

PENERAPAN ISO 31000:2018 RISK MANAGEMENT-GUIDELINES PADA PROYEK PEMBANGUNAN PERPIPAAN AIR LIMBAH DI PEKANBARU

Aldesra Azria Lisananda¹, Setya Winarno¹, Mochamad Agung Wibowo²

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
Email: winarno@uii.ac.id

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang

ABSTRACT

The implementation of the Pekanbaru city wastewater pipeline construction project is likely to raise many risks that must be considered by stakeholders because the impact of the risks is detrimental and can affect the overall project completion with regard to time, cost, and quality. This research describes the implementation of risk management in the Pekanbaru city wastewater pipeline construction project based on the risk management concept of ISO 31000:2018. The questionnaire survey is the first phase of the data collection for the research project in order to obtain risk level and risk respond. Then, the survey results are validated based on the respondent's opinion from the interview. Based on interview, it was also known the risk control undertaken by stakeholders to resolve the risks. In the whole process of risk management, the implementation of the ISO 31000:2018 was only achieved 87,5%, this happens because the risk analysis is only carried out by the contractor while others do not. Therefore, only contractors implement completely of the risk management process according to ISO 31000:2018.

Keywords: risk management, wastewater piping construction project, ISO 31000:2018

PENDAHULUAN

Manajemen risiko ialah suatu tindakan untuk memperoleh informasi, melakukan analisis serta melakukan pengendalian risiko pada seluruh pekerjaan yang bertujuan agar mendapatkan efektifitas dan efisiensi yang lebih tinggi (Putera, Harmayani, dan Putra, 2019).

Penelitian berbasis ISO 31000 dilakukan oleh Safitri dan Widowati (2017) tentang *Penerapan Risk Management pada Pekerjaan di Ketinggian Berdasar SNI ISO 31000:2011*. Berdasarkan penelitan pada pembangunan hotel Grandhika Semarang oleh PT Adhi Karya belum sepenuhnya menerapkan komponen manajemen risiko pekerjaan di ketinggian sesuai dengan SNI ISO 31000:2011. Pada upaya pengendalian prosedur kerja, penggunaan alat pelindung diri, perangkat pelindung jatuh dan tenaga kerja merupakan komponen proses

manajemen risiko yang masih belum terdapat kesesuaian.

Masár (2019) dalam penelitiannya yang berjudul *The Current State of Project Risk Management in The Transport Sector* mengatakan bahwa dalam manajemen proyek membutuhkan manajemen risiko di setiap fase siklus proyek. Peningkatan tingkat keterampilan dan pengetahuan akan memudahkan dalam penggunaan pendekatan manajemen risiko proyek, metodologi, metode dan teknik dalam proses mengelola risiko proyek. Manager proyek akan dapat menjalankan proyek dengan lebih baik dan mengidentifikasi risiko positif dan negatif yang dikelola dengan lebih baik.

Zhi (1995) melakukan penelitian mengenai *Risk Management for Overseas Construction Projects* studi kasus di Cina. Penelitian ini melakukan manajemen risiko yang komprehensif berdasarkan pendekatan Barkeley. Pengklasifikasian sumber risiko berdasarkan *risk breakdown structure*,

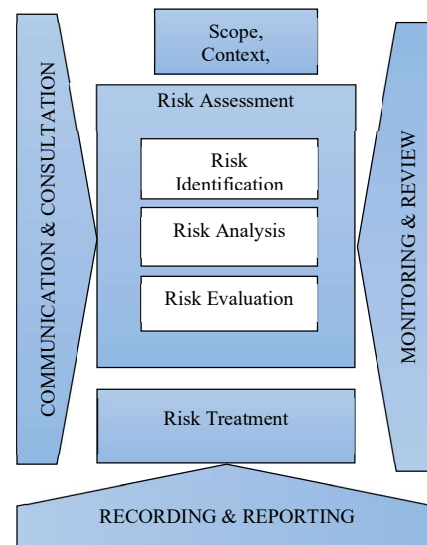
kemudian dilakukan identifikasi, penilaian, dan respon terhadap risiko yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, risiko dalam proyek konstruksi diluar negeri (khususnya Cina) bisa sangat besar. Risiko tersebut harus dikelola secara efektif menggunakan metode yang komprehensif untuk mengelola risiko selama proses konstruksi, khususnya pada tahap pra-kontrak dan pasca-kontrak. Faktor-faktor risiko vital, dalam proyek-proyek diluar negeri (khususnya Cina) harus diperiksa dengan cermat dan tidak hanya probabilitas terjadinya setiap risiko tetapi juga tingkat dampaknya harus dipertimbangkan.

Dalam kaitan dengan manajemen risiko di dalam proyek konstruksi, saat ini Pemerintah Pekanbaru sedang melaksanakan proyek pembangunan perpipaan air limbah. Proyek perpipaan air limbah ini bertujuan untuk meningkatkan layanan sanitasi masyarakat dan mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh air limbah domestik yang dibuang secara langsung ke sungai maupun tanah. Proyek ini melewati pusat Kota Pekanbaru area Selatan sehingga berkemungkinan memunculkan banyak risiko, misalnya risiko longsor pada galian, risiko kesulitan *manuver* alat berat, risiko lahan kerja yang sempit, risiko kemacetan, risiko gangguan masyarakat, risiko pembebasan tanah, dan risiko-risiko yang lain. Penelitian mengenai penerapan manajemen risiko konstruksi pada proyek perpipaan air limbah tersebut di atas sangat menarik untuk diungkap secara mendalam, dengan mengacu pada proses manajemen risiko yang ada pada ISO 31000:2018.

TAHAPAN MANAJEMEN RISIKO

Berdasarkan ISO 31000:2018 manajemen risiko adalah kegiatan yang terorganisasi dan sistematis untuk mengarahkan dan mengendalikan organisasi terkait dengan risiko. Tujuan manajemen risiko adalah mengenai perlindungan dan penciptaan nilai. Proses manajemen risiko meliputi enam kegiatan yaitu menentukan ruang lingkup konteks dan kriteria, komunikasi dan

konsultasi, penilaian risiko, perlakuan/respon risiko, *monitoring* dan *review*, serta *recording* dan *reporting*. Proses manajemen risiko dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses Manajemen Risiko ISO 31000:2018
(ISO 31000, 2018)

Risk Identification

Proses identifikasi risiko adalah mengidentifikasi penyebab dan sumber risiko (potensi bahaya dalam konteks kerusakan fisik), kejadian, situasi atau keadaan yang bisa dimiliki dampak material pada sasaran dan sifat dampak itu (SNI IEC/ISO 31010, 2016).

Risk Analysis

ISO 31000:2018 menyebutkan bahwa tujuan analisis risiko adalah untuk memahami sifat risiko dan karakteristiknya sesuai dengan tingkat risiko. Proses analisis risiko dilakukan dengan cara memperkirakan atau memberi skala pada probabilitas dan konsekuensi terhadap masing-masing variabel risiko.

Risk Evaluation

ISO 31000:2018 menyatakan bahwa evaluasi risiko bertujuan untuk mendukung pengambilan keputusan yang telah dibuat berdasarkan hasil analisis risiko.

Risk Response

Respon risiko terhadap suatu variabel risiko ditentukan berdasarkan nilai probabilitas dan konsekuensi terhadap terjadinya masalah pada proyek konstruksi dan dikategorikan dalam empat kategori, yaitu *risk retention*, *risk reduction*, *risk transfer*, *risk avoidance* (Tabel 1). Selain itu, penentuan respon risiko dapat pula dilakukan dengan cara analisis statistik deskriptif yaitu dengan mendeskripsikan terlebih dahulu persepsi masing-masing responden, lalu setelah mengambil kesimpulan tersebut didapat penanganan yang sesuai dengan risiko tersebut.

Tabel 1 Pemetaan Respon Risiko

Probabilitas (P)		Konsekuensi (I)				
		SK	K	S	B	SB
Uraian	Skala	1	2	3	4	5
SB	5					
B	4				<i>Avoidance</i>	
S	3			<i>Transfer</i>		
K	2		<i>Reduction</i>			
SK	1	<i>Retention</i>				

(Rodhi, 2017)

Keterangan:

- SK : Sangat Kecil
- K : Kecil
- S : Sedang
- B : Besar
- SB : Sangat Besar

METODE PENELITIAN

Studi Kasus

Studi kasus pada penelitian dilakukan pada proyek pembangunan perpipaan air limbah kota Pekanbaru area Selatan. Proyek

pembangunan perpipaan air limbah kota Pekanbaru area Selatan merupakan proyek yang dimiliki oleh Satuan Kerja Pengembangan Sistem Penyehatan Lingkungan Permukiman Provinsi Riau Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian PUPR untuk meningkatkan pelayanan sanitasi melalui Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD). Penelitian dilakukan berpusat pada pekerjaan dibagian SC 2 yang dilakukan oleh PT Utama Karya - PT Rosa Lisca (KSO) dan PT SMEC Indonesia sebagai konsultan perencana dan konsultan pengawas.

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif, pengumpulan data untuk mengidentifikasi risiko dilakukan dengan observasi, kuesioner dan wawancara. Penerapan manajemen risiko pada proyek pembangunan perpipaan air limbah kota Pekanbaru area Selatan dilakukan mengacu pada proses manajemen risiko ISO 31000:2018.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi risiko terdapat 53 variabel risiko terdiri dari 6 risiko *owner*, 24 risiko kontraktor, 8 risiko konsultan perencana, 9 risiko konsultan pengawas dan 6 risiko masyarakat. Jumlah variabel risiko terbanyak dimiliki oleh kontraktor. Pelaksanaan pembangunan perpipaan air limbah yang berada di jalan raya membuat kontraktor dihadapkan oleh banyaknya ketidakpastian sehingga memungkinkan untuk terjadinya sesuatu yang merugikan dan tidak terduga atau tidak diinginkan. Kontraktor menanggung risiko terbesar sebanyak 24 jenis risiko atau 45,28%, yang mana hasil ini selaras dengan penelitian Santoso (2017) bahwa kotraktor menanggung risiko terbesar yang mencapai 73,19% risiko.

Adapun respon dan tindakan mitigasi terhadap variabel-variabel risiko dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Respon dan Tindakan Perlakuan Variabel Risiko Proyek Pembangunan Perpipaan Air Limbah

Variabel Risiko	Respon Risiko	Respon Risiko dan Tindakan Perlakuan Risiko Berdasarkan Hasil Wawancara
Owner (Pemilik Proyek)		
Perubahan desain dan teknis pekerjaan akibat penyesuaian dengan kondisi di lapangan	<i>Avoidance</i>	Pada saat MC0 dilakukan survei ulang bersama untuk melihat apakah ada bagian-bagian yang akan diubah (<i>risk reduction</i>)
Ketidaksesuaian data pengukuran dilapangan dan di gambar	<i>Avoidance</i>	Survei ulang bersama dengan kontraktor dan konsultan pengawas dan harus dituangkan didalam berita acara perihal perubahan yang akan dilakukan (<i>risk reduction</i>)
Kontraktor		
Kondisi cuaca yang tidak menentu	<i>Avoidance</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dilakukan lembur pada saat cuaca dalam keadaan yang baik (<i>risk avoidance</i>) - Menghentikan pekerjaan jika terjadi hujan lebat (<i>risk avoidance</i>)
Kerusakan material	<i>Avoidance</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memeriksa material dan material yang rusak struktural di kembalikan kepada <i>supplier</i> (<i>risk transfer</i>) - Material yang tidak rusak struktural diperbaiki oleh kontraktor (<i>risk retention + risk reduction</i>)
Material yang digunakan tidak sesuai spesifikasi	<i>Transfer</i>	- Barang yang telah dikirim oleh <i>supplier</i> selalu dilakukan pengecekan spesifikasi (<i>risk reduction</i>)
		- Material yang tidak sesuai spesifikasi akan dikembalikan kepada <i>supplier</i> (<i>risk transfer</i>)
Terjadinya longsor pada saat pelaksanaan pekerjaan	<i>Avoidance</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Longsor terjadi disebabkan kondisi tanah berpasir dan sering hujan sehingga dilakukan pemasangan <i>sheet pile</i> (<i>risk avoidance</i>) - Pemasangan geotekstil (<i>risk avoidance</i>)
		- Tidak melakukan <i>dewatering</i> terus-menerus selama proses jacking, dilakukan pekerjaan <i>grouting</i> untuk menutup mata air (<i>risk reduction</i>)

Lanjutan Tabel 2 Respon dan Tindakan Perlakuan Variabel Risiko Proyek Pembangunan Perpipaan Air Limbah

Konsultan Perencana		
Ketidaksesuaian gambar rencana dan kondisi riil di lokasi proyek	<i>Transfer</i>	Dilakukan survei ulang dan gambar di revisi sesuai dengan kondisi riil dilokasi proyek (<i>risk reduction</i>)
Terdapatnya jalur utilitas pada jalur pipa yang akan dibangun	<i>Reduction</i>	- Dilakukan PIT <i>test</i> untuk mengetahui hambatan dibawah tanah (<i>risk avoidance</i>) - Dilakukan penggalian manual pada jalur pipa yang terdapat jalur utilitas (<i>risk reduction</i>)
Dampak lingkungan terhadap masyarakat akibat pelaksanaan jalur pipa	<i>Transfer</i>	- Sosialisasi kepada masyarakat tentang pekerjaan yang akan dilakukan (<i>risk avoidance</i>) - Antisipasi awal dilakukan peletakan plat baja pada jalan keluar-masuk rumah warga (<i>risk reduction</i>)
Konsultan Pengawas		
Ketidaksesuaian antara volume pekerjaan di dalam BOQ dan kondisi di lapangan	<i>Avoidance</i>	Perhitungan ulang dengan mempertimbangkan berbagai asumsi sehingga tidak merugikan proyek (<i>risk reduction</i>)
Rendahnya produktivitas tenaga kerja	<i>Transfer</i>	Tenaga kerja selalu diawasi untuk mempertahankan produktivitas yang diinginkan (<i>risk reduction</i>)
Penggunaan metode pelaksanaan yang kurang tepat	<i>Reduction</i>	- Pelaksanaan pekerjaan dihentikan (<i>risk avoidance</i>)
Variabel Risiko	Respon Risiko	Respon Risiko dan Tindakan Perlakuan Risiko Berdasarkan Hasil Wawancara
		- Melakukan <i>review</i> bersama kontraktor terhadap metode yang digunakan untuk menemukan metode pelaksanaan yang tepat (<i>risk reduction</i>)
Masyarakat		
Timbulnya kemacetan akibat pelaksanaan pekerjaan pada proyek	<i>Avoidance</i>	- Pekerjaan diharapkan untuk segera selesai (<i>risk transfer</i>). Risiko ditransfer kepada kontraktor - Pekerjaan yang banyak menggunakan badan jalan diharapkan untuk dikerjakan diluar jam padat lalu lintas (<i>risk avoidance</i>)
Kurangnya pagar pengaman proyek sebagai tanda area pekerjaan proyek	<i>Transfer</i>	Meminta pihak proyek untuk melengkapi aspek-aspek keselamatan lainnya (<i>risk transfer</i>). Risiko ditransfer kepada kontraktor

Penerapan Manajemen Risiko ISO 31000:2018 pada Proyek Pembangunan Perpipaan Air Limbah

ISO atau *International Organization for Standardization* merupakan organisasi bertaraf internasional yang khusus bergerak di dalam bidang standarisasi. Pada Februari 2018, ISO menerbitkan ISO 31000:2018 *Risk Management – Guidelines* untuk menggantikan ISO 31000:2009. Selain ISO 31000:2018 adapula *Committee of Sponsoring Organization of the Treadway Commission (COSO) Enterprise Risk Management (ERM) – Integrated Framework* yang menjadi rujukan dalam penerapan manajemen risiko. Jika ISO 31000:2018 dan CSO ERM – *Integrated Framework* dibandingkan maka standar ISO 31000:2018 lebih memiliki keunggulan karena memberikan panduan yang lebih mendetail dan komprehensif. ISO 31000:2018 memiliki prinsip, kerangka kerja dan proses manajemen risiko yang dapat digunakan sebagai rancangan dalam membuat manajemen risiko sehingga menjamin pada penerapan manajemen risiko yang efektif.

Berdasarkan ISO 31000:2018 manajemen risiko adalah kegiatan yang terorganisasi dan sistematis untuk mengarahkan dan mengendalikan organisasi terkait dengan risiko. Pada dasarnya proses manajemen

risiko ISO 31000:2018 telah dilakukan pada proyek pembangunan perpipaan air limbah kota Pekanbaru, para *stakeholders* melakukan proses manajemen risiko dengan cara tersendiri sesuai dengan peran, tugas, wewenang dan tanggungjawabnya. Sebagai contoh pada implementasi manajemen risiko pada tahapan *monitoring* dan *review* yaitu kontraktor membuat laporan terhadap berbagai aspek pekerjaan yang dilakukan sedangkan konsultan pengawas melakukan *monitoring* dan *review* dengan pengecekan terhadap hal-hal yang dilakukan oleh kontraktor. *Monitoring* dan *review* dilakukan sebagai kontrol terhadap kinerja yang telah dilakukan. Implementasi *monitoring* dan *review* membuat manajemen risiko tetap efektif dan dapat meminimalkan tingkat risiko yang ada. Pada *recording dan reporting*, *owner* menerima laporan dari pihak kontraktor dan konsultan pengawas mengenai permasalahan di lapangan atau kesesuaian pekerjaan yang telah dilakukan, dan laporan tersebut di lihat oleh *owner* apakah sudah sesuai dengan kontrak atau tidak atau apakah diperlukannya pandangan dari *owner* terhadap suatu masalah. Penerapan manajemen risiko yang dilakukan oleh *stakeholders* proyek pembangunan perpipaan air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Penerapan Manajemen Risiko pada Proyek Pembangunan Perpipaan Air Limbah

No	Proses manajemen risiko sesuai dengan ISO 31000:2018	Penerapan Manajemen Risiko			
		Owner	Kontraktor	Konsultan Perencana	Konsultan Pengawas
1	Identifikasi risiko	√	√	√	√
2	Analisis risiko	-	√	-	-
3	Evaluasi risiko	√	√	√	√
4	Respon Riisko	√	√	√	√
5	<i>Monitoring</i> dan <i>review</i>	√	√	√	√
6	<i>Recording</i> dan <i>reporting</i>	√	√	√	√

Berdasarkan Tabel 4 *Stakeholders* pada proyek pembangunan perpipaan air limbah kota Pekanbaru belum 100% mengimplementasikan proses manajemen risiko berdasarkan ISO 31000:2018. PT Utama Karya - PT Rosa Lisca (KSO) selaku kontraktor mengimplementasikan 100% proses manajemen risiko. *Owner*, konsultan perencana dan konsultan pengawas tidak melakukan salah satu proses dari penilaian risiko yaitu analisis risiko sehingga secara keseluruhan penerapan proses manajemen risiko berdasarkan ISO 31000:2018 hanya 87,5%. Jika melihat latar belakang PT Utama Karya wajar saja jika implementasi manajemen risiko dapat tercapai 100%, namun hal tersebut tidak dapat dijadikan suatu alasan karena semua golongan kontraktor dituntut untuk menyadari dan memperhatikan potensi risiko agar dapat meminimalkan risiko dan membantu tercapainya tujuan proyek. Bukan hanya kontraktor, semua pihak harus bekerjasama untuk mencapai tujuan yaitu kesuksesan proyek. Keterlibatan para *stakeholders* dalam manajemen risiko dapat mempererat komunikasi dan menghasilkan informasi yang benar, relevan dan akurat serta dapat dipahami dengan mudah. Adanya komunikasi antar para *stakeholders* diharapkan dapat membuat kegiatan manajemen risiko menjadi tepat sasaran.

Pada pelaksanaan proyek konstruksi, seluruh *stakeholders* harus menanamkan budaya sadar risiko tujuannya agar setiap masing-masing *stakeholders* sadar akan adanya risiko dan mengambil keputusan dengan mempertimbangkan segala aspek. Budaya sadar risiko juga dimaksudkan untuk mengenali dan memahami pentingnya identifikasi risiko, penilaian risiko dan respon risiko sehingga dapat meminimalkan segala probabilitas risiko dalam pelaksanaan proyek dan ketidakberhasilan dalam pengelolaan risiko yang tidak tepat. Oleh karena itu, para *stakeholders* disarankan melakukan manajemen risiko sesuai dengan standar ISO 31000:2018.

Pada dasarnya manajemen risiko adalah suatu alat dan pengambilan keputusan dilakukan oleh pemangku jabatan. Hasil dari manajemen risiko dipengaruhi oleh kapabilitas dan pengetahuan dari pemangku jabatan sesuai dengan prinsip ISO 31000 yaitu *human and cultural factors*. Oleh karena itu, perlu dilakukannya program pelatihan ISO 31000 atau peningkatan tingkat pengetahuan dalam bidang risiko proyek. Peningkatan tingkat pengetahuan mengenai risiko dimaksudkan agar masing-masing *stakeholders* mengetahui dan memahami bagaimana pengelolaan risiko yang benar agar sesuai dengan standar dan meningkatkan pemahaman individu mengenai pengelolaan suatu risiko dan pentingnya budaya risiko. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Masár (2019) yaitu peningkatan tingkat pengetahuan membuat manager proyek akan dapat menjalankan proyek dengan lebih baik dan mengidentifikasi risiko positif dan negatif yang dikelola dengan lebih baik.

Manajemen risiko bersifat dinamis yang artinya variabel risiko yang telah teridentifikasi dan penanganan risiko yang saat ini telah dirancang bisa saja suatu saat berubah karena sistem manajemen risiko yang telah berjalan dilakukan dengan baik sehingga tidak menimbulkan risiko lagi. Namun sebaliknya, penanganan yang kurang baik akan membuat risiko yang awalnya teridentifikasi kedalam *medium* atau *low risk* berubah menjadi kategori *high risk*, atau bisa saja timbul risiko baru yang semula belum teridentifikasi. Hal inilah yang membuat pentingnya melakukan *monitoring* dan *review* serta *recording dan reporting* selama proses manajemen risiko.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian manajemen risiko pada proyek pembangunan perpipaan air limbah adalah sebagai berikut.

1. Hasil identifikasi risiko terdapat 53 variabel risiko terdiri dari 6 risiko *owner*, 24 risiko kontraktor, 8 risiko konsultan

- perencana, 9 risiko konsultan pengawas dan 6 risiko masyarakat.
2. Pada keseluruhan proses pelaksanaan proyek pembangunan perpipaan air limbah kota Pekanbaru, implementasi proses manajemen risiko ISO 31000:2018 hanya tercapai 87,5%, karena seluruh *stakeholders* belum sepenuhnya mengimplementasikan proses manajemen risiko.

REFERENCES

- ISO 31000. (2018). “Risk Management – Guidelines (ISO 31000:2018)”. BSI Standards Limited 2018. Switzerland.
- Masár, M, Hudáková, Šimák dan Brezina. (2019). “The Current State of Project Risk Management in the Transport Sector”. *Transportation Research Procedia* 40 (1119-1126). University of Zilina. Slovak Republic.
- Putera, I.G.A.A, Harmayani, K.D dan Putra, I.G.I. (2019). “Manajemen Risiko Pelaksanaan Pembangunan Sistem Pengolahan Air Limbah Terpusat Kota Denpasar Tahap II (Jaringan Air Limbah Pedungan)”. *Jurnal Spektran* Vol 7 No 1, Januari 2019, Hal 42-50. Program Studi Magister Teknik Sipil. Universitas Udayana. Denpasar.
- Rodhi, N.N. (2017). “Analisa Risiko Proyek Konstruksi Terhadap Umur Rencana Konstruksi Jalan Raya”. *Jurnal Unigoro*. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Bojonegoro. Bojonegoro.
- Safitri, N dan Widowati, E. (2017). “Penerapan Risk Management Pada Pekerjaan di Ketinggian Berdasar SNI ISO 31000:2011”. *Jurnal Unnes*. Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat. Fakultas Ilmu Keolahragaan. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Santoso, N.B. (2017). “Analisis Manajemen Risiko pada Proyek Pembangunan Jalan Tol (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Ngawi-Kertosono Ruas Ngawi-Kertosono Paket 3)”. Tesis. Magister Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Solo.
- SNI IEC/ISO 31010. (2016). “Manajemen Risiko – Teknik Penilaian Risiko”. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Zhi, H. (1995). “Risk Management for Overseas Construction Projects”. *International Journal of Project Management* Vol 13 No 4. School of Civil and Structural Engineering. Nanyang Technological University. Singapore.