

## Pengembangan Model Penyebab Rework Pada Pekerjaan Konstruksi Infrastruktur Jalan Dengan Pendekatan Sistem Dinamik

A.A Bagus Oka Khrisna Surya<sup>1,\*</sup>, I Putu Artama Wiguna<sup>1</sup>, Erma Suryani<sup>2</sup>

Departemen Teknik Sipil, ITS, Surabaya<sup>1</sup>, Departemen Sistem Informasi, ITS, Surabaya<sup>2</sup>

Koresponden\*, Email: [agungoka90@gmail.com](mailto:agungoka90@gmail.com)

Info Artikel	Abstract
Diajukan 27 Juli 2017 Diperbaiki 6 Desember 2017 Disetujui 7 Desember 2017	<i>Budget wasting in transportation infrastructure project like road project, is often caused by rework, it's also affecting the budget, rework also become significant contributor for time wasted to tardiness of the project. Based on preliminary survey results from 32 road project sites in Bali, NTB and NTT regions in 2013 and 2014 there were an average of 3 rework events in each location. This research is intended to develop an optimum scenario to minimize rework on the road infrastructure project using simulation and modeling. The research variable is formulated based on the literature study measured with Likert scale. The first model is using Causatic Diagram that will be developed into Stock Flow Diagram with System Dynamic approach. From the analysis, obtained optimum solution to minimizing the number of rework by conducting asphaltting activities in the dry months with providing training regularly and suitably also recruiting experienced workers and project supervisor.</i>
<i>Keywords: Road infrastructure project, Rework, System dynamic, Modelling</i>	<b>Abstrak</b> Pemborosan biaya dalam proyek infrastruktur transportasi seperti proyek jalan sering kali disebabkan oleh timbulnya <i>rework</i> , <i>rework</i> juga menjadi kontributor yang signifikan untuk pemborosan waktu yang menyebabkan keterlambatan. Berdasarkan hasil survei pendahuluan dari 32 lokasi proyek jalan pada wilayah Bali, NTB dan NTT di tahun 2013 dan 2014 diperoleh rata-rata terjadi 3 kejadian <i>rework</i> di tiap lokasinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model kejadian <i>rework</i> pada proyek infrastruktur jalan khususnya di wilayah Bali, NTB dan NTT. Variabel penelitian dirumuskan berdasarkan hasil studi literatur dengan pengukuran menggunakan skala tingkat persetujuan. Model awal menggunakan bentuk Diagram Kausatik yang kemudian dikembangkan menjadi <i>Stock Flow Diagram</i> dengan simulasi menggunakan pendekatan Sistem Dinamik. Dari hasil analisis dan simulasi pada model diperoleh solusi optimum dalam meminimalisir jumlah <i>rework</i> dengan melakukan kegiatan pengaspalan di bulan-bulan kemarau, memberikan pelatihan dan seminar secara berkala dan berkesesuaian untuk para pekerja serta pengawas dan merekrut pekerja dan pengawas yang berpengalaman.
Kata kunci: Proyek infrastruktur jalan, Pekerjaan ulang, Sistem dinamik, Pemodelan	

### 1. Pendahuluan

Pemenuhan kebutuhan akan infrastruktur jalan yang memadai dibutuhkan untuk percepatan pertumbuhan ekonomi, sosial dan politik suatu daerah. Salah satu indikator keberhasilan proyek pembangunan infrastruktur jalan dapat diukur dari serapan anggaran dan ketepatan waktu penyelesaian. Dengan jumlah anggaran yang dialokasikan bersifat tetap ditambah lingkup wilayah pembangunan yang besar, maka pemborosan biaya dan keterlambatan tidak boleh terjadi. Pemborosan biaya dalam proyek-proyek infrastruktur transportasi seperti proyek jalan, sering kali disebabkan oleh timbulnya pekerjaan ulang atau *rework*[1], [2].

Biaya dari *rework* pada kebanyakan proyek-proyek konstruksi terbilang besar, berkisar pada rentan 5% hingga 20% dari nilai kontrak[1]. Selain berdampak pada biaya, *rework* juga menjadi kontributor yang signifikan terhadap pemborosan waktu dan keterlambatan jadwal dari suatu

proyek[3],[4]. *Rework* rata-rata menambah waktu yang diperlukan untuk penyelesaian proyek sebesar 22 % dari waktu yang direncanakan[2]. Selain itu *rework* juga telah terindikasi sebagai penyebab kedua untuk hilangnya produktivitas pekerja dan merupakan masalah yang sering timbul baik pada pekerjaan desain maupun konstruksi[5].

Jika mempertimbangkan bahwa dampak buruk yang disebabkan oleh *rework* cukup banyak maka usaha-usaha untuk menguranginya sangat diperlukan, namun pencapaian tujuan ini tidak akan berhasil dengan baik apabila usaha-usaha tersebut dilakukan secara sporadis tanpa mengetahui sistem aktual didalam kejadian *rework* tersebut, salah satu cara untuk dapat merepresentasikan suatu sistem agar mudah dipahami dapat dilakukan dengan pemodelan. Selain itu dengan menggunakan model kita tidak perlu takut akan dampak resiko terhadap sistem aktual saat melakukan eksperimen dengan berbagai tujuan tentunya[6].

Pada penelitian sebelumnya, Love dkk mengembangkan sebuah model kebijakan *procurement* dalam rangka mengurangi *rework* dalam proyek gedung, namun dalam pemodelan tersebut fokus pembuatan model hanya ditujukan untuk mengurangi *rework* di tahap desain yang mengakibatkan variabel penyebab yang dieksplorasi hanya di fase prakonstruksi, sedangkan Aiyetan dkk juga mengembangkan model *rework* untuk proyek konstruksi umum dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik, kelemahannya model masih bersifat konseptual sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk model belum valid[2],[7].

Menurut Forcada, *rework* pada proyek infrastruktur jalan memiliki dinamika dalam proses terjadinya, maka antar variabel penyebabnya memiliki karakteristik hubungan sebab-akibat terhadap suatu besaran yang berubah terhadap waktu, sehingga pada penelitian ini akan mengembangkan model kejadian *rework* pada proyek jalan dengan pendekatan sistem dinamik dengan ditinjau di tahap berlangsungnya kegiatan konstruksi dimana bentuk modelnya akan divalidasi secara kuantitatif[8].

## 2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan studi eksploratif, artinya penelitian ditujukan terhadap populasi tertentu yang dimaksudkan untuk mengeksplorasi bentuk suatu fenomena dengan jalan mendeskripsikan sejumlah variabel yang berkenaan dengan masalah yang diteliti. Fenomena yang dikaji adalah peristiwa *rework* dengan objek 32 proyek infrastruktur jalan di daerah Bali, NTB dan NTT.

Populasi penelitian adalah pihak *owner* proyek, responden digunakan hanya untuk mengeksplorasi peristiwa aktual terjadinya *rework* menggunakan teknik wawancara dengan variabel penyebab diperoleh dari hasil kuisioner yang interaksi hubungan antar variabelnya dideskripsikan dalam bentuk Kausatik Diagram. Pengembangan model menggunakan pendekatan sistem dinamik, yang mana model Kausatik Diagram nantinya direpresentasikan dalam bentuk *Stock Flow Diagram (SFD)*. Nilai input variabel pada SFD diperoleh dari pengumpulan data sekunder, sedangkan bentuk hubungan antar variabel diinterpretasikan dalam bentuk formulasi matematika yang diperoleh menggunakan bantuan regresi linear berganda. Validasi model menggunakan perbandingan rata-rata dan perbandingan variasi amplitudo, yang keduanya membandingkan antara hasil simulasi dengan data historis menggunakan syarat validitas tertentu.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Populasi penelitian adalah pihak *owner* yaitu para pejabat pembuat komitmen (PPK) di Direktorat Jenderal Bina Marga Balai Pelaksanaan Jalan Nasional yang membawahi pelaksanaan pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan untuk wilayah Indonesia bagian Tengah dan Timur. Responden berjumlah 8 orang yang berpengalaman dalam menangani proyek infrastruktur jalan rata – rata > 15 tahun dengan mayoritas bergelar S2, statistik deskriptif untuk profil responden disediakan pada tabel 1 dan tabel 2.

**Tabel 1.** Profil Pendidikan Responden

Deskripsi	Jumlah Responden	Persentase (%)
Strata Pendidikan		
1. S1	1	12,5
2. S2	7	87,5
3. S3	0	0
Total	8	100

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 2.** Profil Pengalaman Responden

Deskripsi	Jumlah Responden	Persentase (%)
Pengalaman		
1. <5 tahun	0	0
2. 5-9 tahun	1	12,5
3. 10-15 tahun	1	12,5
4. >15 tahun	6	75
Total	8	100

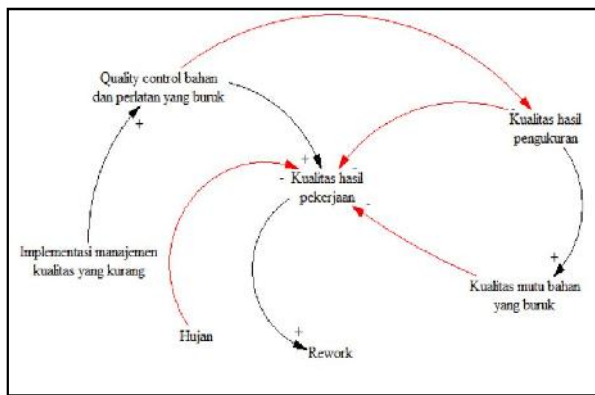
Sumber: Hasil Analisis

*Owner* dipilih sebagai populasi penelitian dikarenakan pihak *owner* lebih mengetahui detail peristiwa *rework* yang terjadi serta lebih terbuka dalam memberikan penjelasan mengenai detail peristiwa *rework* tersebut, jika dibandingkan dengan pihak kontraktor. Responden berjumlah 8 orang yang mana jumlah tersebut terbilang sedikit tetapi, respon yang diperoleh dapat dikatakan berkualitas dikarenakan mayoritas kompetensi dari para responden rata-rata memiliki pengalaman >18 tahun dalam menangani proyek infrastruktur jalan serta menyandang gelar *master degree (S2)* dalam bidang keilmuan teknik sipil.

Model peristiwa *rework* dideskripsikan ke dalam bentuk kausatik diagram yang dapat dilihat pada gambar 1. Variabel penyebab dirumuskan dari beberapa studi literatur yang relevansinya diperoleh menggunakan bantuan kuisioner, sedangkan bentuk hubungan antar variabelnya dieksplorasi menggunakan teknik wawancara, tiap responden diajukan pertanyaan yang sama apakah pernah mengalami kejadian

*rework* pada proyek yang pernah/sedang ditangani, jika pernah maka responden tersebut diminta untuk menceritakan detail kejadiannya, tiap cerita dirangkum dalam bentuk diagram kausatik yang divalidasi secara oral kepada responden yang bersangkutan, apakah bentuk model sudah sesuai mencerminkan kejadian aktualnya.

Hubungan antar variabel pada diagram kausatik dinyatakan dalam bentuk tanda panah, ekor dari anak panah menunjukkan *causation* (penyebab) sedangkan kepala dari anak panah menunjukkan *effect* (dampak) dari suatu penyebab. Jika variabel pada ekor anak panah berbanding lurus terhadap variabel pada kepala anak panah, maka anak panah yang menghubungkan variabel tersebut bernilai positif (+). Sedangkan jika variabel pada ekor anak panah berbanding terbalik terhadap variabel pada kepala anak panah, maka anak panah yang menghubungkan variabel tersebut bernilai negatif (-).



**Gambar 1.** Model Kausatik Diagram (Sumber: Hasil Analisis)

Agar model mampu menggambarkan struktur aliran secara rinci dan matematis, maka model kausatik diagram perlu diubah ke bentuk model *stock flow diagram* (SFD).

*Stock flow diagram* menggambarkan hubungan antar variabel dan sudah dinyatakan dalam bentuk simbol – simbol, yaitu simbol yang menunjukkan *level* atau *stock*, *rate*, *auxiliary* dan *source* atau *sink*. *Level* menyatakan kondisi sistem pada setiap saat, merupakan akumulasi yang terjadi di dalam sistem. *Rate* merupakan suatu struktur kebijaksanaan yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan kepada informasi yang tersedia di dalam sistem, *rate* inilah satu-satunya variabel dalam model yang dapat mempengaruhi *level*. *Auxiliary* adalah beberapa hal yang dapat melengkapi variabel *stock* dan *rate* dalam memodelkan sistem dinamik, sedangkan *source* atau *sink* adalah rangkaian komponen-komponen diluar batas model.

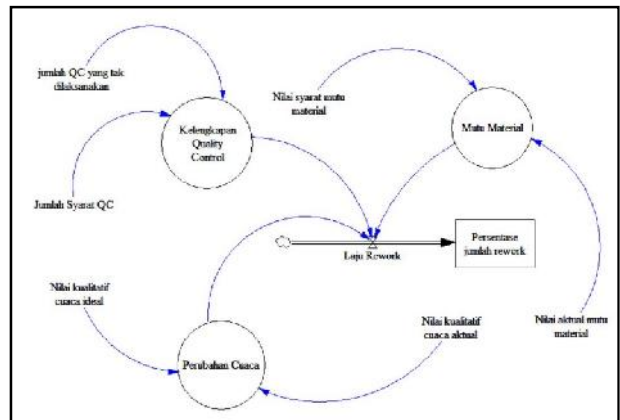
Bentuk *stock flow diagram* kejadian *rework* dapat dilihat pada gambar 2.

Dari model SFD pada gambar 2 dapat dilihat bahwa model memiliki 3 *auxiliary* yang mempengaruhi *rate* penambahan jumlah *rework*, yang mana *rate* tersebut mempengaruhi laju penambahan *level* persentase jumlah *rework*. *Auxiliary* sendiri juga dipengaruhi oleh beberapa parameter, nilai tiap *auxiliary* diperoleh menggunakan persamaan perbandingan antara 2 parameter yang mempengaruhinya, dimana nilai untuk tiap parameter diperoleh dari hasil pengumpulan data sekunder pada 32 proyek jalan di daerah Bali, NTB dan NTT seperti laporan *Marshall Test*, daftar simak *quality control* dan laporan harian proyek. Nilai untuk tiap *auxiliary* dapat dilihat pada tabel 2.

Perumusan formulasi pada *rate* menggunakan metode regresi linear berganda, dimana ketiga *auxiliary* bertindak sebagai *independent variables* (variabel bebas) sedangkan *level* bertindak sebagai *dependent variables* (variabel terikat) yang diolah menggunakan program SPSS. Nilai input *level* diperoleh dari laporan hasil audit teknis jumlah kejadian *rework* dari 32 proyek sebelumnya. Dari hasil olahan diperoleh persamaan *rate* laju penambahan jumlah *rework* sebagai berikut:

$$Y = 3,436 - 2,523(X_1) + 0,343(X_2) - 0,461(X_3) \tag{1}$$

dimana *y* adalah persentase jumlah *rework*, *X<sub>1</sub>* adalah nilai mutu material, *X<sub>2</sub>* adalah nilai kelengkapan *quality control* dan *X<sub>3</sub>* adalah nilai perubahan cuaca.



**Gambar 2.** Model Stock Flow Diagram

Untuk menentukan apakah model telah merepresentasikan sistem yang sebenarnya dengan tepat dan memenuhi tujuan dari pembuatan model secara keseluruhan maka perlu dilakukan validasi terhadap model tersebut [9]. Validasi

model merupakan proses pengujian terhadap model apakah model yang dibuat sudah sesuai dengan sistem aktual.

**Tabel 2.** Nilai *Auxiliary* Model SFD Kejadian *Rework*

Kode lokasi proyek	Nilai <i>Auxiliary</i>		
	Mutu material	Kelengkapan QC	Perubahan cuaca
L.1	0,936	0,306	0,500
L.2	0,994	0,167	1,000
L.3	0,967	0,417	0,500
L.4	0,997	0,306	0,750
L.5	0,972	0,389	0,500
L.6	0,999	0,000	1,000
L.7	0,987	0,361	0,500
L.8	0,989	0,361	0,500
L.9	1,000	0,333	0,750
L.10	0,987	0,444	0,500
L.11	0,993	0,417	1,000
L.12	0,991	0,444	1,000
L.13	0,978	0,444	1,000
L.14	0,987	0,472	0,750
L.15	0,983	0,472	0,750
L.17	0,990	0,250	1,000
L.18	0,995	0,444	0,750
L.19	0,983	0,472	0,500
L.20	0,998	0,361	1,000
L.21	0,944	0,500	0,250
L.22	0,985	0,444	1,000
L.23	0,938	0,444	0,250
L.24	0,984	0,417	0,750
L.25	0,992	0,306	1,000
L.26	0,988	0,472	0,750
L.27	0,965	0,389	0,500
L.28	0,992	0,361	1,000
L.29	0,994	0,361	1,000
L.30	0,997	0,417	1,000
L.31	0,986	0,361	1,000
L.32	0,987	0,389	0,750

*Sumber: Hasil Analisis*

Menurut Barlas, validasi model secara kuantitatif pada sistem dinamik menggunakan *Mean Comparison* (perbandingan rata-rata) dan *Amplitude Variation Comparison* (perbandingan variasi amplitudo), dengan persamaan masing-masing sebagai berikut [10] :

$$E1 = \frac{|S-A|}{A} \quad (2)$$

$$E2 = \frac{|Ss-Sa|}{Sa} \quad (3)$$

dimana

E1 = nilai perbandingan rata – rata

E2 = nilai perbandingan variasi amplitudo

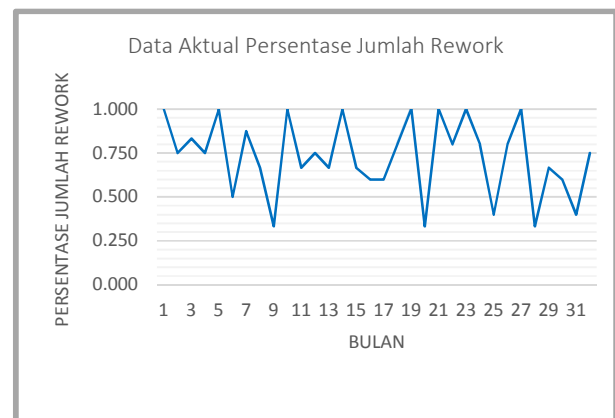
S = nilai rata – rata hasil simulasi

A = nilai rata – rata data

Ss = standar deviasi model

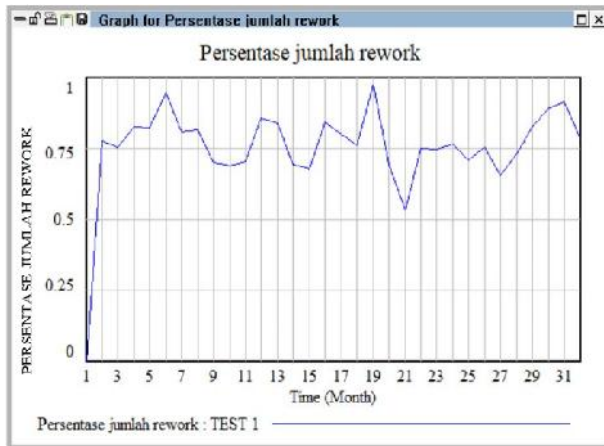
Sa = standar deviasi data

Model dikatakan valid jika nilai perbandingan rata – rata (E1) 5 % dan nilai perbandingan variasi amplitudo (E2) 30 %. Dari gambar 3 dapat dilihat grafik persentase jumlah *rework* aktual untuk 32 proyek jalan di wilayah Bali, NTB dan NTT selama 2 tahun, dengan rincian 15 proyek di tahun 2013 dan 17 proyek di tahun 2014, sedangkan dari gambar 4 dapat dilihat grafik persentase jumlah *rework* hasil simulasi kontinyu menggunakan program VENSIM pada model SFD dengan *time step* per 1 bulan yang dibatasi selama 2 tahun sebagai data pembandingan.



**Gambar 3.** Grafik Persentase Jumlah *Rework* Aktual di Tahun 2013 & 2014  
(*Sumber: Hasil Analisis*)

Berdasarkan hasil perbandingan data dari 2 grafik tersebut diperoleh nilai perbandingan rata-rata (E1) sebesar 2,87% dan nilai perbandingan variasi amplitudo (E2) sebesar 24,07%. Perbandingan data persentase jumlah kejadian *rework* aktual dan data hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3. Skenario perbaikan dilakukan menggunakan skenario parameter yaitu dengan jalan mengubah nilai parameter *base model*, skenario struktur dengan jalan mengubah struktur pada *base model* dan skenario kombinasi antara skenario struktur dan parameter yang keseluruhannya bertujuan mengurangi persentase jumlah *rework* pada proyek infrastruktur jalan.



**Gambar 4.** Grafik Persentase Jumlah Rework Hasil Simulasi (Sumber: Hasil Analisis)

**Tabel 3.** Perbandingan Data Hasil Simulasi Dengan Data Aktual

Bulan ke -	Hasil simulasi base model (%)	Data aktual (%)
1	0	100
2	77,726	75
3	75,243	83
4	82,726	75
5	82,408	100
6	94,361	50
7	80,814	87
8	81,641	66,7
9	69,999	33,3
10	68,793	100
11	70,390	66,7
12	85,514	75
13	83,641	66,7
14	69,096	100
16	84,023	60
17	79,837	60
18	76,149	80
19	97,323	100
20	69,213	33,3
22	74,998	80
23	74,621	100
24	76,452	80
25	70,872	40
26	75,206	80
27	65,450	100
28	73,015	33,3
29	82,583	66,7
30	88,976	60
31	91,297	40
32	77,977	75

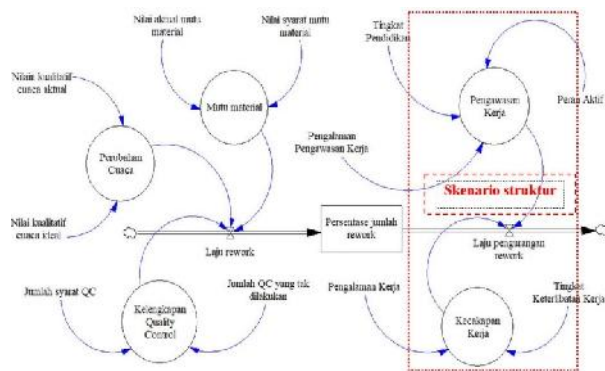
Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 4.** Hasil Simulasi Skenario Perbaikan

Skenario	Jenis skenario	Kemampuan meminimalisir rework (%)	Keterangan
Skenario 1	Skenario parameter	11%	Meningkatkan nilai mutu material hingga sesuai dengan persyaratan Bina Marga yaitu sebesar 98%
Skenario 2	Skenario parameter	20%	Meningkatkan nilai cuaca aktual agar sesuai dengan cuaca ideal (cuaca terik)
Skenario 3	Skenario parameter	15%	Mengurangi jumlah <i>quality control</i> yang tak dilakukan hingga 1 item <i>control</i> saja
Skenario 4	Skenario parameter	39%	Meningkatkan / mengurangi nilai mutu material, nilai cuaca aktual & jumlah QC yang tak dilakukan hingga nilai optimum
Skenario 5	Skenario struktur	18%	Menambah <i>rate</i> laju pengurangan <i>rework</i> yang dipengaruhi <i>auxiliary</i> kecakapan dan pengawasan kerja
Skenario 6	Skenario struktur + parameter	26%	Kombinasi skenario 1 dan skenario 5
Skenario 7	Skenario struktur + parameter	34%	Kombinasi skenario 2 dan skenario 5
Skenario 8	Skenario struktur + parameter	31%	Kombinasi skenario 3 dan skenario 5
Skenario 9	Skenario struktur + parameter	51%	Kombinasi skenario 1, skenario 2, skenario 3 dan skenario 5

Sumber: Hasil Analisis

Skenario parameter dilakukan pada parameter pada *base model* yaitu parameter nilai mutu aktual material, nilai kualitatif cuaca aktual dan jumlah *quality control* yang tak dilakukan, sedangkan skenario struktur dilakukan dengan menambahkan struktur baru yaitu *rate* laju pengurangan *rework* dimana nilainya dipengaruhi oleh *auxiliary* pengawasan kerja dan kecakapan kerja dengan parameter-parameter yang mempengaruhinya yaitu tingkat pendidikan, peran aktif, pengalaman kerja, pengalaman pengawasan kerja dan tingkat keterlibatan seperti yang dapat dilihat pada gambar 5, dimana nilai tiap parameter diperoleh menggunakan teknik Matrik *Pairwise Comparison* dengan bantuan kuisioner yang diolah menggunakan program *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Hasil simulasi tiap skenario beserta rumusan solusinya dapat dilihat pada tabel 4.



**Gambar 5.** Skenario struktur yang akan diterapkan pada *base model* (Sumber: Hasil Analisis)

#### 4. Simpulan

Pada tabel 4 dirangkum perumusan skenario perbaikan dan kemampuan tiap skenario tersebut dalam mengurangi persentase jumlah *rework* beserta bentuk implementasi aktual masing-masing, jika nanti suatu skenario dipilih untuk diterapkan. Perumusan skenario perbaikan terdiri dari 4 skenario parameter, 1 skenario struktur dan 4 skenario kombinasi antara skenario parameter dengan skenario struktur, masing-masing skenario memiliki kelebihan serta kekurangan dari segi kemampuan dan kemudahan implementasinya, pemilihan skenario dilakukan dengan memilih 3 skenario terbaik berdasarkan kemampuan tiap skenario dalam mengurangi persentase jumlah *rework*, kemudian dilanjutkan dengan menilai kemudahan implementasi dari 3 skenario tersebut. Skenario yang dipilih untuk diterapkan adalah skenario yang memiliki kemampuan optimum dalam mengurangi persentase jumlah *rework* dengan bentuk implementasi termudah.

Berikut 3 skenario terpilih berdasarkan kemampuan skenario dalam mengurangi persentase jumlah *rework* jika dilaksanakan untuk 1 tahun kedepan, skenario tersebut adalah skenario 9, skenario 4, dan skenario 7. Skenario 9 merupakan skenario kombinasi antara skenario struktur dengan 3 skenario parameter yang mana merupakan skenario terlengkap dari skenario perbaikan lainnya, skenario 9 mampu mengurangi persentase jumlah *rework* dengan nilai yang paling signifikan yaitu sebesar 51%, tetapi agar dapat mengurangi persentase jumlah *rework* hingga setengahnya, skenario 9 perlu menerapkan 7 bentuk implementasi yang merupakan implementasi gabungan dari 8 skenario lainnya. Skenario 4 juga merupakan skenario kombinasi yaitu kombinasi antara 3 skenario parameter tanpa diikuti skenario struktur, skenario ini mampu mengurangi persentase jumlah *rework* sebesar 34% jika menerapkan 5 bentuk implementasi, sedangkan untuk skenario 7 merupakan skenario kombinasi antara 1 skenario parameter dengan skenario struktur dengan jumlah implementasi paling sedikit dari 2 skenario sebelumnya dengan 3 bentuk implementasi, skenario 7 mampu mengurangi persentase jumlah *rework* sebesar 34%.

Berdasarkan pemaparan tersebut dapat diketahui bahwa skenario 9 adalah skenario yang paling mampu mengurangi persentase jumlah *rework* secara signifikan, tetapi dengan implementasi tersulit untuk dilaksanakan, dikatakan sulit karena selain jumlah implementasinya merupakan jumlah terbanyak jika dibandingkan dengan 2 skenario lainnya juga terdapat 2 bentuk implementasi yang tidak mudah untuk diwujudkan yaitu pengambilan material dari *quarry* di daerah lain dan melakukan kegiatan pengaspalan pada bulan Juni hingga Agustus. Dari hasil wawancara perumusan implementasi untuk mengambil material dari *quarry* di daerah lain disebabkan oleh material yang digunakan pada kebanyakan proyek infrastruktur jalan di daerah Bali, NTB dan NTT menggunakan material lokal dengan mutu yang kurang baik walaupun rata-rata nilai mutunya telah mendekati nilai mutu yang dipersyaratkan, tetap digunakannya material dengan mutu kritis tersebut dikarenakan desakan pemerintah daerah untuk tetap menggunakan material lokal dengan dasar bahwa nilai mutunya masih dapat diterima, kesulitan mewujudkan implementasi ini adalah meyakinkan pemerintah daerah agar tidak menggunakan material lokal dan menyetujui untuk mengambil material dari daerah lain yang tentunya akan memakan waktu dan biaya lebih jika dibandingkan menggunakan material lokal yang rata-rata berjarak lebih dekat ke *site* proyek, sedangkan implementasi untuk melakukan kegiatan pengaspalan pada bulan Juni hingga Agustus disebabkan oleh mutu hasil pengaspalan dapat menurun jika terkena air hujan, untuk meminimalisir

resiko tersebut maka kegiatan pengaspalan sebaiknya dilakukan pada bulan Juni hingga Agustus untuk menghindari musim penghujan, kesulitan mewujudkan implementasi ini adalah sulitnya menjadwalkan kegiatan pengaspalan agar dilakukan pada bulan Juni hingga Agustus jika proyek dimulai lama sebelumnya atau malah setelah rentan bulan tersebut, selain itu juga tidak ada jaminan apakah pada rentan bulan tersebut tidak akan terjadi hujan, sehingga implementasi ini hanya berlaku jika diasumsikan tidak terjadi anomali cuaca. Skenario 4 menjadi skenario dengan implementasi tersulit kedua dengan 5 bentuk implementasi yang termasuk 2 implementasi yang dirasa sulit untuk diterapkan yang telah dibahas sebelumnya, sedangkan skenario 7 menjadi skenario yang termudah dengan 3 bentuk implementasi dengan hanya 1 implementasi sulit untuk diterapkan yaitu melakukan kegiatan pengaspalan pada bulan Juni hingga Agustus.

Berdasarkan pemaparan dapat disimpulkan bahwa skenario 7 adalah skenario terbaik karena mampu mengurangi persentase jumlah *rework* secara optimum dengan implementasi yang relatif mudah jika dibandingkan dengan skenario 9 dan skenario 4. Dari hasil simulasi, dengan menerapkan skenario 7 sebagai skenario perbaikan, skenario tersebut mampu mengurangi persentase jumlah *rework* pada proyek infrastruktur jalan sebesar 34% untuk 1 tahun kedepan dengan melakukan 3 implementasi berikut secara simultan, yaitu dengan melakukan kegiatan pengaspalan hanya pada rentan bulan Juni hingga Agustus. Pemilihan rentan bulan tersebut agar meminimalisir resiko turunnya hujan, menurut Tjasyono dkk, musim kemarau di Indonesia terjadi terutama pada bulan Juni–juli–Agustus, hal ini dikarenakan terjadi penurunan jumlah curah hujan tahunan dan musiman pada rentan bulan tersebut akibat pengaruh El Nino/IOD(+) [11]. Menghindari resiko hujan dimaksudkan karena air hujan dapat mengurangi kualitas aspal yang telah dihampar, hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Arifin, menurut Arifin, secara keseluruhan nilai karakteristik *Marshall* mengalami penurunan seiring bertambahnya kandungan air hujan, hal ini mengindikasikan menurunnya kualitas dan kinerja campuran beraspal jika kegiatan pengaspalan dilakukan di saat hujan [12].

Implementasi kedua adalah dengan memberikan pelatihan serta seminar secara berkala dan berkesesuaian kepada para pekerja dan pengawas, hal ini juga didukung oleh beberapa hasil penelitian, menurut Ekaramban, salah satu cara yang mampu dalam mengurangi jumlah kejadian *rework* secara signifikan yaitu dengan meningkatkan kecakapan kerja melalui pembelajaran dan pelatihan, seperti penerapan *lesson learned framework* yang dikemas dalam

bentuk seminar/diskusi ringan dengan muatan materi berupa berbagi cerita kesuksesan dan kegagalan dalam menangani suatu proyek konstruksi berdasarkan pengalaman dari narasumber berkompeten [13]. Sedangkan menurut Alwi dkk, dengan meningkatkan kompetensi pengawas melalui pelatihan secara layak dan berkala mampu mengurangi dampak yang diakibatkan oleh *rework* sebesar 11%-22% [14].

Implementasi ketiga yaitu dengan merekrut pekerja dan pengawas yang berpengalaman serta berpendidikan. Pentingnya pengalaman dan pendidikan tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Foster[14]. Faktor pendidikan, pelatihan, peran aktif dan pengalaman memberikan pengaruh yang signifikan (75,05%) terhadap kompetensi seorang pengawas, sejalan dengan hal tersebut, Ravianto menjelaskan pendidikan membentuk dan menambah pengetahuan seseorang untuk mengerjakan sesuatu dengan lebih cepat dan tepat, sedangkan pelatihan membentuk dan meningkatkan kecakapan kerja, jika suatu pekerjaan yang dilaksanakan dengan tepat serta ditambah dilakukan oleh pekerja yang memiliki kecakapan kerja mumpuni niscaya kejadian *rework* tidak akan terjadi. Untuk tingkat pengalaman bagi seorang pekerja, Foster, menyatakan bahwa semakin berpengalaman seorang pekerja di suatu bidang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keterampilan kerjanya[14], [15].

#### Daftar Pustaka

- [1] P. Barber, A. Graves, M. Hall, D. Sheath, and C. Tomkins, "Quality failure costs in civil engineering projects," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 17, no. 4/5, pp. 479–492, Jun. 2000.
- [2] P. E. D. Love, Z. Irani, and D. J. Edwards, "A Rework Reduction Model for Construction Projects," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 51, no. 4, pp. 426–440, Nov. 2004.
- [3] M. M. Kumaraswamy and D. W. M. Chan, "Contributors to construction delays," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 16, no. 1, pp. 17–29, Jan. 1998.
- [4] J. Atkinson, *The field rework index : early warning for field rework and cost growth*. Austin Tex.: Construction Industry Institute, 2001.
- [5] P. F. Kaming, P. O. Olomolaiye, G. D. Holt, and F. C. Harris, "Factors influencing craftsmen's productivity in Indonesia," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 15, no. 1, pp. 21–30, Feb. 1997.
- [6] E. Suryani, *Pemodelan & Simulasi*. Surabaya: Graha Ilmu, 2006.
- [7] O. A. Aiyetan and D. Das, "Using System Dynamics

- Modelling Principles to Resolve Problem of Rework in Contruction Project in Nigeria,” *J. Constr. Proj. Manag. Innov.*, vol. 5, no. 2, pp. 1266–1295, Dec. 2015.
- [8] N. Forcada, G. Rusiñol, M. MacArulla, and P. E. D. Love, “Rework in highway projects,” *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 20, no. 4, pp. 445–465, Jul. 2014.
- [9] J. Harel, C. Koch, and P. Perona, “Graph-Based Visual Saliency,” in *Advances in neural information processing systems*, 2007, pp. 545–552.
- [10] Y. Barlas, “Formal aspects of model validity and validation in system dynamics,” *Sist. Dyn. Rev.*, vol. 12, no. 3, pp. 183–210, 1996.
- [11] B. T. HK, A. L. Ruminta, I. Juaeni, and S. W. B. Harijono, “Dampak Variasi Temperatur Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial Terhadap Curah Hujan di Indonesia,” *J. Sains Dirgant.*, vol. 5, no. 2, pp. 83–95, Jun. 2008.
- [12] M. Z. Arifin, L. Djakfar, and G. Martina, “Pengaruh Kandungan Air Hujan Terhadap Nilai Karakteristik Marshall Dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Campuran Lapisan Aspal Beton (LASTON),” *Rekayasa Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 39–46, May 1925.
- [13] E. Palaneeswaran, “Reducing rework to enhance project performance levels,” in *Proceedings of the One day Seminar on “Recent Developments in Project Management in Hong Kong.”* 2006, p. 5.1-5.10.
- [14] J. Foster, “Education as Sustainability,” *Environ. Educ. Res.*, vol. 7, no. 2, 2001.
- [15] J. Ravianto, *Produktivitas dan Manajemen*. Jakarta: Lembaga Sarana Informasi Usaha dan Produktivitas, 1985.