tingkat 1) dari terjadinya setiap *item rework* tersebut adalah sama, yaitu:
 - a. Faktor Kesalahan Pelaksanaan di Lapangan (*Intermediate Event B*)

- b. Faktor Kesalahan Manajerial oleh *Site Engineering* (*Intermediate Event C*)

3. Diketahuinya biaya perkiraan (*EMV*) akibat *Intermediate Event B* dan *Intermediate Event C* dari keempat *item rework*. Secara global, *EMV* yang terkecil sebesar Rp 32.200,00 dan yang terbesar Rp 510.000,00.

B. Saran

Pada penelitian ini diharapkan metode-metode yang telah digunakan juga diaplikasikan untuk *item-item rework* pada tahap *finishing* nantinya, dalam hal ini adalah menjabarkan faktor-faktor penyebab dengan metode *FTA* dan menghitung biaya setiap faktor penyebab dengan metode *EMV*. Diharapkan untuk pengembangan lebih lanjut dapat menggunakan data sekunder yang lengkap (*NC/Non-Conformance*, laporan harian proyek, berita acara, dll) untuk mencari probabilitas *basic event* dan *impact* terhadap biaya dari *item rework*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Andi, Winata and Y. Hendarlim, "Faktor-Faktor Penyebab Rework pada Pekerjaan Konstruksi," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 7, no. 1, pp. 22–29, 2005.
- [2] S. Winata and Y. Hendarlim, "Studi mengenai Faktor-Faktor Penyebab Rework pada Proyek di Surabaya," Surabaya, 2004.
- [3] H. Abdul-Rahman, "The Cost of Non-Conformance during a Highway Project: A Case Study," *Constr. Manag. Econ.*, 2004.
- [4] J. L. Burati, J. J. Farrington, and W. . Ledbetter, "Causes of Quality Deviations in Design and Construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 118, no. 1, pp. 34–39, 1992.
- [5] P. Barber, D. Sheath, C. Timkins, and A. Graves, "The Cost of Quality Failures in Major Civil Engineering Projects," *Int. J. Qual. Reliability Manag.*, vol. 17, no. 4/5, pp. 479–492, 2000.
- [6] P. F. Kaming, P. O. Olomaiye, P. O. Holt, G. D. Holt, and H. FC, "Factors Influencing Craftsmen's Productivity in Indonesia," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 15, no. 1, pp. 21–30, 1997.
- [7] S. Budi, *Manajemen Proyek Konsep & Implementasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [8] K. Rahardjo, "Analisis Rework pada Konstruksi Gedung di Kabupaten Bondowoso," Surabaya, 2011.