

Model Simulasi Risiko Rantai Pasok Material Proyek Konstruksi Gedung

***Jati Utomo Dwi Hatmoko, Frida Kistiany**

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

*) jati.hatmoko@ft.undip.ac.id

Received: 10 Mei 2017 Revised: 15 Juni 2017 Accepted: 4 Juli 2017

Abstract

Delays related to materials are one of main problems of construction project. An effective supply chain management has a significant role in preventing this type of delay. The aim of this research is develop risk simulation model of construction supply chain in buildings. The materials include steel bars, steel profiles, formwork, and precast concrete, as they are considered the main building material. The supply chain risks are classified from supply, control, process, and demand sides. Monte Carlo simulation has been performed using Cristal Ball software. Risk identification was done through literature review, site observation, and interviews with 29 contractor personnel working for nine building projects. The simulation results show that the minimum, maximum, and most frequent delays (in days), as follows: steel bars (2.20, 17.05, 11.24); steel profiles (2.12, 15.10, 9.75), formwork (1.79, 16.04, 10.45), precast concrete (1.76, 15.61, 10.24). The sensitivity analysis shows that delay due to change order from client is the most sensitive for steel bars, steel profiles, and formwork of 25.5%, 37.4%, dan 17%, respectively. The results of this research is useful for contractors and owners who can use them as a guidance in identifying, predicting, and mitigating supply chain risks for a successful project.

Keywords: Construction supply chain, risks, construction materials, Monte Carlo simulation

Abstrak

Keterlambatan pengadaan material merupakan salah satu masalah utama dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi. Pengelolaan rantai pasok yang efektif mempunyai peran utama dalam mencegah terjadinya keterlambatan pengiriman material. Maksud penelitian ini adalah untuk membangun model simulasi risiko rantai pasok material proyek konstruksi gedung. Material yang ditinjau meliputi baja tulangan, baja profil, bekisting, dan beton precast, di mana keempat jenis material ini dianggap dapat mewakili kebutuhan material utama pada bangunan gedung. Risiko rantai pasok yang ditinjau bersumber dari sisi supply, control, process, dan demand. Simulasi risiko rantai pasok dilakukan dengan menggunakan metode monte carlo dengan aplikasi crystal ball. Identifikasi risiko dilakukan melalui tinjauan pustaka dan interview dengan menentukan sumber ketidakpastian dalam rantai pasok, kemudian menetapkan risiko-risiko keterlambatan pengadaan material dalam proyek, dan melakukan klasifikasi risiko-risiko tersebut berdasarkan sumber ketidakpastiannya. Data-data terkait material, probabilitas dan dampak risiko penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, survey kuesioner, dan interview kepada 29 responden personil kontraktor yang berasal dari 9 proyek gedung bertingkat. Hasil simulasi menunjukkan rentang waktu keterlambatan material (dalam hari) dalam rantai pasok (minimum, maksimum dan paling sering), sebagai berikut: baja tulangan (2,20; 17,05; 11,24); baja profil (2,12 ;15,10; 9,75), bekisting (1,79 ; 16,04; 10,45), beton precast (1,76; 15,61; 10,24). Hasil analisis sensitivitas menunjukkan risiko keterlambatan akibat 'pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh owner' menduduki peringkat tertinggi sebagai risiko paling dominan untuk material baja tulangan, baja profil dan bekisting dengan besar pengaruh sebesar 25,5%, 37,4%, dan 17%. Hasil penelitian ini bermanfaat bagi

kontraktor dan owner sebagai acuan dalam mengidentifikasi, memprediksi, dan memitigasi risiko rantai pasok proyek konstruksi.

Kata-kata kunci: Rantai pasok konstruksi, risiko, material konstruksi, simulasi Monte Carlo

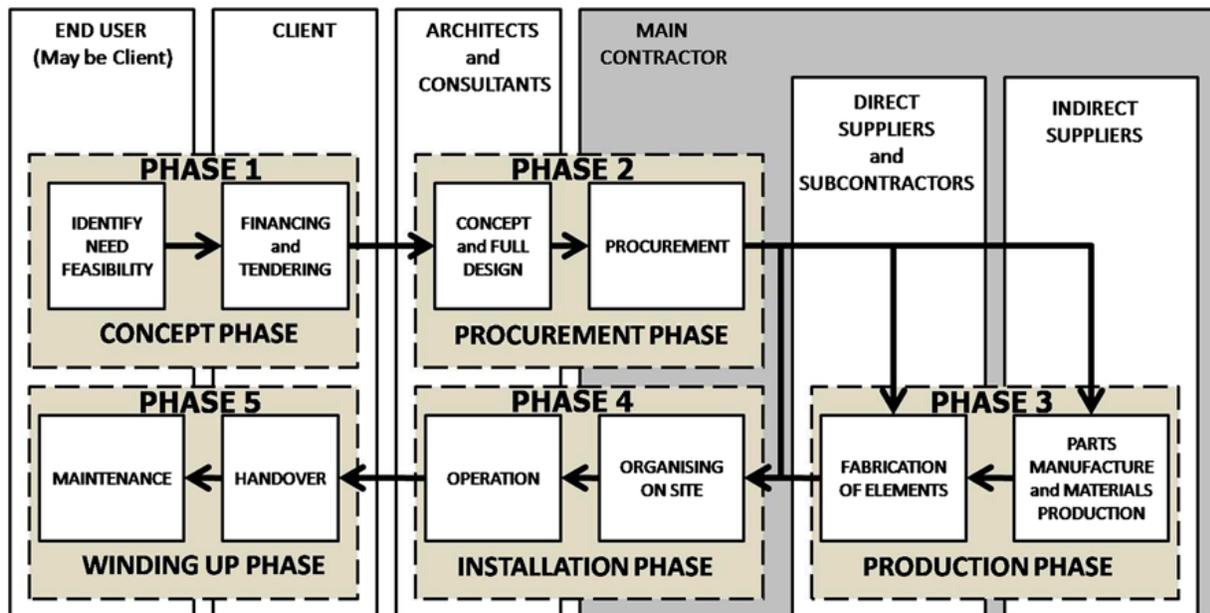
Pendahuluan

Keterlambatan merupakan salah satu permasalahan klasik yang dialami oleh banyak proyek konstruksi, dan dapat merugikan bagi banyak pihak. Keterlambatan proyek menyebabkan tertundanya *owner* atau pengguna akhir untuk segera menggunakan fasilitas terbangun. Bagi kontraktor, denda atas keterlambatan merupakan biaya tambahan yang tidak perlu, dan dapat mencoreng reputasi perusahaan.

Penyebab keterlambatan dapat berasal dari kontraktor, *owner*, maupun sebab-sebab eksternal lainnya. Kaliba *et al* (2009) mengidentifikasi penyebab keterlambatan proyek antara lain terkait dengan masalah finansial, perubahan kontrak, pengadaan material, kurang koordinasi, perubahan spesifikasi dan desain, kekurangan alat. Sedangkan dari sisi *owner* ditengarai tiga penyebab utama keterlambatan yaitu perubahan desain, masalah finansial, dan kurangnya pengalaman dalam bisnis konstruksi (Koushki *et al.*, 2005).

Permasalahan keterlambatan terkait dengan karakteristik proyek konstruksi yang kompleks, multi

organisasi, bersifat sementara, terfragmentasi, dan hubungan bersifat adversarial (Cheng *et al.*, 2010; Dainty *et al.*, 2007). Proyek konstruksi bersifat multi organisasi dan multi proses, karena di dalamnya melibatkan stakeholder yang berbeda-beda, serta melalui tahapan siklus hidup proyek dari konseptual, desain, konstruksi, perawatan, penggantian dan dekomisi (Xue *et al.*, 2007). (Behera *et al.*, 2015) menggambarkan proses pada proyek konstruksi secara umum, yang terdiri dari fase konseptual, pengadaan, produksi, instalasi dan penyelesaian Gambar 1. Siklus ini berawal dari inisiatif klien untuk membangun sebuah proyek konstruksi sesuai kebutuhan, diikuti dengan proses penyiapan pembiayaan dan tender arsitek dan konsultan. Setelah desain selesai, dan kontraktor terpilih, maka dilanjutkan dengan tahapan pengadaan oleh kontraktor yang melibatkan subkontraktor dan *supplier* langsung maupun tidak langsung. Peran mereka terkait dengan fabrikasi elemen bangunan dan produksi bagian dan material tertentu. Pada tahapan instalasi, dilakukan pengorganisasian sumber daya di *site* untuk melaksanakan instalasi dan operasi. Siklus ini diakhiri dengan tahapan serah terima yang nantinya akan diikuti perawatan bangunan secara berkala.



Gambar 1. Fase tipikal proyek konstruksi (Behera *et al*, 2015)

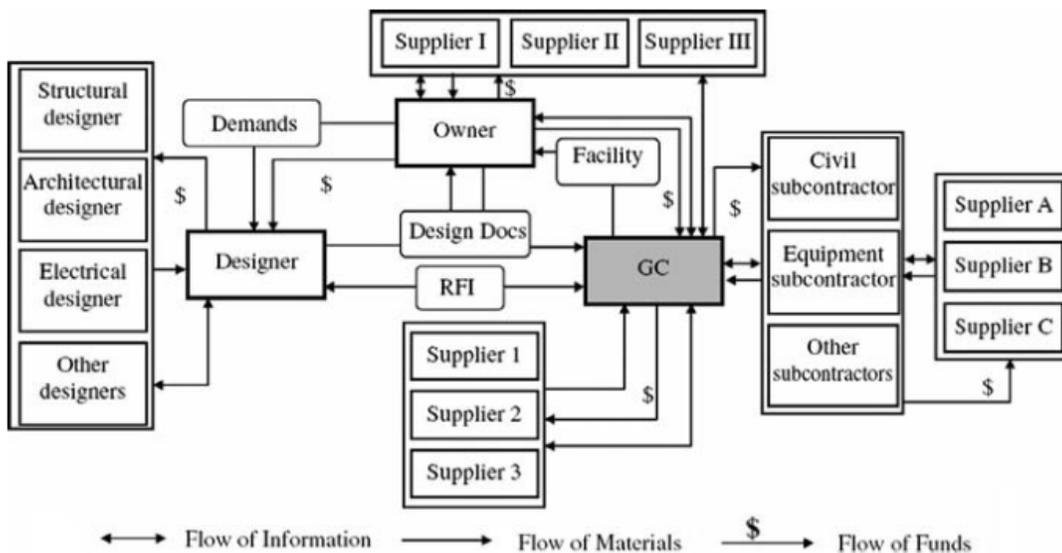
Penjelasan di atas menunjukkan bahwa sebagian besar masalah keterlambatan proyek tidak dapat dipisahkan dari permasalahan yang terjadi dalam rantai pasok proyek konstruksi. Keterlambatan proyek akibat rantai pasok dapat berasal dari aliran informasi, material, peralatan, dan tenaga (Hatmoko & Scott, 2010), di mana material mempunyai dampak terbesar pada keterlambatan proyek. Keterlambatan proyek akibat faktor terkait material, antara lain: keterlambatan pengiriman bahan, ketersediaan bahan terbatas di pasaran, kualitas bahan jelek, kelangkaan material yang dibutuhkan, adanya perubahan material oleh *owner*, kerusakan bahan di tempat penyimpanan (Marzouk & El-Rasas, 2014), (Wirabakti, *et al.*, 2017). Untuk itu perlu risiko keterlambatan proyek akibat keterlambatan pengadaan material perlu diantisipasi dan dievaluasi lebih mendalam.

Maksud penelitian ini adalah untuk membangun model simulasi risiko rantai pasok material proyek konstruksi gedung. Tujuan penelitian ini meliputi: (1) mengidentifikasi risiko keterlambatan material proyek konstruksi pada sisi supply, control, process, dan demand; (2) memprediksi waktu keterlambatan pada sisi supply, control, process, dan demand dengan simulasi Monte Carlo; (3) melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui risiko dominan yang terjadi pada pengadaan material; (4) merekomendasikan strategi mitigasi risiko untuk meminimalisasi risiko-risiko dominan.

Rantai pasok proyek konstruksi

Secara umum struktur tipikal rantai pasok konstruksi ditunjukkan oleh Gambar 2 yang melibatkan aliran informasi, material dan finansial (Xue *et al.*, 2005). Kontraktor utama (GC – General Contractor) merupakan inti dari rantai pasok konstruksi, dengan mitra klien dan konsultan perencana di dalamnya. Sub kontraktor dapat dianggap sebagai *supplier* bagi kontraktor utama, dan juga mempunyai *supplier* tersendiri. Di dalam rantai pasok ini teridentifikasi delapan proses bisnis utama dalam rantai pasok konstruksi yang bersifat lintas organisasi, meliputi manajemen proyek, manajemen layanan klien, manajemen hubungan *supplier*, manajemen permintaan, pemenuhan order, manajemen aliran konstruksi, manajemen lingkungan, dan penelitian dan pengembangan (Xue *et al.*, 2005).

Behera *et al* (2015) menyimpulkan bahwa karakteristik rantai pasok proyek konstruksi dipengaruhi antara lain oleh pengaruh konsumen, fragmentasi, jumlah dan tipe stakeholder, hubungan pembeli-supplier, multi organisasi yang bersifat temporer, tipe rantai pasok pembuatan sesuai pesanan (*make-to-order*), dan peluang kolaborasi, dan pemesanan berulang (*cyclical demand*). Aloini *et al* (2012) merangkum karakteristik industri konstruksi yang dipandang akan berpengaruh pada penerapan manajemen rantai pasok pada proyek konstruksi, meliputi antara lain: system produksi, pengaruh pelanggan, fragmentasi, stakeholder, hubungan *buyer-supplier*, konfigurasi temporal, dan inersia perubahan pada Tabel 1.



Gambar 2. Model tipikal rantai pasok konstruksi (Xue *et al.*, 2005)

Tabel 1. Karakteristik industri konstruksi yang dapat berpengaruh pada implementasi manajemen rantai pasok (Aloini et al., 2012)

Karakteristik	Deskripsi
Sistem produksi	sistem produksi industri konstruksi bersifat proyek dalam lingkungan yang kompleks dan penuh ketidakpastian
Pengaruh pelanggan	pelanggan berpengaruh besar pada produk akhir secara fisik dan nilai parameter logistic
Fragmentasi	fragmentasi dalam konteks pasar, maupun proses
Jumlah dan tipe stakeholder	stakeholder utama meliputi owner, arsitek, kontraktor, dan <i>supplier</i> yang melibatkan aliran informasi, material, jasa, produk, dan finansial.
Hubungan <i>buyer-supplier</i>	hubungan bersifat transaksional, penuh konflik dan ketidakpercayaan; pada proyek publik, harga terendah menjadi parameter utama penetapan pemenang, yang sekaligus menjadi sumber persoalan utama dalam pelaksanaan proyek.
Konfigurasi temporal	produksi di lokasi sementara oleh organisasi yang bersifat sementara mendorong orientasi pemikiran jangka pendek dan oportunistis.
Inersia perubahan (<i>change inertia</i>)	organisasi cenderung bersifat konservatif dalam menghadapi perubahan karena pertimbangan risiko dalam pelaksanaan proyek

Untuk memastikan kesuksesan proyek, maka diperlukan sistem manajemen rantai pasok konstruksi yang handal. Manajemen rantai pasok konstruksi dapat didefinisikan sebagai suatu sistem di mana *supplier*, kontraktor, arsitek dan klien bekerja bersama di bawah koordinasi kontraktor utama untuk memproduksi, mengirim, merakit dan menggunakan informasi, material, peralatan, sumber daya lainnya untuk sebuah proyek konstruksi (Hatmoko & Scott, 2010). Dalam hal ini, kontraktor utama sebagai koordinator utama mempunyai posisi strategis untuk mengatur semua stakeholder dan sumber daya sepanjang rantai pasok proyek. Untuk memastikan proyek dapat selesai tepat waktu, kontraktor utama harus mengantisipasi dan meminimalkan risiko keterlambatan sepanjang rantai pasok.

Risiko rantai pasok konstruksi

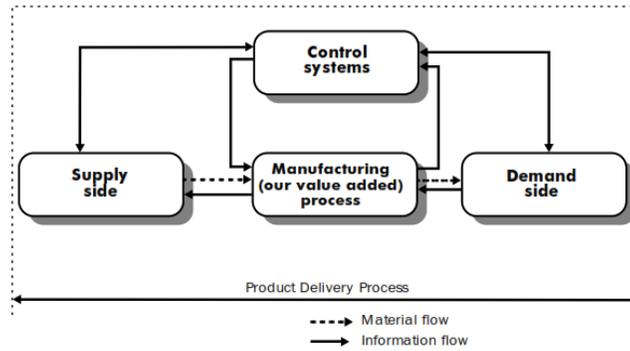
Risiko rantai pasok didefinisikan sebagai probabilitas dan kemungkinan dari kejadian yang tidak diharapkan, baik pada tingkat mikro atau makro yang mempengaruhi secara negatif pada rantai pasok yang berakibat pada gangguan atau kegagalan tingkat operasional, taktis atau strategis (Ho et al., 2015). Risiko makro mengacu pada risiko-risiko yang sangat buruk dan jarang terjadi yang berdampak negatif, terdiri dari risiko natural (misal gempa bumi, cuaca ekstrim), dan risiko akibat

manusia (perang, terorisme dan ketidakstabilan politik). Risiko mikro mengacu pada risiko yang berasal dari kegiatan internal perusahaan atau hubungan dengan mitra di sepanjang rantai pasok, yang terdiri dari risiko permintaan (*demand risk*), risiko fabrikasi (*manufacturing risk*), risiko suplai (*supply risk*) and risiko infrastruktur (*infrastructural risk*). Risiko infrastruktur terdiri dari teknologi informasi, transportasi, dan sistem finansial.

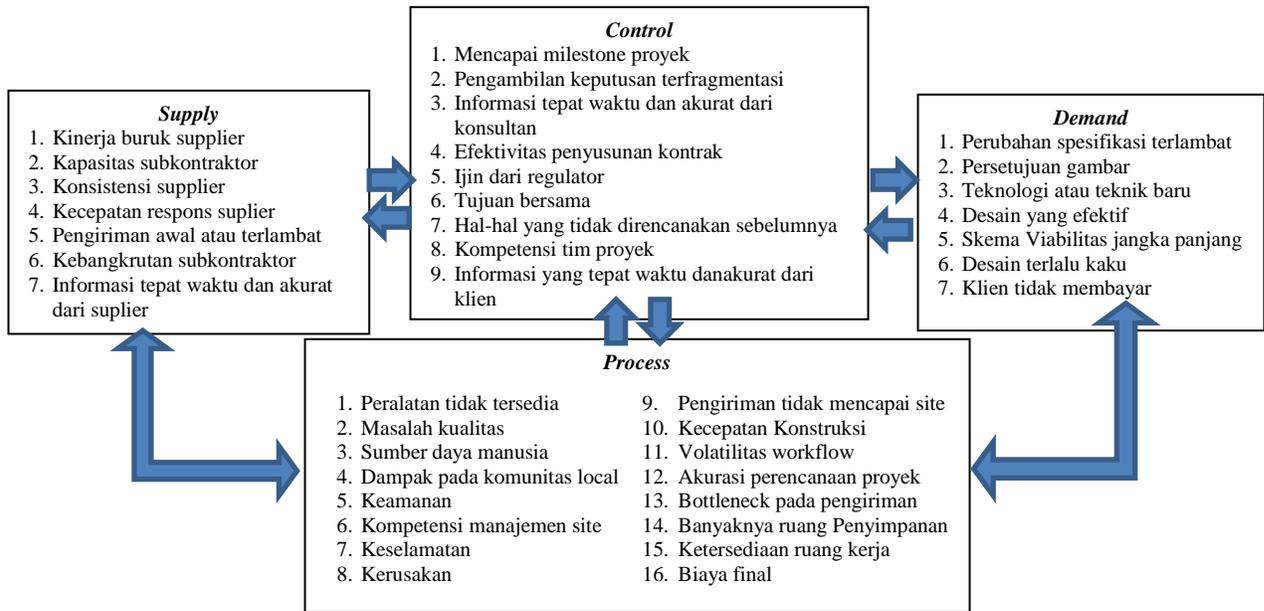
Risiko dapat terjadi dalam berbagai bentuk di sepanjang rantai pasok, namun sumbernya dapat digolongkan ke dalam empat golongan, yaitu sisi *supply*, *control*, *process*, dan *demand* (Mason-Jones & Towill, 2000) Gambar 3. Ketidakpastian rantai pasok tersebut menjadi akar penyebab masalah keterlambatan proyek konstruksi. Berdasarkan model ini, (Gosling, et al., 2012) kemudian merinci risiko sepanjang rantai pasok yang membentuk siklus ketidakpastian (*uncertainty circle*) Gambar 4.

Identifikasi Risiko Rantai Pasok Konstruksi

Hasil identifikasi risiko rantai pasok konstruksi yang mempengaruhi keterlambatan pengadaan material untuk setiap tahap *rantai pasok* dari sisi *supply*, *control*, *process*, dan *demand* disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 3. Model penyebab ketidakpastian rantai pasok (Mason-Jones and Towill 2000)



Gambar 4. Sumber risiko dalam siklus ketidakpastian rantai pasok (Gosling, Naim, and Towill 2012)

Tabel 2. Identifikasi Risiko Rantai Pasok konstruksi

No	Sumber Ketidakpastian rantai pasok	Kode risiko	Kejadian risiko	Referensi
1.	Supply	S1	Pengiriman ulang material karena mutu material tidak sesuai spesifikasi seperti pemesanan	(Son & Orchard 2013), (Viswanadham & Samvedi 2013; Wiengarten, et al., 2013; Wu et al. 2013)
		S2	Keterlambatan material karena kendala produksi di pabrik	
		S3	Pengiriman ulang material karena material rusak saat pemasokan	
		S4	Penundaan pengiriman material karena keterbatasan <i>stock</i> material dari <i>supplier</i>	
		S5	Pemesanan ulang jumlah material karena ketidakakuratan informasi mengenai harga material oleh <i>supplier</i>	
		S6	Pembatalan pengiriman material karena tidak adanya alat angkut	
		S7	Waktu tunggu material yang lama untuk memenuhi kuota pemesanan karena pengiriman bertahap dari keterbatasan alat angkut oleh <i>supplier</i>	

Tabel 3. Identifikasi Risiko Rantai Pasok konstruksi (lanjutan)

No	Sumber ketidakpastian rantai pasok	Kode risiko	Kejadian risiko	Referensi
2.	<i>Control</i>	C1	Perubahan pemesanan yang mendadak karena jadwal penggunaan material yang tidak sesuai	(Hatmoko & Scott 2010; Ismael & Junaidi 2014; Marzouk & El-Rasas 2014)
		C2	Perubahan pemesanan pengadaan material karena ketidaktepatannya kontraktor dalam menyusun jadwal pelaksanaan proyek seperti yang terjadi di lapangan	
		C3	Kurangnya kemampuan manajerial dari sub kontraktor sehingga pekerjaan tidak selesai tepat waktu dan terjadi penundaan pengadaan material	
		C4	Kelalaian dari subkontraktor dan kontraktor dalam penanganan material menyebabkan pemasokan ulang dari material yang tidak tersimpan dengan penanganan tepat	
		C5	Material terlalu dini tiba di proyek karena tidak tepatnya waktu pemesanan kebutuhan material sehingga memenuhi gudang penyimpanan dan harus membatalkan pemesanan material lain.	
		C6	Pengiriman ulang material karena kesalahan pekerjaan dari instruksi yang diterima tidak jelas	
		C7	Pengiriman ulang material karena kesalahan pekerjaan dari instruksi yang diberikan tidak jelas	
		C8	Pengiriman ulang material karena perbedaan gambar dan spesifikasi yang diterima oleh kontraktor/subkontraktor	
		C9	Keterlambatan kontraktor utama dalam membayar sub kontraktor	
		C10	Tertundanya pemesanan material karena kurangnya informasi akan material terpasang dalam kegiatan konstruksi dari keterlambatan dalam menyerahkan gambar kerja (<i>shop drawing</i>)	
3.	<i>Process</i>	P1	Keterlambatan material karena kepadatan lalu lintas	(Hatmoko & Scott 2010; Ismael & Junaidi 2014; Marzouk & El-Rasas 2014)
		P2	Keterlambatan material karena kecelakaan transportasi pengangkut material saat pengiriman material	
		P3	Pemesanan ulang material karena material masih kurang untuk memenuhi kebutuhan pekerjaan	
		P4	Kesalahan dalam spesifikasi material atau perbedaan antara BOQ dan gambar yang mengakibatkan kurangnya persediaan material di proyek saat dibutuhkan sehingga dilakukan pemesanan tambahan	
		P5	Detail desain yang tidak lengkap mengakibatkan tidak matangnya kuantitas dari material yang akan dipesan sehingga perlu pemesanan ulang material	
		P6	Kerusakan alat pengangkutan material saat pelaksanaan dapat menyebabkan pekerjaan tertunda sehingga menunda pemasokan material	
		P7	Pemesanan ulang material karena kerusakan dan atau kehilangan material di gudang penyimpanan	
		P8	Pemesanan ulang material karena kerusakan dan atau kehilangan material di gudang penyimpanan	
		P9	Penundaan pengiriman karena kapasitas penyimpanan tidak memadai	
4.	<i>Demand</i>	D1	Kesulitan mencari material	(Radke & Tseng 2012), (Baghalian, <i>et al.</i> , 2013; Ismael & Junaidi 2014; Kim 2013; Schmitt & Singh 2012; Tang, <i>et al.</i> , 2012)
		D2	Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi	
		D3	Pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang	
		D4	Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh <i>owner</i>	
		D5	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	

Metode Penelitian

Identifikasi risiko dilakukan melalui tinjauan pustaka dan *interview* dengan menentukan sumber ketidakpastian dalam rantai pasok, kemudian menetapkan risiko-risiko keterlambatan pengadaan material dalam proyek, dan melakukan klasifikasi risiko-risiko tersebut berdasarkan sumber ketidakpastiannya. Data-data terkait material, probabilitas dan dampak risiko penelitian diperoleh melalui kuesioner dan *interview* kepada 29 responden kontraktor yang berasal dari sembilan proyek gedung bertingkat yang berlokasi di Semarang. Responden terdiri dari para pihak yang memahami pengadaan material konstruksi proyek, seperti *site manajer*, *site engineer*, *staff teknik*, *quality control*, logistik, dan lain-lain, lihat Tabel 3. Pemodelan simulasi keterlambatan material yang dilakukan mengadopsi model *uncertainty circle* dari (Gosling *et al.*, 2012; Mason-Jones & Towill, 2000). Simulasi Monte Carlo dilakukan dengan bantuan program Crystal Ball.

Kuesioner yang disebarakan kepada responden bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh risiko dari kegiatan rantai pasok terhadap waktu pengadaan material. Adapun pertanyaan dalam kuesioner dikelompokkan menjadi empat kelompok yaitu : *supply*, *control*, *process* dan *demand*. (a) Ketidakpastian *supply* yaitu ketidakpastian yang berasal dari *supplier* dalam memasok material ke proyek, seperti ketidakpastian waktu tunggu pengadaan material, (b) Ketidakpastian *control* yaitu ketidakpastian mengontrol kegiatan pelaksanaan proyek dan ketidakakuratan peraturan dan manajemen, (c) Ketidakpastian *process* yaitu ketidakpastian kegiatan pekerjaan selama proses pelaksanaan proyek, misalnya kesalahan pekerjaan, waktu tunggu dan kerusakan alat, (d) Ketidakpastian *demand* yaitu ketidakpastian permintaan dan keinginan pemilik atau penanggung jawab proyek terhadap tujuan proyek, misalnya

ketidaktransparanan informasi dan ketidakpastian perubahan spesifikasi. Jenis Material yang ditinjau dalam pertanyaan kuesioner adalah baja tulangan, baja profil, *bekisting* dan beton *precast*. Untuk setiap pertanyaan, responden diminta untuk memperkirakan probabilitas dan dampak resiko yang terjadi pada setiap variabel penelitian (identifikasi risiko) yang tertuang pada pertanyaan di kuesioner. Probabilitas dapat diklasifikasikan sebagai berikut; tidak pernah terjadi (0%), kecil kemungkinan terjadi (1% - 33%), kadang-kadang terjadi (34% - 66%), sering terjadi (67% - 99%), selalu terjadi (100%). Sedangkan dampak risiko dinyatakan dalam keterlambatan (hari): a) Penilaian *optimistic* yaitu keterlambatan yang dampaknya paling kecil (1 hari), b) Penilaian *most likely* yaitu keterlambatan yang dampaknya paling sering terjadi (2 hari), c) Penilaian *pesimistic* yaitu keterlambatan yang dampaknya paling besar (enam hari)

Model simulasi

Simulasi telah banyak digunakan dalam riset manajemen rantai pasok. (Hatmoko & Scott, 2010) melakukan simulasi berbasis Monte Carlo untuk mengestimasi pengaruh *delay* rantai pasok pada kinerja waktu proyek gedung. (Berle *et al.*, 2013) mensimulasikan sistem transportasi LNG, sedangkan (Glock & Ries, 2013) mensimulasikan pengurangan *lead time* pada rantai pasok. (Durowoju *et al.*, 2012) menggunakan simulasi diskrit untuk menginvestigasi dampak gangguan pada aliran informasi kritis pada operasional manufaktur dalam anggota rantai pasok yang berkolaborasi. Penggunaan simulasi memungkinkan evaluasi kinerja operasi dapat dilakukan sebelum implementasi yang system sebenarnya, sehingga memudahkan pengambilan keputusan (Chang & Makatsoris, 2001). Selain itu pemilihan sistem alternatif juga dimungkinkan melalui simulasi tanpa mengganggu sistem yang sedang berjalan.

Tabel 4. Distribusi responden kontraktor 9 proyek gedung

	Proyek A	Proyek B	Proyek C	Proyek D	Proyek E	Proyek F	Proyek G	Jumlah responden
Site Manager	-	-	√	√	-	-	√	3
Site Engineer	-	-	√	√	√	√	√	5
Staff Teknik	√	-	-	√	-	√	√	4
Quality Control	-	√	-	-	√	-	√	3
Quantity Surveyor	√	√	-	-	√	√	√	5
Logistik	√	√	√	√	√	√	√	7
Penerima barang	-	-	-	-	√	√	-	2
Total	3	3	3	4	5	5	6	29

Pemodelan simulasi total keterlambatan waktu pengadaan material pada penelitian ini mengacu pada literatur siklus ketidakpastian rantai pasok (Gosling *et al.*, 2012; Mason-Jones & Towill, 2000). Sumber ketidakpastian dikelompokkan menggunakan siklus ketidakpastian (*uncertainty circle*) yang terdiri dari *supply*, *control*, *process*, dan *demand* (Gambar 6). Berdasarkan model siklus ketidakpastian (Gosling *et al.*, 2012), total keterlambatan material dapat dimodelkan sebagai penjumlahan dari keterlambatan pada tahapan *supply*, *control*, *proses*, *demand*. Hubungan tahap *control* dan *process* diasumsikan pada posisi paralel, karena risiko-risiko keterlambatan yang terjadi pada kedua tahap tersebut dimungkinkan untuk terjadi bersamaan. Konsekuensi logis dari posisi paralel tersebut maka risiko keterlambatan dengan dampak waktu terbesar yang akan menentukan kontribusinya pada total risiko.

Metode analisis data

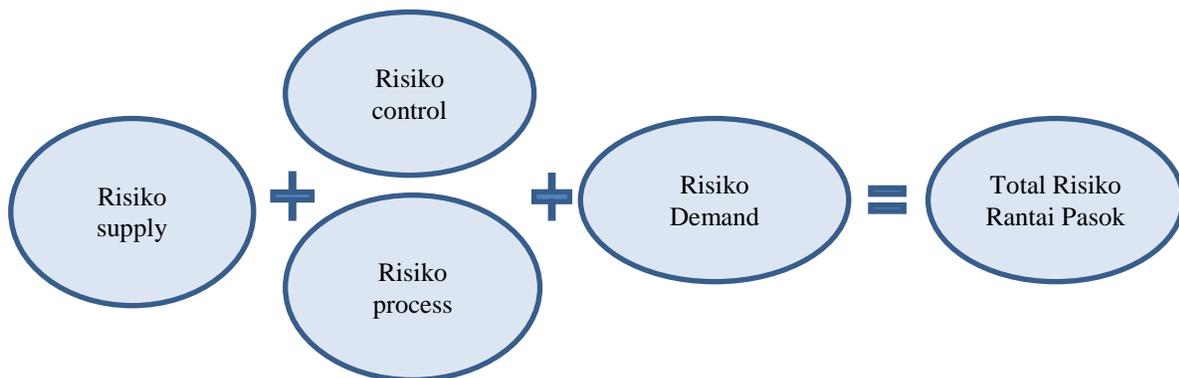
Dari keseluruhan data yang dikumpulkan akan dicari median dari nilai probabilitas dan dampak. Median dari probabilitas dan dampak akan diolah dengan menggunakan perangkat lunak *crystal ball* untuk dilakukan simulasi keterlambatan material. Distribusi yang digunakan adalah distribusi BetaPERT yang dipandang sesuai untuk merefleksikan pekerjaan konstruksi (Hatmoko & Scott, 2010). Simulasi dilakukan sebanyak 20,000 kali sehingga diperoleh nilai maksimum dan minimum dari seluruh keterlambatan pengadaan material akibat risiko rantai pasok. Hasil pengolahan data pada *crystal ball* akan berupa grafik *forecast value* (nilai ramalan) dan grafik sensitivitas *forecast value*.

Hasil dan Pembahasan

Dari hasil simulasi dengan 20.000 kali percobaan *crystal ball* didapatkan hasil ramalan keterlambatan untuk setiap pengadaan material pada Gambar 7. Berdasarkan hasil *forecast value* keterlambatan pengadaan material seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 maka dapat diketahui keterlambatan pengiriman material kegiatan pekerjaan seperti tersaji pada Tabel 4. Rentang waktu keterlambatan minimum berkisar 1,76 – 2,20 hari, keterlambatan maksimum berkisar 15,61 – 17,05 hari, dan keterlambatan yang paling sering terjadi berkisar 9,75 – 11,24 hari.

Untuk menentukan faktor risiko yang paling berpengaruh atau dominan, maka dilakukan analisis sensitivitas dari simulasi tiap pengadaan material. Hasil grafik sensitivitas pada gambar 8 menunjukkan persentase besarnya pengaruh risiko terhadap keterlambatan waktu pengadaan material. Tiga risiko terbesar yang paling dominan terhadap pengadaan material ditunjukkan dalam Tabel 5. Pemesanan material akibat perubahan desain yang mendadak oleh *owner* mempunyai derajat sensitivitas yang tertinggi untuk material baja tulangan dan baja profil, dan kedua tertinggi untuk bekisting, sebesar 25,5%, 37,4%, dan 17%. Faktor risiko yang dominan lainnya yang menduduki peringkat tiga besar untuk tiap jenis material, meliputi ‘penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar’, ‘pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang’, ‘pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi’, ‘penundaan pengiriman material karena keterbatasan *stock* material dari *supplier*’.

Tabel 5 menunjukkan peringkat tiga risiko terbesar yang paling dominan terhadap pengadaan material.



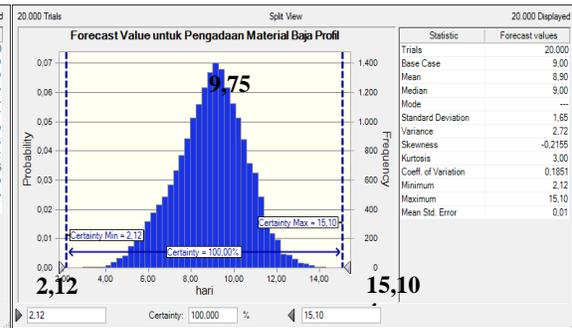
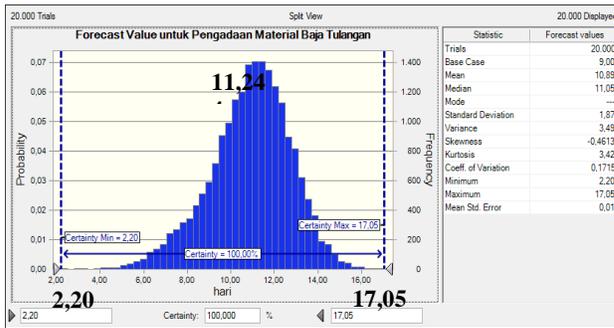
Gambar 5. Pemodelan simulasi risiko keterlambatan

Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi di atas diketahui bahwa keterlambatan pengiriman material baja tulangan, baja profil, *bekisting* dan beton *precast*, yang paling sering terjadi berkisar 9,75 – 11,24 hari. Hal ini tentunya akan berdampak pada keterlambatan pekerjaan konstruksi yang menggunakan material tersebut. Apabila diasumsikan durasi pekerjaan 30 hari dan durasi proyek keseluruhan 180 hari, maka keterlambatan dari pengiriman material ini setara dengan 33-37% dari durasi pekerjaan, atau 5-6% dari total durasi proyek. Besaran ini hampir setara dengan hasil simulasi (Hatmoko & Scott, 2010) untuk keterlambatan material yang berkisar 25 hari, atau sekitar 8% dari 300 hari total durasi proyek.

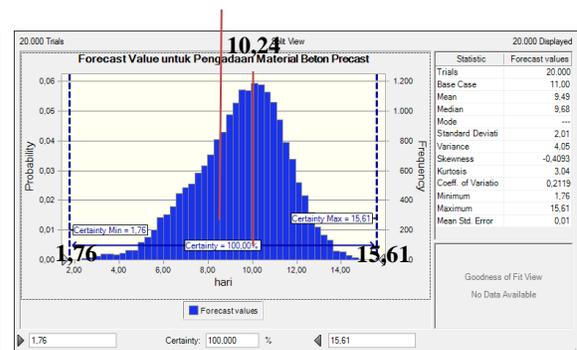
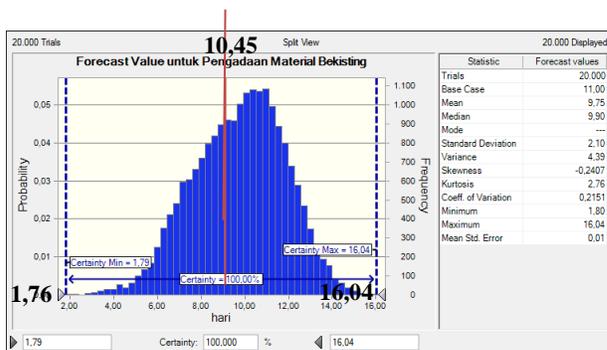
Meskipun dampak keterlambatan pada durasi proyek sesungguhnya akan sangat dipengaruhi oleh model penjadwalan pekerjaan, angka keterlambatan ini cukup signifikan dan perlu diantisipasi oleh kontraktor sejak awal. Antisipasi keterlambatan dapat dilakukan dengan mencermati risiko-risiko rantai pasok yang dominan, sesuai dengan hasil analisis sensitivitas di atas.

Dengan teridentifikasinya risiko-risiko rantai pasok yang dominan tersebut, maka perlu dilakukan upaya-upaya mitigasi untuk meminimalisir risiko-risiko tersebut, dengan perencanaan desain yang matang, rapat koordinasi rutin, memperkuat kemitraan dengan *supplier*, keterlibatan awal *supplier* dalam proyek, dan lain-lain (Tabel 6).



Gambar 6a. Forecast value pengadaan baja tulangan

Gambar 6b. Forecast value pengadaan baja profil



Gambar 6c. Forecast value pengadaan bekisting

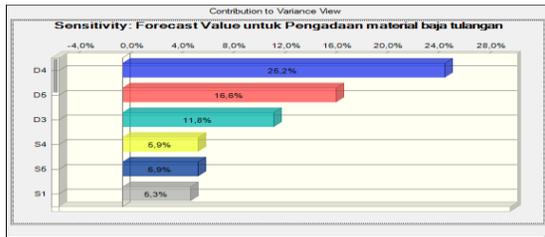
Gambar 6d. Forecast value pengadaan beton precast

Gambar 6. Forecast value keterlambatan pengadaan material

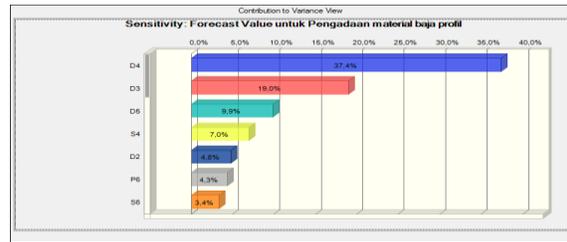
Tabel 5. Tabulasi *forecast value* keterlambatan pengadaan material

Jenis material yang dipasok	A	B	C
	Perkiraan waktu keterlambatan pengadaan minimum	Perkiraan waktu keterlambatan pengadaan maksimum	Nilai puncak atau perkiraan keterlambatan paling sering
Baja tulangan	2,20 hari	17,05 hari	11,24 hari
Baja profil	2,12 hari	15,10 hari	9,75 hari
Bekisting	1,79 hari	16,04 hari	10,45 hari
Beton precast	1,76 hari	15,61 hari	10,24 hari

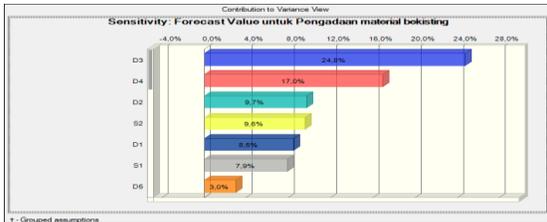
Dalam



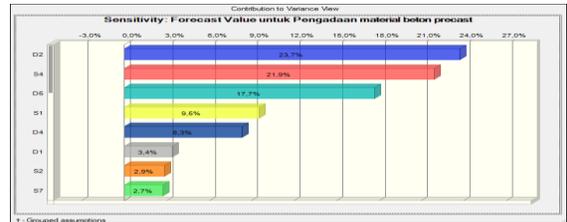
Gambar 8a. Sensitivitas risiko pengadaan baja tulangan



Gambar 8b. sensitivitas risiko pengadaan baja profil



Gambar 8c. Sensitivitas risiko pengadaan bekisting



Gambar 8d. sensitivitas risiko pengadaan beton precast

Gambar 7. Grafik sensitivitas risiko tiap jenis material

Tabel 6. Tabulasi hasil pembacaan grafik sensitivitas risiko

Material yang dipasok	Peringkat Risiko	Kode Risiko	Risiko Keterlambatan Pengadaan material	Besar pengaruh
Baja Tulangan	I	D4	Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh <i>owner</i>	25,5%
	II	D5	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	16,6 %
	III	D3	Pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang	11,8 %
Baja Profil	I	D4	Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh <i>owner</i>	37,4%
	II	D3	Pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang	19,0%
	III	D5	Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	9,9%
<i>Bekisting</i>	I	D3	Pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang	24,8%
	II	D4	Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh <i>owner</i>	17,0%
	III	D2	Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi	9,7%
Beton <i>Precast</i>	I	D2	Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi	23,7%
	II	S4	Penundaan pengiriman material karena keterbatasan stock material dari <i>supplier</i>	21,9%
	III	D5	Penundaan pengiriman material karena masalah finansial yang tidak lancar	17,7%

Tabel 7. Rekomendasi mitigasi risiko dominan

Risiko dominan	Rekomendasi upaya mitigasi risiko
1. Pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh <i>owner</i>	- perencanaan design yang matang - rapat koordinasi rutin antara <i>owner</i> , kontraktor, konsultan, dan mandor.
2. Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar	- upaya dana cadangan finansial oleh kontraktor - membangun kemitraan dengan supplier
3. Pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang	- perencanaan design yang matang - keterlibatan awal supplier dalam proyek
4. Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi	- Supplier mitra strategis - pertemuan rutin antara kontraktor dengan owner.
5. Penundaan pengiriman material karena keterbatasan stock material dari <i>supplier</i>	- menyusun daftar prioritas supplier sebagai supplier pengganti - keterlibatan awal supplier dalam proyek

Usulan di atas sejalan dengan (Ho *et al.*, 2015) yang merangkum mitigasi risiko supply yang dapat dilakukan teknik manajemen berbasis perilaku (*behaviour-based management techniques*), membangun hubungan dengan *supplier* strategis, keterlibatan awal *supplier* dalam proyek, dan mengadopsi teknik manajemen risiko secara formal, dan mengurangi kompleksitas *supply*. Hal ini sejalan dengan usulan strategi perbaikan untuk mengurangi ketidakpastian dari sisi *supply*, *control*, *process*, dan *demand* (Mason-Jones & Towill, 2000) sebagai berikut: (1) sisi *supply* dilakukan rasionalisasi basis vendor, skema kemitraan (*partnering*), dan *sharing* informasi, (2) sisi *process* : menghilangkan *waste*, konsistensi produk, konsistensi waktu proses, (3) sisi *control* dengan membangun *decision support system*, saluran komunikasi tunggal antar mitra, *push / pull approach*, (4) sisi *demand* strateginya antara lain dengan mengurangi kustomisasi produk, informasi skema kemitraan.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan simulasi risiko rantai pasok material proyek gedung, meliputi *bekisting*, baja profil, baja tulangan, dan beton *precast* pada proyek konstruksi gedung. Risiko-risiko tersebut teridentifikasi pada empat sisi rantai pasok, yaitu *supply*, *control*, *process*, dan *demand*.

1. Hasil simulasi menunjukkan rentang waktu keterlambatan material dalam rantai pasok (minimum, maksimum dan paling sering), sebagai berikut :
 - a. Untuk material baja tulangan : minimum 2,20 hari, maksimum 17,05 hari, paling sering 11,24 hari.

- b. Untuk material baja profil: minimum 2,12 hari, maksimum 15,10 hari, paling sering 9,75 hari.
 - c. Untuk material *bekisting*: minimum 1,79 hari, maksimum 16,04 hari, paling sering 10,45 hari.
 - d. Untuk material beton *precast* : minimum 1,76 hari, maksimum 15,61 hari, paling sering 10,24 hari.
2. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan risiko keterlambatan akibat ‘pemesanan tambahan material karena perubahan desain yang mendadak oleh *owner* menduduki peringkat tertinggi sebagai risiko paling dominan untuk material baja tulangan, baja profil dan *bekisting* dengan besar pengaruh sebesar 25,5%, 37,4%, dan 17%. Selain itu, faktor risiko yang dominan lainnya yang menduduki peringkat tiga besar untuk tiap jenis material, meliputi ‘Penundaan pengiriman material karena masalah financial yang tidak lancar’, ‘Pemesanan tambahan material karena perubahan fungsi ruang’, ‘Pemesanan tambahan material karena perubahan spesifikasi’, ‘Penundaan pengiriman material karena keterbatasan stock material dari *supplier*’.
3. Rekomendasi mitigasi risiko meliputi antara lain: perencanaan desain yang matang, rapat koordinasi rutin, memperkuat kemitraan dengan *supplier*, dan keterlibatan awal *supplier* dalam proyek.

Penelitian ini telah berhasil membangun model simulasi risiko rantai pasok material proyek konstruksi gedung. Hasil yang didapatkan bersumber dari risiko dari sisi *supply*, *control*, *process*, dan *demand*. Hasil simulasi ini masih bersifat umum berbasis jenis material, dan independen terhadap jadwal pelaksanaan proyek. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan

mengintegrasikan risiko rantai pasok ke dalam penjadwalan proyek, sehingga dapat diketahui dampak keterlambatan terhadap durasi proyek sesungguhnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ainal Hamdah Aritonang dan Crecencia M. Limbong selaku asisten peneliti yang telah membantu dalam survey pengumpulan data dan analisis.

Daftar Pustaka

- Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., & Ponticelli, S. (2012). Supply Chain Management: a Review of Implementation Risks in the Construction Industry. *Business Process Management Journal*, 18(5), 735-761.
- Baghalian, A., Rezapour, S., & Farahani, R. Z. (2013). Robust Supply Chain Network Design with Service Level Against Disruptions and Demand Uncertainties: A Real-Life Case. *European Journal of Operational Research*, 227(1), 199-215.
- Behera, P., Mohanty, R. P., & Prakash, A. (2015). Understanding Construction Supply Chain Management. *Production Planning & Control*, 26(16), 1332-1350.
- Berle, Ø., Norstad, I., & Asbjørnslett, B. E. (2013). Optimization, Risk Assessment and Resilience in LNG Transportation Systems. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(3), 253-264.
- Chang, Y., & Makatsoris, H. (2001). Supply Chain Modeling Using Simulation. *International Journal of simulation*, 2(1), 24-30.
- Cheng, J. C., Law, K. H., Bjornsson, H., Jones, A., & Sriram, R. (2010). A Service Oriented Framework for Construction Supply Chain Integration. *Automation in construction*, 19(2), 245-260.
- Dainty, A., Grugulis, I., & Langford, D. (2007). Understanding Construction Employment: The Need for a Fresh Research Agenda. *Personnel Review*, 36(4), 501-508.
- Amoo Durowoju, O., Kai Chan, H., & Wang, X. (2012). Entropy Assessment of Supply Chain Disruption. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(8), 998-1014.
- Glock, C. H., & Ries, J. M. (2013). Reducing Lead Time Risk Through Multiple Sourcing: The Case of Stochastic Demand and Variable Lead Time. *International Journal of Production Research*, 51(1), 43-56.
- Gosling, J., Naim, M., & Towill, D. (2012). Identifying and Categorizing the Sources of Uncertainty in Construction Supply Chains. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 102-110.
- Hatmoko, J. U. D., & Scott, S. (2010). Simulating the Impact of Supply Chain Management Practice on the Performance of Medium- Sized Building Projects. *Construction Management and Economics*, 28(1), 35-49.
- Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply Chain Risk Management: a Literature Review. *International Journal of Production Research*, 53(16), 5031-5069..
- Ismael, I., & Junaidi, J. (2014). Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keterlambatan Pelaksanaan Pekerjaan pada Proyek Pembangunan Gedung di Kota Bukittinggi. *Jurnal Momentum ISSN: 1693-752X*, 16(1).
- Kaliba, C., Muya, M., & Mumba, K. (2009). Cost Escalation and Schedule Delays in Road Construction Projects in Zambia. *International Journal of Project Management*, 27(5), 522-531.
- Kim, W. S. (2013). A Supply Chain Contract with Flexibility as a Risk-Sharing Mechanism for Demand Forecasting. *International Journal of Systems Science*, 44(6), 1134-1149.
- Koushki, P. A., Al-Rashid, K., & Kartam, N. (2005). Delays and Cost Increases in the Construction of Private Residential Projects in Kuwait. *Construction Management and Economics*, 23(3), 285-294.
- Marzouk, M. M., & El-Rasas, T. I. (2014). Analyzing Delay Causes in Egyptian Construction Projects. *Journal of advanced research*, 5(1), 49-55.
- Mason-Jones, R., & Towill, D. R. (2000). Coping with Uncertainty: Reducing "Bullwhip" Behaviour in Global Supply Chains. *In Supply Chain Forum: An International Journal*, 1 (1), 40-45.

- Radke, A. M., & Tseng, M. M. (2012). A Risk Management-Based Approach for Inventory Planning of Engineering-to-Order Production. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(1), 387-390.
- Schmitt, A. J., & Singh, M. (2012). A Quantitative Analysis of Disruption Risk in a Multi-Echelon Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 22-32.
- Son, J. Y., & Orchard, R. K. (2013). Effectiveness of Policies for Mitigating Supply Disruptions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(8), 684-706.
- Tang, O., Musa, S. N., & Li, J. (2012). Dynamic Pricing in the Newsvendor Problem with Yield Risks. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 127-134.
- Viswanadham, N., & Samvedi, A. (2013). Supplier Selection Based on Supply Chain Ecosystem, Performance and Risk Criteria. *International Journal of Production Research*, 51(21), 6484-6498.
- Wiengarten, F., Pagell, M., & Fynes, B. (2013). The Importance of Contextual Factors in the Success of Outsourcing Contracts in the Supply Chain Environment: The Role of Risk and Complementary Practices. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(6), 630-643.
- Wirabakti, D. M., Abdullah, R., & Maddeppungeng, A. (2017). Studi Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Konstruksia*, 6(1).
- Wu, D., Wu, D. D., Zhang, Y., & Olson, D. L. (2013). Supply Chain Outsourcing Risk Using an Integrated Stochastic-Fuzzy Optimization Approach. *Information Sciences*, 235, 242-258.
- Xue, X., Li, X., Shen, Q., & Wang, Y. (2005). An Agent-Based Framework for Supply Chain Coordination in Construction. *Automation in Construction*, 14(3), 413-430.
- Xue, X., Wang, Y., Shen, Q., & Yu, X. (2007). Coordination Mechanisms for Construction Supply Chain Management in the Internet Environment. *International Journal of Project Management*, 25(2), 150-157.