

SURAT TUGAS

Nomor: 10-R/UNTAR/PENELITIAN/X/2023

Rektor Universitas Tarumanagara, dengan ini menugaskan kepada saudara:

1. **BASUKI ANONDHO, Dr.,Ir., M.T.**
2. **IGNACIA ARDELIA**

Untuk melaksanakan kegiatan penelitian/publikasi ilmiah dengan data sebagai berikut:

Judul : Analisis besaran koefisien ketidakpastian environmental uncertainty (EU) yang berpengaruh pada perhitungan buffer pada critical chain project management (CCPM) di Jakarta
Nama Media : JMTS (Jurnal Mitra Teknik Sipil)
Penerbit : Universitas Tarumanagara
Volume/Tahun : Volume 1, Nomor 2, November 2018
URL Repository :

Demikian Surat Tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan melaporkan hasil penugasan tersebut kepada Rektor Universitas Tarumanagara

11 Oktober 2023

Rektor



Prof. Dr. Ir. AGUSTINUS PURNA IRAWAN

Print Security : fe084bf76cfbe5f9327ea3c1eed01207

Disclaimer: Surat ini dicetak dari Sistem Layanan Informasi Terpadu Universitas Tarumanagara dan dinyatakan sah secara hukum.

Lembaga

- Pembelajaran
- Kemahasiswaan dan Alumni
- Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat
- Penjaminan Mutu dan Sumber Daya
- Sistem Informasi dan Database

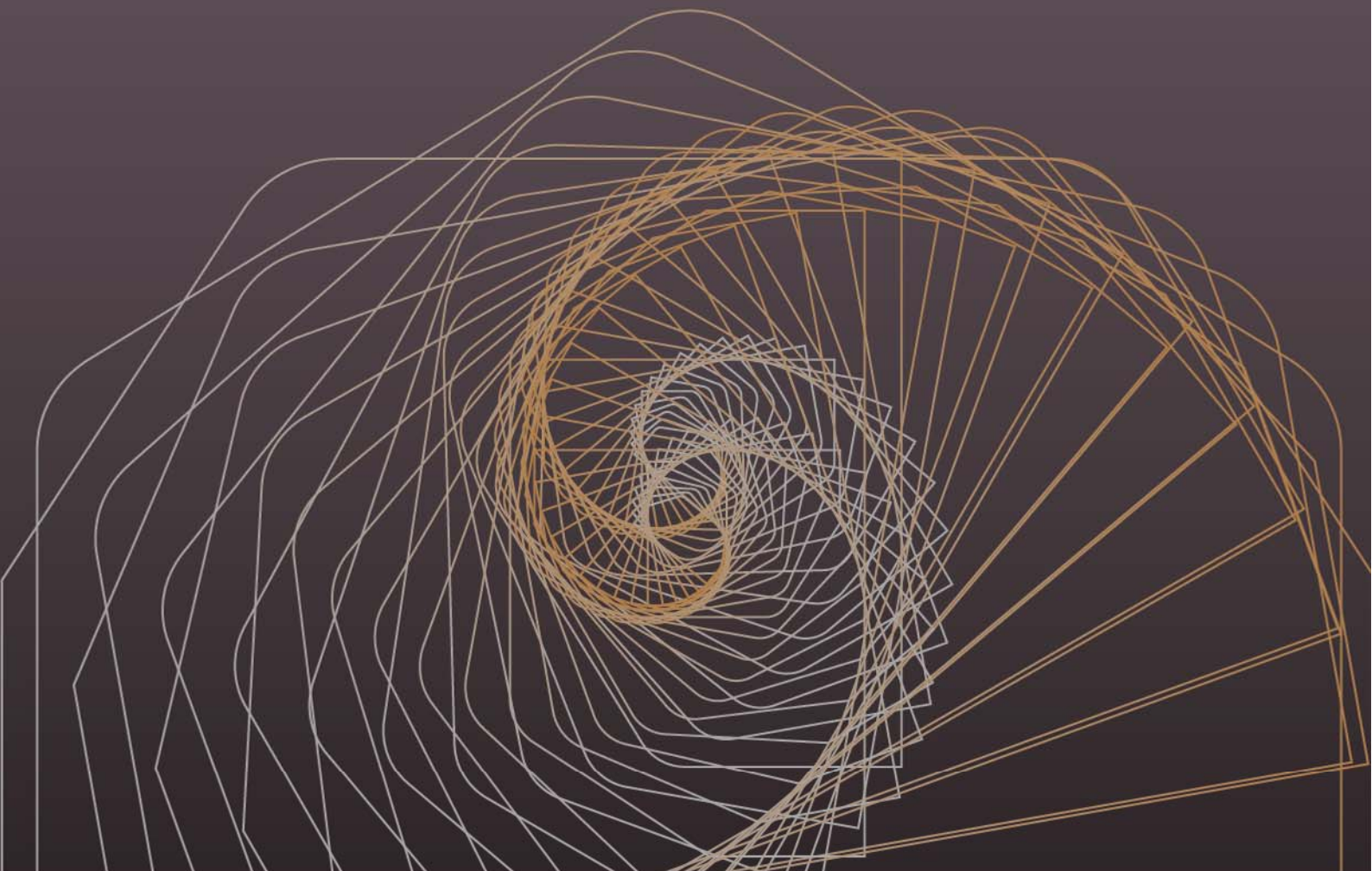
Fakultas

- Ekonomi dan Bisnis
- Hukum
- Teknik
- Kedokteran
- Psikologi
- Teknologi Informasi
- Seni Rupa dan Desain
- Ilmu Komunikasi
- Program Pascasarjana

JMPTS

JURNAL MITRA TEKNIK SIPIL

Volume 1 No. 2 November 2018



e-ISSN : 2622-545X

Program Studi Sarjana Teknik Sipil UNTAR

SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Nomor 200/M/KPT/2020

Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020
Nama Jurnal Ilmiah
JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

E-ISSN: 2622545X

Penerbit: Universitas Tarumanagara

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 4

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 1 Nomor 1 Tahun 2018 sampai Volume 5 Nomor 2 Tahun 2022

Jakarta, 23 Desember 2020

Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Republik Indonesia,



[Signature]
Barabang P. S. Brodjonegoro





JMTS: JURNAL MITRA TEKNIK SIPIL

 UNIVERSITAS TARUMANAGARA

 P-ISSN : 2622545X <> E-ISSN : 2622545X



0.857143

Impact Factor



683

Google Citations



Sinta 4

Current Accreditation

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Volume 1, Nomor 2, November 2018

Daftar Isi

ANALISIS PENENTUAN PENGARUH HAMBATAN SAMPING AKIBAT AKTIVITAS TATA GUNA LAHAN DI JALAN MEDAN MERDEKA TIMUR DAN MAJAPAHIT <i>Prilma Christy Sibarani dan Najid</i>	1-7
PENGENDALIAN PENGGUNAAN KENDARAAN PRIBADI DENGAN STRATEGI PARKIR DAN ERP DI SUDIRMAN – THAMRIN (DKI JAKARTA) <i>Petrick Dwi Saputra dan Najid</i>	9-18
ANALISIS PENENTUAN PENGARUH HAMBATAN SAMPING AKIBAT AKTIVITAS TATA GUNA LAHAN DI JALAN TANJUNG DUREN DAN TAMAN DAAN MOGOT <i>Muhamad Reza Alviana dan Najid</i>	19-26
ANALISIS SIKAP MASYARAKAT TERHADAP PENGHAPUSAN LAYANAN TRANSPORTASI UMUM DI JAKARTA <i>Muhammad Luthi Wibowo dan Leksmono Suryo Putranto</i>	27-32
ANALISIS TINGKAT KETAATAN PENGEMUDI DAN PENUMPANG KENDARAAN PRIBADI DAN UMUM TERHADAP PENGGUNAAN SABUK KESELAMATAN <i>Nevin Nathanael dan Leksmono Suryo Putranto</i>	33-41
PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH EKSPANSIF <i>Ishak Setiawan dan Andryan Suhendra</i>	43-50
MODEL PERHITUNGAN RENTANG DURASI PROBABILISTIK MENGGUNAKAN METODE EARNED SCHEDULE PADA PROYEK DI JAKARTA DAN SEKITARNYA <i>Shindy dan Basuki Anondho</i>	51-60
PENGARUH PRODUKTIVITAS TERHADAP BIAYA PEKERJAAN FABRIKASI BESI PROYEK INDONESIA 1 DENGAN METODE CREW BALANCE CHART <i>Yulius Kelvin dan Hendrik Sulistio</i>	61-70
PENGGUNAAN VARIABEL DUMMY UNTUK MENINGKATKAN NILAI DETERMINASI FAKTOR EKSTERNAL TERUKUR TERHADAP DURASI <i>Astrid Dwi Lestari dan Basuki Anondho</i>	71-80
PENGENDALIAN PENGGUNAAN MOBIL PRIBADI DENGAN STRATEGI PARKIR DAN ERP DI JALAN RASUNA SAID DKI JAKARTA <i>Bathia Dharma Putera dan Najid</i>	81-89
EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DUAL SYSTEM BERBASIS	

KINERJA <i>Dave Fernando Indotjoa, Daniel Christianto, dan Hadi Pranata</i>	91-100
ANALISIS PERMINTAAN DAN KEPUASAN PENUMPANG TERHADAP PELAYANAN BUS TRANSJAKARTA KORIDOR 10 <i>Edric Yappo dan Najid</i>	101-109
ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI KONTRAKTOR UTAMA DALAM PEMILIHAN SUBKONTRAKTOR PADA PELAKSANAAN PROYEK KONSTRUKSI <i>Erwin Tanuwijaya dan Jane Sekarsari Tamtana</i>	111-121
PERBANDINGAN ANTARA <i>PLS SEM</i> DAN ANALISIS FAKTOR UNTUK IDENTIFIKASI FAKTOR PENGARUH EKSTERNAL PROYEK <i>Glenn Jonathan dan Basuki Anondho</i>	123-132
STUDI BANDING JENIS-JENIS FONDASI <i>RAFT PILE</i> DENGAN ASUMSI <i>FRICITION PILE</i> UNTUK GEDUNG KAMPUS II UNIVERSITAS TARUMANAGARA <i>Hanif, dan Gregorius Sandjaja Sentosa</i>	133-142
ANALISIS BESARAN KOEFISIEN KETIDAKPASTIAN <i>ENVIRONMENTAL UNCERTAINTY (EU)</i> YANG BERPENGARUH PADA PERHITUNGAN <i>BUFFER PADA CRITICAL CHAIN PROJECT MANAGEMENT (CCPM)</i> DI JAKARTA <i>Ignatius Edward Lianto dan Basuki Anondho</i>	143-150
PERBANDINGAN PENURUNAN KONSOLIDASI PADA TANAH YANG BELUM DIPERBAIKI SERTA YANG DIPERBAIKI DENGAN <i>PRELOADING</i> DAN PEMANCANGAN KELILING <i>Wilson dan Alfred Jonathan Susilo</i>	151-160
PENGARUH VOID PADA PENAMPANG TIANG FONDASI TERHADAP P-Y CURVE <i>Dave Laurent dan Alfred Jonathan Susilo</i>	161-170
ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG DENGAN METODE STATIK, DINAMIK, DAN PERSAMAAN GELOMBANG SOFTWARE GRLWEAP <i>Chris Tengdyantono, Gregorius Sandjaja Sentosa, dan Aksan Kawanda</i>	171-180
ANALISIS PLAXIS UNTUK <i>DEWATERING BASEMENT</i> DI TANAH KELEMPUNGAN DAN KEPASIRAN <i>Angela Kurokawa dan Chaidir A Makarim</i>	181-187
PENERAPAN RESOURCE LEVELING DENGAN METODE ALGORITMA GENETIKA PADA PROYEK KONSTRUKSI DI JAKARTA <i>Hendy dan Henny Wiyanto</i>	189-196
ANALISIS PENGARUH FAKTOR EKSTERNAL TERUKUR TERHADAP DURASI PROYEK KONSTRUKSI DENGAN METODE PLS-SEM <i>Kelvin Ngunadi dan Basuki Anondho</i>	197-204
EFEK DARI <i>DYNAMIC COMPACTION (DC)</i> TERHADAP PENINGKATAN	

KUAT GESER TANAH <i>Michelle Fauziek dan Andryan Suhendra</i>	205-214
BEBAN KERJA TENAGA KERJA TUKANG BESI DI JAKARTA <i>Ryan Hartono dan Basuki Anondho</i>	215-220

ANALISIS BESARAN KOEFISIEN KETIDAKPASTIAN *ENVIRONMENTAL UNCERTAINTY* (EU) YANG BERPENGARUH PADA PERHITUNGAN *BUFFER* PADA *CRITICAL CHAIN PROJECT MANAGEMENT* (CCPM) DI JAKARTA

Ignatius Edward Lianto¹ dan Basuki Anondho²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: edwardlianto@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: basukia@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Proyek konstruksi rentan terhadap berbagai macam kendala, seperti kompleksitas proyek, kelangkaan sumber daya, dan ketidakpastian durasi proyek. Terdapat sebuah metode untuk penjadwalan konstruksi yang bernama *Critical Chain Project Management* (CCPM). Terdapat dua tantangan dalam implementasi CCPM pada penjadwalan konstruksi, salah satunya adalah pengukuran *buffer*. *Buffer* memiliki peran penting untuk memastikan keberhasilan manajemen jadwal. Metode *Uncertainty-Aware Method* (UAM) digunakan untuk menghasilkan *buffer* yang proporsional dengan memperhitungkan beragam ketidakpastian. Salah satu jenis ketidakpastian pada UAM adalah *Environmental Uncertainty* (EU). Penelitian ini bertujuan mengetahui koefisien *Environmental Uncertainty* dengan penyebaran kuesioner pada proyek di Jakarta. Metode *Relative Importance Index* (RII) digunakan untuk menganalisis data. Berdasarkan koefisien yang diperoleh dari hasil perhitungan, proyek di Jakarta mempunyai ketidakpastian *Environmental Uncertainty* yang besar.

Kata kunci: *critical chain project management*, manajemen konstruksi, ketidakpastian, perhitungan *buffer*, *environmental uncertainty*.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proyek konstruksi sangat rentan terhadap berbagai macam kendala, seperti kompleksitas proyek, kelangkaan sumber daya, dan ketidakpastian durasi proyek. Kegagalan untuk mengatur salah satu dari kendala ini akan mengakibatkan gangguan pada proyek yang berujung pada bertambahnya durasi proyek (Ma et al., 2014). Ma et al. (2014) mengembangkan *Critical Chain Project Management* (CCPM) yang didasari oleh usulan dari Goldratt (1997) yaitu *Theory of Constraints* (TOC). Metode penjadwalan proyek mulai menunjukkan perkembangan dengan adanya TOC. TOC digunakan untuk mengatur produksi yang repetitif yang didasari dengan paham bahwa setiap sistem memiliki batasan, dan performa sistem hanya dapat dikembangkan dengan meningkatkan performa *resource* yang terbatas tersebut. Untuk menghindari keterlambatan proyek, CCPM mengembangkan sistem penjadwalan menggunakan *buffer* (Cohen et al., 2004). Karena banyaknya ketidakpastian yang sering terjadi pada proyek konstruksi, *buffer* memegang peranan penting dalam CCPM (Raz et al., 2003) sehingga ketahanan proyek terhadap ketidakpastian meningkat dan durasi proyek terjaga.

Terdapat dua metode yang digunakan untuk mengukur besarnya *buffer*: *the cut and paste method* (C&PM) dan *the root square error method* (RSEM). C&PM mengadopsi sebuah prosedur yang linear. Semakin panjang *critical chain*, semakin besar *buffer* yang dihasilkan sehingga seringkali menghasilkan jadwal yang panjang dan mengakibatkan terbuangnya *resources* (Herroelen dan Leus, 2001). RSEM tidak menghasilkan jadwal yang panjang seperti C&PM (Tukel et al., 2006), tetapi dapat menghasilkan jadwal yang rentan terhadap beragam ketidakpastian. Selain kedua metode diatas, Ma et al. (2014) mengembangkan metode perhitungan *buffer* yang disebut *Uncertainty-Aware Method* (UAM) untuk menentukan ukuran *buffer* yang masuk akal dengan memperhitungkan beragam faktor yang mempengaruhi penjadwalan proyek dan belum diperhitungkan dalam metode sebelumnya. Beragam faktor tersebut adalah *Environmental Uncertainty*, *Activity Complexity*, *Activity Flexibility*, *Resource Tightness*, dan *Risk Preference*.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang, tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh besaran koefisien ketidakpastian *Environmental Uncertainty* (EU) untuk perhitungan *buffer* pada proyek konstruksi di Jakarta.

Critical Chain Project Management (CCPM)

Dalam novelnya yang bernama *Critical Chain*, Goldratt (1997) mengemukakan sebuah teori yang bernama TOC (*Theory of Constraints*). TOC adalah alat untuk mengatur sistem produksi yang berulang yang didasari oleh prinsip yang mengatakan bahwa setiap sistem memiliki kendala (*constraint*) dan kinerja sistem hanya dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan kinerja dari *resource* yang mengalami kendala. CCPM adalah perpanjangan dari TOC yang didesain hanya untuk lingkungan proyek (Raz et al., 2003). CCPM menggunakan penjadwalan *deterministic* yang terintegrasi dengan mekanisme *buffer* untuk mengatasi *resource constraints* dan ketidakpastian (Long dan Ohsato, 2008). CCPM menghilangkan *hidden safety* pada durasi aktivitas untuk melindungi dari keterlambatan dalam dimulainya aktivitas (*Student Syndrome*) dan usaha untuk menyibukkan diri di sepanjang durasi aktivitas (*Parkinson's Law*). *Safety time* ini kemudian dikumpulkan dan diletakkan di beberapa posisi penting sebagai *buffer* untuk menyerap keterlambatan. Selain itu, CCPM digunakan untuk melindungi anggota tim proyek dari gangguan dan *multi-tasking*, mengalihkan pengukuran tugas dari *on time task completion* menjadi *on time project completion* (Rabbani et al., 2007). Segala aktivitas sebisa mungkin dijadwalkan terlambat (*as late as possible*) agar biaya tidak dikeluarkan lebih cepat dari yang diperlukan.

Menurut Ma et al. (2014), terdapat dua tantangan utama dalam pelaksanaan CCPM, yaitu *buffer sizing* dan *multiple resources leveling*. Metode CCPM tidak menempatkan *safety time* pada setiap aktivitas secara individual. Sebaliknya, CCPM menempatkan sebuah *aggregated safety time* dan meletakkannya di beberapa posisi pada *critical chain* untuk berfungsi sebagai *buffer*. *Buffer* memperhitungkan *precedence constraints* dan *resource constraints*, dan berperan dalam memperpendek durasi proyek serta meningkatkan ketahanan (*robustness*) dari penjadwalan proyek. *Buffer* memainkan peran kunci dalam CCPM (Raz et al., 2003) dan pengukuran *buffer* sangat penting untuk meningkatkan efektifitas dan memastikan kesuksesan manajemen jadwal sebuah proyek. Dua metode yang banyak digunakan dalam perhitungan *buffer* adalah *Cut and Paste Method* (C&PM) dan *Root Square Error Method* (RSEM). Akan tetapi, C&PM mengadopsi prosedur linear dan ukuran dari *buffer* yang dihasilkan semakin besar dengan semakin panjangnya *critical chain* sehingga mengakibatkan *resources* yang terbuang (Herroelen dan Leus, 2001). RSEM lebih sedikit terpengaruh oleh panjangnya *critical chain*, namun RSEM dapat menghasilkan jadwal yang tidak cukup tahan dalam menghadapi berbagai ketidakpastian (Tukel et al., 2006).

Untuk menangani dua tantangan ini dan meningkatkan penerapan dari metode CCPM pada manajemen proyek konstruksi, Ma et al. (2014) mengajukan sebuah *framework* CCPM yang telah dikembangkan. *Framework* ini memperkenalkan *Uncertainty-Aware Method* (UAM) untuk menentukan ukuran *buffer* yang masuk akal dengan memperhitungkan beragam faktor yang mempengaruhi penjadwalan konstruksi dan belum ikut diperhitungkan pada metode yang ada. Selain itu, *framework* ini juga mengintegrasikan sebuah *Multimode-based Method* (MBM) untuk mengatasi masalah *multiple resources leveling* pada penjadwalan konstruksi berbasis CCPM.

Buffer

Untuk melindungi *critical chain* dan dapat melaksanakan proyek sesuai yang direncanakan, Goldratt memperkenalkan konsep dari *buffer*. Seperti yang disebutkan pada literatur (Patrick, 1999) kegunaan *buffer* dalam penjadwalan proyek berbeda dengan manajemen *slack*. *Slack times* terjadi secara acak pada rencana proyek sehingga pada umumnya mengakibatkan ketidakefektifan dalam membatasi dampak dari beragam durasi aktivitas, dan sebagai hasilnya, durasi proyek. Di sisi lain, *buffer* dihitung untuk menggambarkan ketidakpastian dalam estimasi durasi aktivitas. Karena banyaknya ketidakpastian yang sering terjadi pada proyek konstruksi, *Buffer* memegang peranan penting dalam CCPM (Raz et al., 2003) sehingga ketahanan proyek terhadap ketidakpastian meningkat dan durasi proyek terjaga. Menurut Tukel et al. (2006), *buffer* diartikan sebagai kumpulan waktu yang diambil dari kegiatan pada proyek sehingga kumpulan waktu tersebut dapat digunakan untuk melindungi jadwal proyek dari keterlambatan akibat ketidakpastian.

Terdapat tiga tipe *buffer* yang dibedakan melalui posisi dan fungsinya, yaitu *Feeding Buffer* (FB), *Project Buffer* (PB), dan *Resource Buffer* (RB).

1. *Feeding Buffer* (FB)

FB diletakkan pada semua jalur yang akan masuk (*feed*) ke *critical chain* untuk mencegah keterlambatan jalur tersebut dalam mempengaruhi waktu dimulainya aktivitas pada *critical chain* (*on-time start of critical tasks*)

- (Tukel et al., 2006). FB ditetapkan untuk melindungi *critical chain* dari beragam kegiatan yang tidak terdapat pada *critical chain* dan dijadwalkan saat *noncritical* dan *critical activity* bertemu (Bevilacqua et al., 2009).
2. *Project Buffer* (PB)
PB diletakkan pada bagian akhir dari *critical chain* untuk melindungi durasi proyek sehingga durasi proyek tidak melebihi waktu yang direncanakan (Bie, et al., 2012).
 3. *Resource Buffer* (RB)
RB diletakkan untuk melindungi *critical chain* dari kelangkaan *critical resources* melalui peringatan dan tidak memakan waktu (Rand 2000). Sumber daya yang dibutuhkan oleh pekerjaan pada *critical chain* diartikan sebagai *critical resource* (Raz et al., 2003). RB digunakan sebagai sinyal dan tidak memerlukan waktu (Raz et al., 2003). Peringatan ini akan menyebabkan *critical resource* meninggalkan pekerjaan *noncritical* dan siap untuk digunakan pada *critical chain* segera setelah *predecessors* nya selesai dikerjakan. RB juga tidak menggunakan *resource* dan tidak menambah waktu maupun biaya pada proyek (Leach, 2005; Tukel et al., 2006).

Identifikasi *Critical Chain*

Menurut Long dan Ohsato (2008), sebuah *chain* adalah urutan aktivitas yang memperhitungkan *precedence* dan ketergantungan *resource*. Ia juga menambahkan bahwa *critical chain* adalah rantai terpanjang dan menentukan durasi proyek. Bila terdapat banyak *critical chain*, yang dipilih adalah *critical chain* dengan ketidakpastian terbesar. Menurut Rand (2000), '*Critical Chain*' dari Goldratt diciptakan dalam hubungannya dengan *resource allocation*. Pada banyak proyek, permasalahan mengenai penggunaan *limited resources* yang dibutuhkan untuk beberapa aktivitas sering dijumpai. *Critical chain* didefinisikan sebagai rantai terpanjang dari ketergantungan *resource*. Untuk menentukan *critical chain*, perlu adanya pertimbangan mengenai adanya masalah ketergantungan terhadap *resource* yang dibutuhkan secara bersamaan antar aktivitas. Apabila masalah itu terjadi, aktivitas itu harus dilaksanakan secara berurutan dan tidak secara paralel atau bersamaan. Hal yang membedakan *critical chain* dengan *critical path* adalah pada *critical path* tidak diperhitungkan ketersediaan *resource*. Ketika terdapat dua *critical chain* yang memiliki panjang yang sama, dapat dipilih salah satunya (*arbitrary*) (Tukel et al., 2006).

Perhitungan *Buffer* dengan Ketidakpastian

Root Square Error Method (RSEM) mengkalkulasikan Project Buffer (PB) dan Feeding Buffer (FB) seperti berikut (Herroelen dan Leus, 2001):

$$PB = \left(\sum_{i \in \{CC\}}^n \sigma_i^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$FB_i = \left(\sum_{j \in \{NC_i\}}^n \sigma_j^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

Keterangan :

- σ_i = *Safety Time* dari aktivitas *i*
- σ_j = *Safety Time* dari aktivitas *j*
- CC = Kumpulan aktivitas pada *critical chain*
- NC_{*i*} = Kumpulan aktivitas pada *noncritical chain* yang terdapat aktivitas *i*
- n* = Jumlah aktivitas yang harus dilaksanakan tanpa gangguan

Ma et al. (2014) menciptakan *Uncertainty-Aware Method* (UAM) dengan *Root Square Error Method* (RSEM) sebagai dasarnya. Perbedaan mendasarnya adalah diperhitungkannya pengaruh dari beragam ketidakpastian yang tidak terdapat pada RSEM. Perhitungan *buffer* dikalkulasikan sebagai berikut:

$$PB = EU \times RP \times AC_{CC} \times \left\{ \sum_{i \in \{CC\}}^n [(1 + RT_i) \times AF_i \times \sigma_i]^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

$$FB_i = EU \times RP \times AC_{NC_i} \times \left\{ \sum_{i \in \{NC_i\}}^n [(1 + RT_i) \times AF_i \times \sigma_i]^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

Keterangan :

- σ_i = *Safety Time* dari aktivitas i
- σ_j = *Safety Time* dari aktivitas j
- CC = Kumpulan aktivitas pada *critical chain*
- NC $_i$ = Kumpulan aktivitas pada *noncritical chain* yang terdapat aktivitas i
- n = Jumlah aktivitas yang harus dilaksanakan tanpa gangguan
- EU = *Environmental Uncertainty*
- RP = *Risk Preference*
- AC_{CC} = *Activity Complexity* dari CC
- AC_{NC $_i$} = *Activity Complexity* dari NC $_i$
- RT $_i$ = *Resource Tightness* dari aktivitas i
- AF $_i$ = *Activity Flexibility* dari aktivitas i

Persamaan (3) dan (4) memperhitungkan efek dari ketidakpastian pada jadwal proyek melalui besar *buffer* yang dihasilkan. Persamaan ini diharapkan dapat menghasilkan jadwal proyek dengan kinerja yang lebih baik dalam menghadapi beragam ketidakpastian daripada jadwal yang dihasilkan dengan metode pengukuran *buffer* terdahulu (Ma et al., 2014). Patut digarisbawahi bahwa ukuran *buffer* yang dikembangkan dengan metode UAM tidak selalu lebih besar dari ukuran *buffer* yang dikembangkan dengan metode terdahulu. Saat sebuah proyek dilaksanakan dengan ketidakpastian yang sedikit (dimisalkan saat koefisien EU dan RP lebih kecil dari 1), UAM dilaporkan menghasilkan *buffer* yang kecil. Hal ini berguna untuk mengembangkan metode yang kompetitif dan mengamankan kesempatan bisnis. Ketika sebuah proyek dilaksanakan dengan ketidakpastian yang signifikan, UAM dilaporkan menghasilkan *buffer* yang kurang menarik dalam proposal bisnis (Ma et al., 2014). Meskipun kurang menarik, jadwal yang dihasilkan memiliki ketahanan yang baik terhadap beragam ketidakpastian sehingga memperkecil resiko keterlambatan proyek dan dengan begitu dapat menghindari kerugian (Ma et al., 2014).

Ketidakpastian

Menurut Ma et al. (2014), terdapat lima ketidakpastian yang dapat mengganggu jadwal proyek konstruksi, antara lain:

1. *Environmental Uncertainty* (EU), yaitu ketidakpastian yang disebabkan oleh lingkungan eksternal proyek (Ma et al., 2014).
2. *Activity Complexity* (AC), yaitu kompleksitas dari sebuah aktivitas yang ditentukan oleh kompleksitas dari *activity chain* (Tukel et al., 2006).
3. *Risk Preference* (RP). Ketika diberikan sebuah situasi yang identik, masing-masing tim proyek dapat menghasilkan penilaian risiko yang berbeda-beda dikarenakan adanya perbedaan dalam menyikapi situasi, kemampuan manajerial, dan kapasitas dalam pengambilan risiko. Oleh sebab itu, dampak yang disebabkan oleh tim proyek dalam implementasi proyek termasuk dalam ketidakpastian proyek (Ma et al., 2014).
4. *Activity Flexibility* (AF). AF mengindikasikan fleksibilitas dari aktivitas tertentu. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin kecil AF maka semakin kecil kemungkinan aktivitas untuk tepat waktu (Yang et al. 2009) sehingga diperlukan *buffer* yang lebih besar.
5. *Resource Tightness* (RT). RT diperhitungkan untuk mewakili ketidakpastian yang berhubungan dengan ketersediaan *resource* dan mengukur aksesibilitas *resource* untuk aktivitas tertentu ketika terjadi permintaan *resource* secara bersamaan dengan aktivitas lain (Ma et al., 2014).

Ketidakpastian yang *chain-specific* dan mempunyai efek global ke seluruh durasi proyek adalah *Environmental Uncertainty*, *Activity Complexity*, dan *Risk Preference*. Sementara itu, ketidakpastian yang *activity-specific* dan mempunyai efek terhadap individu kegiatan adalah *Activity Flexibility* dan *Resource Tightness* (Ma et al., 2014).

Environmental Uncertainty

Menurut Ma et al. (2014), EU mengacu pada ketidakpastian yang diakibatkan oleh lingkungan eksternal proyek dari berbagai macam faktor. Pengelompokan faktor dapat terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Faktor yang berkaitan dengan proyek (*project-specific*) seperti risiko kontrak dan stabilitas pasokan suplai.
2. Faktor yang tidak berkaitan dengan proyek (*non-project-specific*) seperti kondisi cuaca dan kondisi makroekonomi.

Untuk menggambarkan lingkungan eksternal proyek yang dikerjakan, *Political, Economic, Social, and Technological* (PEST) *framework* dapat diaplikasikan untuk menganalisis dampak dari faktor lingkungan eksternal proyek. PEST *Framework* adalah metode yang sudah banyak digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan

dan efeknya terhadap organisasi (Yingfa dan Hong 2010). Menurut Ma et al. (2014), berdasarkan *rating* dari PEST, keseluruhan lingkungan eksternal proyek dapat dikategorikan dalam tiga tipe, yaitu menguntungkan (*favorable*), normal, dan tidak menguntungkan (*unfavorable*). Masing-masing tipe ini ditentukan nilai EU yang dapat mengilustrasikan tingkat ketidakpastian pada proyek.

$$EU = \begin{cases} 0.9 & \sum_{i=1}^4 \mu_i \geq 3 \\ 1 & 1.5 \leq \sum_{i=1}^4 \mu_i \leq 3 \\ 1.1 & \sum_{i=1}^4 \mu_i \leq 1.5 \end{cases} \quad (5)$$

μ_i ($i = 1, 2, 3, 4$) dilambangkan sebagai evaluasi para ahli terhadap kondisi lingkungan mengenai *political, economic, social, and technological*. Dapat dilihat pada persamaan (1), *rating* PEST yang kecil mengindikasikan ketidakpastian yang besar dan ketidakpastian yang besar diasosiasikan dengan nilai EU juga semakin besar. Maka, nilai EU 0.9 diartikan sebagai ketidakpastian yang kecil, nilai EU 1 diartikan sebagai ketidakpastian yang normal, dan nilai EU 1.1 diartikan sebagai ketidakpastian yang besar. Koefisien EU yang didapat berdasarkan penelitian yang dilakukan Ma et al. (2014) pada 3 proyek konstruksi di China adalah 1. Koefisien EU 1 menandakan bahwa terdapat ketidakpastian yang normal pada proyek konstruksi di China.

Relative Importance Index

Kometa et al. (1994) dan Sambasivan dan Soon (2007) menggunakan metode RII untuk menentukan *relative importance* dari berbagai penyebab keterlambatan. RII akan dikalkulasikan pada setiap faktor atau pernyataan (i) berdasarkan jawaban responden dan dihitung menggunakan persamaan (6).

$$RII_i = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5}{5(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5)} \quad (6)$$

Keterangan :

RII_i = *Relative Importance Index* untuk tiap faktor i .

n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 = Jumlah responden yang memberi skor “1” mewakili sangat tidak berpengaruh; “2” mewakili sedikit berpengaruh; “3” mewakili cukup berpengaruh; “4” mewakili banyak berpengaruh; “5” mewakili sangat berpengaruh.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk pengumpulan data penelitian ini adalah dengan menyusun dan menyebarkan kuesioner ke beberapa proyek konstruksi di Jakarta. Jumlah kuesioner yang disebar adalah 70 lembar, dan yang memenuhi persyaratan adalah 53 lembar. Persyaratan yang dimaksud adalah ahli yang bekerja di bidang konstruksi seperti *Project Manager, Site Manager, dan Site Engineer*. Syarat lainnya adalah minimal berpendidikan S1 (Strata 1) dan telah bekerja di bidang konstruksi minimal selama 5 tahun pengalaman kerja. Sistem penilaian yang digunakan pada kuesioner ini adalah skala *likert* dengan nilai 1 merupakan nilai minimal (Tidak Setuju) sampai nilai 5 merupakan nilai maksimum (Sangat Setuju).

Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan untuk menganalisa data menggunakan metode *Relative Importance Index* (RII) yang dibantu dengan program *Microsoft Excel* untuk mengolah data. Sebelum dilakukannya analisis data, perlu adanya studi *literature* dengan mencari dasar – dasar teori dan sumber data seperti journal, buku referensi untuk mendapatkan faktor eksternal yang berpengaruh dalam *Environmental Uncertainty* (EU).

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data Kuesioner yang Diperoleh dari Responden

Hasil data dari penyebaran kuesioner dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Kuesioner

Nom	Butir Pernyataan	1	2	3	4	5
1	Risiko yang timbul akibat gagal memenuhi kontrak yang telah disepakati mempengaruhi pekerjaan proyek sehingga mengganggu jadwal konstruksi yang telah direncanakan	0	1	9	22	21
2	Stabilitas pasokan suplai yang dibutuhkan proyek mempengaruhi pekerjaan proyek sehingga mengganggu jadwal konstruksi yang telah direncanakan	0	0	2	27	24
3	Kondisi cuaca saat proyek berlangsung mempengaruhi pekerjaan proyek sehingga mengganggu jadwal konstruksi yang telah direncanakan	0	3	14	18	18
4	Pertumbuhan ekonomi nasional dan stabilitas harga pasar mempengaruhi pekerjaan proyek sehingga mengganggu jadwal konstruksi yang telah direncanakan	0	10	15	20	8

Perhitungan *Relative Importance Index* (RII)

Hasil perhitungan *Relative Importance Index* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan RII

No	Faktor	Skor dari Responden					RII	Ranking
		1	2	3	4	5		
1	Risiko Kontrak	0	1	9	22	21	0.837736	2
2	Stabilitas Pasokan Suplai	0	0	2	27	24	0.883019	1
3	Kondisi Cuaca	0	3	14	18	18	0.792453	3
4	Kondisi Makroekonomi	0	10	15	20	8	0.698113	4

Peringkat RII dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Peringkat RII

Ranking	Faktor	RII
1	Stabilitas Pasokan Suplai	0.883019
2	Risiko Kontrak	0.837736
3	Kondisi Cuaca	0.792453
4	Kondisi Makroekonomi	0.698113

Analisis Variabel μ

Hasil perhitungan μ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan μ

Ranking	Faktor	RII	Skor Evaluasi (μ)	μ_i (RII * μ)
1	Stabilitas Pasokan Suplai	0.883019	0.4	0.353208
2	Risiko Kontrak	0.837736	0.3	0.251321
3	Kondisi Cuaca	0.792453	0.2	0.158491
4	Kondisi Makroekonomi	0.698113	0.1	0.069811
$\sum_{i=1} \mu_i =$				0.83283

Besaran Koefisien *Environmental Uncertainty* (EU)

Untuk mendapatkan koefisien *Environmental Uncertainty* dari $\sum_{i=1} \mu_i$ yang didapat dari perhitungan RII, digunakan model dari penelitian sebelumnya seperti pada persamaan (5).

Karena $\sum_{i=1} \mu_i$ yang didapat adalah 0.83283, maka koefisien EU yang diperoleh dari proyek konstruksi di Jakarta adalah 1.1 ($0.83283 \leq 1.5$). Koefisien 1.1 ini menandakan bahwa terdapat ketidakpastian yang besar pada proyek konstruksi di Jakarta. Ketidakpastian yang besar akan menghasilkan *buffer* yang besar. Karena *buffer* besar, jadwal yang dihasilkan menjadi kurang kompetitif. Tapi di lain sisi, Ma et al. (2014) menjelaskan bahwa meski *buffer* yang dihasilkan kurang menarik, jadwal yang dihasilkan memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai ketidakpastian. Ketahanan yang baik terhadap ketidakpastian pada akhirnya dapat mengurangi risiko keterlambatan pada proyek sehingga menghindari kerugian.

Dari hasil perhitungan *Relative Importance Index* (RII), stabilitas pasokan suplai adalah faktor *Environmental Uncertainty* (EU) yang paling berpengaruh dalam penjadwalan proyek. Stabilitas pasokan suplai diperlukan dalam penjadwalan berbasis *Critical Chain Project Management* (CCPM). Hal ini dikarenakan dasar dari penjadwalan CCPM yang berdasarkan *resource* sehingga membutuhkan *resource* secara terus menerus (*continue*). Kestabilan *resource* dalam penjadwalan CCPM ini sesuai dengan yang dikatakan Bie et al. (2012) dan Long dan Ohsato (2008), yaitu alur (*workflow*) yang lancar dibutuhkan dalam metode CCPM dikarenakan peran *resource* yang penting dalam *critical chain* dan dapat mengubah penjadwalan proyek (Bie et al., 2012; Long dan Ohsato, 2008).

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil analisis dalam penelitian ini yaitu:

1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan koefisien *Environmental Uncertainty* (EU) yang didapat berdasarkan perhitungan RII adalah 1.1. Koefisien ini menunjukkan bahwa terdapat ketidakpastian yang besar pada proyek di Jakarta.
2. Dari hasil perhitungan *Relative Importance Index* (RII), stabilitas pasokan suplai adalah faktor *Environmental Uncertainty* (EU) yang paling berpengaruh dalam penjadwalan proyek dengan nilai RII sebesar 0.883019, sedangkan kondisi makroekonomi menjadi faktor yang paling kurang berpengaruh dalam penjadwalan proyek dengan nilai RII sebesar 0.698113.

DAFTAR PUSTAKA

- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., dan Giacchetta, G. (2009). "Critical Chain and Risk Analysis Applied to High-Risk Industry Maintenance: A Case Study". *International Journal of Project Management*, 27(4) 419-432.
- Bie, L., Cui, N., dan Zhang, X. (2012). "Buffer Sizing Approach with Dependence Assumption between Activities in Critical Chain Scheduling". *International Journal of Production Research*, 50(24), 7343-7356.
- Cohen, I., Mandelbaum, A., dan Shtub, A. (2004). "Multi-Project Scheduling and Control: A Process-based Comparative Study of the Critical Chain Methodology and Some Alternatives". *Project Management Journal*, 35(2), 39-50.
- Goldratt, E. M. (1997). *Critical Chain*. New York: The North River Press.
- Herroelen, W., dan Leus, R. (2001). "On the Merits and Pitfalls of Critical Chain Scheduling". *Journal of Operations Management*, 19(5), 559-577.
- Kometa, S. T., Olomolaiye, P. O., dan Harris, F. C. (1994). "Attributes of UK Construction Clients Influencing Project Consultants performance". *Construction Management and Economics*, 12(5), 433-443.
- Leach, L. P. (2005). *Critical Chain Project Management*. 2nd ed. London: Artech House Inc.

- Long, L.D., dan Ohsato, A. (2008). "Fuzzy Critical Chain Method for Project Scheduling under Resource Constraints and Uncertainty". *International Journal of Project Management*, 26 (6), 688-698.
- Ma, G., Wang, A., Li, N., Gu, L., dan Ai, Q. (2014). "Improved Critical Chain Project Management Framework for Scheduling Construction Projects". *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(12): 04014055.
- Patrick, S. F. (1999). *Critical Chain Scheduling and Buffer Management, Getting Out from Between Parkinson's Rock and Murphy's Hard Place*. PM Network, April.
- Rabbani, M., et al. (2007). "A new Heuristic for Resource-Constrained Project Scheduling in Stochastic Networks Using Critical Chain Concept". *European Journal of Operational Research*, 176 (2), 794-808.
- Rand, G. K. (2000). "Critical chain: The Theory of Constraints Applied to Project Management". *International Journal of Project Management*, 18(3), 173-177.
- Raz, T., Barnes, R., dan Dvir, D. (2003). "A Critical Look at Critical Chain Project Management". *Project Management Journal*, 34(4), 24-32.
- Sambasivan, M., dan Soon, Y. W. (2007). "Cause and Effects of Delays in Malaysian Construction Industry". *International Journal of Project Management*, 25(5), 517-526.
- Tukel, O. I., Rom, W. O., dan Eksioglu, S. D. (2006). "An Investigation of Buffer Sizing Techniques in Critical Chain Scheduling". *European Journal of Operational Research*, 172(2), 401-416.
- Yang, L., Li, S., dan Huang, X. (2009). "A Buffer Sizing Approach in Critical Chain Scheduling with Attributes Dependent". *Industrial Engineering and Management*, 1, 11-14 (in Chinese).
- Yingfa, S., dan Hong, Y. (2010). *The risk study of e-governance based on PEST analysis model*. Proc., Int. Conf. On E-Business and E-Government (ICEE), The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE), Seoul, Korea, 563-566.