



Analisis Resiko Komisioning dan *Start Up* pada Proyek Pembangkit Listrik, Studi Kasus Proyek *Add On Combine Cycle*

Putu Yuri Aristya Perwana¹, Ervina Ahyudanari²

¹Program Studi Manajemen Industri Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, ITS, yuri.aristyaerwana@gmail.com

²Program Studi Manajemen Industri Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, ITS

Corresponding Author: yuri.aristyaerwana@gmail.com¹

Abstract: *This study aims to identify and analyze risks occurring during the commissioning and startup phase of the add-on combine cycle project using the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method. The analysis identified 38 risk variables, 6 of which are classified as critical. These critical risks have significant impacts, including increased project duration, higher costs, and delays in the Commercial On Date (COD), resulting in a loss of potential electricity production. To mitigate these risks, the study recommends several measures such as procuring primary energy according to the commissioning schedule, supervising construction quality, and ensuring the availability of necessary materials and electricity to support the commissioning process.*

Keywords: *Risk, FMEA, Commissioning, Startup, Combine Cycle, Risk Mitigation, Energy Project.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis risiko yang terjadi pada fase komisioning dan startup proyek *add-on combine cycle* menggunakan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Hasil analisis menunjukkan terdapat 38 variabel risiko, dengan 6 di antaranya tergolong risiko kritis yaitu energi primer untuk komisioning tidak tersedia, pengiriman peralatan yang terlambat, kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik, tidak tersedia material konsumable untuk kegiatan komisioning, terpapar material yang berbahaya, dan sumber listrik tidak tersedia. Risiko kritis tersebut berdampak signifikan terhadap penambahan durasi pekerjaan, peningkatan biaya, dan penundaan waktu *Commercial On Date* (COD), yang mengakibatkan kehilangan potensi produksi listrik. Untuk memitigasi risiko-risiko tersebut, penelitian ini merekomendasikan berbagai tindakan seperti pengadaan energi primer sesuai jadwal, pengawasan kualitas konstruksi, dan penyediaan kebutuhan material serta listrik untuk mendukung proses komisioning.

Kata Kunci: Risiko, FMEA, Komisioning, Startup, *Combine Cycle*, Mitigasi Risiko, Proyek Energi.

PENDAHULUAN

Pemerintah terus membangun pembangkit listrik untuk meningkatkan kapasitas tenaga listrik di Indonesia serta untuk mengimbangi kebutuhan tenaga listrik yang meningkat dari tahun ke tahun. Pembangunan pembangkit listrik di Indonesia dilaksanakan melalui skema penugasan oleh pemerintah kepada BUMN (Badan Usaha Milik Negara), yaitu PT.PLN (Persero) sebagai BUMN yang bergerak di bidang ketenagalistrikan. Selain itu pembangunan pembangkit listrik dapat dilakukan oleh pihak swasta yang disebut dengan *Independent Power Producer* (IPP). Proyek pembangunan pembangkit listrik yang telah selesai dibangun hingga akhir 2022 sebesar 415 unit pembangkit dengan kapasitas 16.596 (MW).

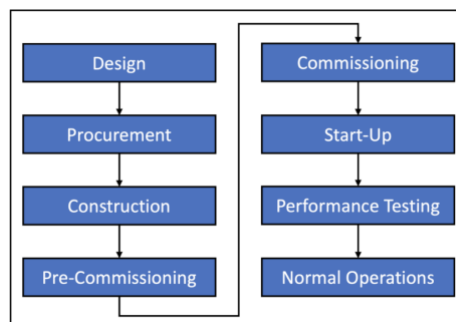
Proyek pembangunan pembangkit listrik termasuk dalam jenis proyek EPC (*Engineering, Procurement, dan Construction*), tahapan proyek EPC yang dimulai dengan fase desain, proses pengadaan barang, proses konstruksi, proses komisioning, proses start up, hingga penerimaan final. Pada proyek EPC, owner selaku pemilik proyek memberikan kontrak pembangunan keseluruhan proyek kepada satu kontraktor utama. Fase komisioning dan startup merupakan fase yang sangat kritis dalam sebuah proyek EPC. Kegiatan komisioning dan start up merupakan kegiatan yang kompleks karena melibatkan banyak organisasi, disiplin ilmu dan proses. Pada fase komisioning dilakukan pengujian pada peralatan yang telah terpasang untuk membuktikan bahwa peralatan mampu beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah dipersyaratkan pada kontrak dan sesuai dengan desain.

Fase komisioning dan startup merupakan fasa terakhir dari proyek EPC. Fasa komisioning dan start up akan dapat berjalan apabila fase konstruksi telah selesai, atau yang dikenal dengan *mechanical completion*. Tim konstruksi dan tim komisioning akan melaksanakan inspeksi dan pengecekan terhadap peralatan yang sudah terpasang. Tim konstruksi akan menyerahkan peralatan yang terpasang kepada tim komisioning untuk dilakukan pengujian komisioning. Komisioning dan startup merupakan suatu rangkaian kegiatan kritis yang harus dapat dilaksanakan dengan baik agar tujuan proyek dapat dicapai (Winkler, 2015). Akan tetapi pelaksanaan kegiatan komisioning dan startup masih sering terjadi kegagalan sehingga dapat menyebabkan pengujian ulang terhadap peralatan, atau sistem yang dilakukan komisioning. Selain itu dapat menyebabkan terlambatnya waktu untuk kegiatan startup unit, atau dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.

Berikut adalah beberapa kasus kegagalan yang terjadi pada tahapan komisioning di proyek pembangkit. Pada proyek PLTU di wilayah Kalimantan terjadi kerusakan pada peralatan panel distribusi tegangan menengah. Kerusakan terjadi akibat terjadi hubungan pendek pada saat melakukan *power receiving* dari jaringan transmisi 150 kV. *Power receiving* adalah salah satu *milestone* dari kegiatan komisioning proyek pembangkit. Dampak yang ditimbulkan akibat kejadian tersebut adalah waktu penyelesaian proyek menjadi terlambat, dan muncul nya biaya yang tidak terduga untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi. Contoh kasus lain adalah hasil pengujian individu untuk peralatan pompa masih tidak sesuai dengan kriteria dan desain. Dikarenakan nilai vibrasi pada pompa melebihi dari batas penerimaan yang disyaratkan. Sehingga diperlukan tambahan waktu untuk menyelesaikan perbaikan pada peralatan pompa tersebut. Dari kegagalan yang terjadi pada kegiatan komisioning dan startup dapat memberikan dampak yang sangat serius terhadap proyek secara keseluruhan yaitu dapat menyebabkan keterlambatan waktu penyelesaian proyek serta dapat menyebabkan bertambahnya biaya proyek. Pada proyek pembangkit Combine Cycle Add On dampak yang ditimbulkan dari kegagalan pada proyek komisioning, yaitu tertundanya waktu Commercial Operations Date (COD) pembangkit. COD adalah suatu kondisi dimana aktifitas pengujian komisioning pada pembangkit telah selesai dilaksanakan dan pembangkit telah dinyatakan sudah siap untuk beroperasi menghasilkan energi listrik. Akibat tertundanya waktu COD maka menimbulkan kerugian yaitu hilangnya kesempatan untuk memproduksi listrik. Waktu COD untuk pembangkit dijadwalkan pada tahun 2023

akan tetapi realisasi waktu COD pada tahun 2024, sehingga nilai kerugian yang ditimbulkan sebesar 5,324 miliar rupiah pada periode 2023.

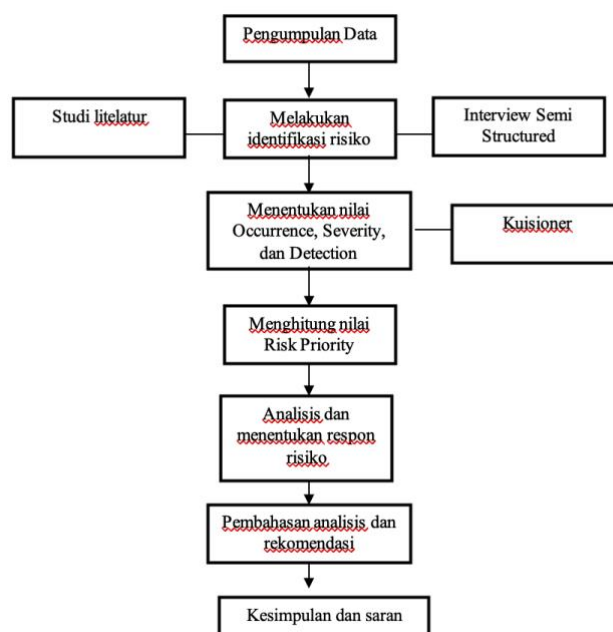
Untuk mengurangi peluang kegagalan yang terjadi pada kegiatan komisioning dan startup pada proyek pembangkit, maka perlu dilakukan analisis risiko. Proses analisis risiko dimulai dengan identifikasi risiko, dilanjutkan dengan penilaian risiko, kemudian dilakukan pemilihan respon risiko yang tepat, dan dilakukan pengendalian terhadap respon risiko yang telah dipilih. Dengan melakukan analisis risiko maka dapat mengurangi peluang terjadinya pengujian ulang pada pelaksanaan komisioning dan startup sehingga proyek dapat selesai dengan tepat kualitas dan tepat waktu. Metode analisis risiko yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA). Metode FMEA adalah salah satu metode yang efektif digunakan untuk melakukan analisis risiko karena sifatnya yang proaktif. Dengan metode ini, dapat mengidentifikasi potensi risiko pada kegiatan komisioning dan startup sebelum risiko terjadi. Hal ini memungkinkan untuk menentukan respon risiko yang tepat sehingga dapat mengurangi dampak dari risiko tersebut (Lo et al 2021).



Gambar 1. Fase Dalam Proyek EPCC

METODE

Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek add on combine cycle di Bekasi dengan menggunakan metode semi kuantitatif sebagai metode untuk melakukan analisis risiko. Secara garis besar tahapan penelitian dibagi menjadi identifikasi risiko, melakukan asesmen risiko dengan menggunakan FMEA, menentukan respon risiko dan melakukan analisis, pembahasan hasil analisis dan terakhir adalah kesimpulan dan saran. Tahapan dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Populasi dari penelitian ini adalah terdiri dari pihak owner, kontraktor dan konsultan yang terlibat di dalam proyek add on combine cycle di Bekasi. Penelitian ini fokus pada kegiatan komisioning dan start up, sehingga sampel yang diambil adalah pihak-pihak yang terlibat di dalam kegiatan komisioning dan start up pada proyek.

Tabel 1. Populasi Penelitian

Pihak	Fungsi	Responden
Owner	Manajer Proyek	1
	Asisten Manajer	1
	Supervisor QC	1
Konsultan	Manajer Proyek	1
	Lead Commissioning Engineer	1
	Commissioning Engineer	1
Kontraktor	Commissioning Manager	1
	Deputy Project Manager	1
	Commissioning Engineer	1
	Subject Expert Matter (SME)	1

Pemilihan jumlah responden ini didasarkan pada pendekatan expert judgement untuk digunakan dalam metode FMEA. Dengan latar belakang dan pengalaman teknis yang relevan dari para responden, jumlah ini sudah memadai untuk menghasilkan analisis risiko yang dapat diandalkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunan pembangkit add on combine cycle. Proyek Add on Combine Cycle merupakan proyek penambahan kapasitas dari unit pembangkit yang sudah ada dengan memanfaatkan panas dari gas buang yang merupakan produk dari pembakaran gas turbin. Lokasi proyek pembangkit Add On berada di wilayah Bekasi Utara, Jawa Barat. Proyek ini memiliki peran strategis dalam menyokong kebutuhan listrik di Pulau Jawa saat beban puncak. Kapasitas yang mampu dihasilkan dengan memanfaatkan panas dari gas buang adalah sebesar 650 MW. Peralatan utama dalam proyek add on combine cycle meliputi *Heat Recovery Steam Generation (HRSG)*, *Steam Turbine* dan peralatan *Balance of Plant (BOP)*.

Pengumpulan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan. Pengumpulan data tahap pertama adalah dengan melakukan wawancara dengan narasumber yang merupakan para pihak yang terlibat pada proyek add on combine cycle. Tujuan wawancara adalah untuk melakukan validasi dan menambahkan/menghilangkan variabel risiko yang didapatkan dari hasil studi literatur, pengumpulan data di lapangan dan diskusi dengan para pihak yang terlibat dalam kegiatan komisioning, serta dari pengalaman selama pelaksanaan komisioning di proyek pembangkit. Pengumpulan data tahap kedua adalah dengan melakukan survey online kepada narasumber. Pada tahapan ini narasumber diminta untuk melakukan penilaian rating probabilitas terjadinya risiko (Occurance), dampak akibat resiko (Severity) dan deteksi terhadap risiko (Detection), untuk setiap variabel risiko pada tahapan komisioning dan start up proyek pembangkit add on.

Identifikasi Risiko

Variabel risiko kegiatan komisioning yang sudah diidentifikasi dan disusun berdasarkan dari hasil referensi studi literatur dan pengalaman selama pelaksanaan komisioning digunakan sebagai bahan referensi awal untuk proses wawancara dengan para pihak yang terlibat dalam proyek pembangunan pembangkit. Pada proses wawancara responden diminta memberikan penilaian apakah variabel risiko yang sudah diidentifikasi mempunyai relevansi dengan kegiatan komisioning pada proyek pembangunan pembangkit. Responden diberikan form kuisisioner untuk memberikan penilaian terhadap setiap variabel

risiko kegiatan komisioning. Jika variabel risiko relevan maka responden akan menjawab setuju/ya, dan apabila tidak relevan maka akan menjawab tidak. Dan responden juga diminta untuk memberikan masukan variabel risiko lain yang mungkin dapat terjadi pada proyek add on yang belum tercantum dalam daftar kuisioner variabel risiko tersebut.

Responden dalam penelitian ini merupakan para pihak yang terlibat dalam proyek pembangunan pembangkit add on combine cycle yang terdiri dari :

- a. Pemilik proyek:
 - Manajaer Proyek
 - Assistant Manager
 - Supervisor
- b. Konsultan proyek:
 - Senior Commissioning Engineer
 - Commissioning Engineer
- c. Kontraktor proyek:
 - Deputy Project Manager
 - Commissioning Manager
- d. Subject Matter Expert

Berdasarkan hasil wawancara dengan responden, didapatkan hasil bahwa responden seluruhnya setuju dengan 34 variabel risiko memiliki relevansi dengan kegiatan komisioning pada proyek pembangunan pembangkit add on combine cycle. Beberapa responden juga memberikan tambahan variabel risiko sebagai berikut :

1. Tidak mendapatkan izin pengujian dari pengatur beban
2. Sistem eksisting dan sistem yang baru tidak terhubung
3. Sistem komunikasi antara bidang konstruksi dan komisioning kurang baik
4. Operator peralatan tidak tersedia selama proses komisioning

Sehingga jumlah keseluruhan variabel risiko yang dapat menyebabkan kegagalan dalam kegiatan komisioning menjadi 38. Daftar variabel risiko dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Wawancara

Risk Source	Risk Event	Kode	Ya	Tidak
Risiko Teknis	Tidak tersedia prosedur pengujian	RT-1	10	0
	Tidak tersedia Standar Operation Procedur peralatan	RT-2	10	0
	Prosedur pengujian yang tidak lengkap	RT-3	10	0
	Inspeksi joint walkdown tidak dilakukan setelah konstruksi peralatan selesai	RT-4	10	0
	Peralatan untuk pengujian tidak terkalibrasi	RT-5	10	0
	Pengujian Factory Acceptance Test (FAT) tidak dilakukan	RT-6	10	0
	Tenaga ahli/SME tidak tersedia	RT-7	10	0
	Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	RT-8	10	0
	Kriteria penerimaan pengujian tidak terdefiniskan dengan jelas	RT-9	10	0
	Pembersihan dan flushing sistem pemipaan tidak dilakukan	RT-10	10	0
	Kegiatan pemeliharaan preventif tidak dilakukan	RT-11	10	0
	Pemasangan peralatan yang tidak baik	RT-12	10	0
	Preservasi peralatan/sistem tidak dilakukan dengan baik	RT-13	10	0
	Sistem eksisting dan sistem yang baru tidak saling terhubung	RT-14	10	0
Risiko Manajemen	Jadwal pelaksanaan komisioning tidak disusun dengan baik	RM-1	10	0
	Skope komisioning tidak terdefinisi dengan jelas pada kontrak	RM-2	10	0
	Tidak tersedia sumber daya yang cukup untuk menyelesaikan punch list	RM-3	10	0
	Tidak tersedia sistem turn over	RM-4	10	0
	Skill personil komisioning yang kurang kompeten	RM-5	10	0
	Personil komisioning tidak mendapatkan pelatihan yang memadai	RM-6	10	0
	Anggaran untuk komisioning tidak tersedia	RM-7	10	0
	Material konsumable tidak tersedia	RM-8	10	0
	Jumlah personil komisioning kurang	RM-9	10	0

Risk Source	Risk Event	Kode	Ya	Tidak
	Tugas dan tanggung jawab dari personil tim komisioning tidak terdefinisi dengan jelas	RM-10	10	0
	As build drawing tidak akurat	RM-11	10	0
	Struktur organisasi komisioning tidak ada	RM-12	10	0
	Operator peralatan tidak tersedia selama proses komisioning	RM-13	10	0
	Sistem komunikasi antara bidang konstruksi dan komisioning kurang baik	RM-14	10	0
Risiko Lingkungan dan Keselamatan Kerja	Prosedur keselamatan tidak tersedia	RL-1	10	0
	Terpapar material yang berbahaya	RL-2	10	0
	Ketidakpatuhan pada izin lingkungan	RL-3	10	0
	Peralatan pengelolaan air limbah belum tersedia	RL-4	10	0
Risiko Eksternal	Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	RE-1	10	0
	Pengiriman peralatan yang terlambat	RE-2	10	0
	Sistem komunikasi dengan supplier tidak baik	RE-3	10	0
	Terjadi perubahan regulasi dan undang-undang	RE-4	10	0
	Terjadi cuaca yang sangat extrem	RE-5	10	0
	Tidak mendapat izin pengujian dari pengatur beban	RE-6	10	0

Penentuan Nilai Risiko

Variabel risiko yang telah divalidasi selanjutnya dilakukan penentuan nilai occurrence, severity dan detection. Setiap narasumber diminta untuk memilih nilai occurrence, severity dan detection untuk masing-masing variabel risiko sesuai dengan ketentuan dan batasan yang telah ditetapkan sebelumnya. Penilaian yang dilakukan oleh narasumber berdasarkan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki, sehingga terdapat perbedaan nilai pada masing-masing kriteria.

Uji Validitas dan Reliabilitas

Uji validitas digunakan untuk mengukur ketepatan suatu item dalam kuisioner. Validitas item ditunjukkan dengan adanya korelasi terhadap item total, dimana perhitungan dilakukan dengan cara mengkorelasikan antara skor item dengan skor total item. Dari hasil perhitungan korelasi akan didapatkan nilai koefisien korelasi yang digunakan untuk mengukur validitas suatu item.

Valid atau tidaknya data dapat dilihat dengan cara membandingkan nilai corrected item total correlation dari data dengan tabel sebagai berikut :

1. Jika r hitung positif atau r hitung $>$ r tabel, maka variabel dinyatakan valid
2. Jika r hitung negatif atau r hitung $<$ r tabel, maka variabel dinyatakan tidak valid

Apabila data tidak valid maka tidak akan digunakan dalam analisis selanjutnya. Perhitungan nilai r dilakukan dengan menggunakan program SPSS 25.

Tabel 3. Hasil Uji Validitas Rating Severity

No.	Kode	Risiko	r Tabel	r Hitung	Keterangan
1	R1	Skope pekerjaan komisioning tidak terdefinisi dengan jelas pada kontrak	0,6319	0,921	Valid
2	R2	Struktur organisasi komisioning tidak ada	0,6319	0,902	Valid
3	R3	Jumlah personil komisioning kurang	0,6319	0,795	Valid
4	R4	Tugas dan tanggung jawab dari personil tim komisioning tidak terdefinisi dengan jelas	0,6319	0,917	Valid
5	R5	Anggaran untuk komisioning tidak tersedia	0,6319	0,853	Valid
6	R6	Perencanaan dan jadwal pelaksanaan komisioning tidak disusun dengan baik	0,6319	0,838	Valid
7	R7	Tidak tersedia material kosumable untuk kegiatan komisioning	0,6319	0,857	Valid
8	R8	Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik	0,6319	0,85	Valid
9	R9	Tidak tersedia prosedur pengujian peralatan	0,6319	0,861	Valid

No.	Kode	Risiko	r Tabel	r Hitung	Keterangan
10	R10	Prosedur pengujian tidak menjelaskan secara detail ruang lingkup dan langkah pengujian	0,6319	0,914	Valid
11	R11	Kriteria penerimaan untuk pengujian belum jelas	0,6319	0,872	Valid
12	R12	Tidak ada pelatihan untuk personil operasi dan pemeliharaan	0,6319	0,88	Valid
13	R13	Kegiatan pemeliharaan preventif pada fase komisioning tidak dilakukan	0,6319	0,938	Valid
14	R14	Tidak tersedia Standard Operation Procedur peralatan	0,6319	0,739	Valid
15	R15	Inspeksi joint walkdown tidak dilakukan setelah konstruksi peralatan selesai	0,6319	0,987	Valid
16	R16	Turn Over Package tidak tersedia	0,6319	0,959	Valid
17	R17	Punch list konstruksi tidak diselesaikan	0,6319	0,916	Valid
18	R18	Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	0,6319	0,77	Valid
19	R19	Perubahan P&ID, As Built Drawing tidak terdokumentasikan	0,6319	0,831	Valid
20	R20	Pembersihan dan flushing sistem pemipaan tidak dilakukan	0,6319	0,858	Valid
21	R21	Tenaga ahli dari pabrikan peralatan tidak tersedia	0,6319	0,904	Valid
22	R22	Pengujian Factory Acceptance Test (FAT) tidak dilakukan	0,6319	0,744	Valid
23	R23	Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	0,6319	0,916	Valid
24	R24	Kompetensi personil komisioning tidak kompeten	0,6319	0,85	Valid
25	R25	Preservasi peralatan/sistem tidak dilakukan dengan baik	0,6319	0,83	Valid
26	R26	Prosedur keselamatan tidak tersedia	0,6319	0,937	Valid
27	R27	Terpapar material yang berbahaya	0,6319	0,958	Valid
28	R28	Ketidakpatuhan pada izin lingkungan	0,6319	0,739	Valid
29	R29	Peralatan pengelolaan air limbah belum tersedia	0,6319	0,893	Valid
30	R30	Pengiriman peralatan yang terlambat	0,6319	0,865	Valid
31	R31	Sistem komunikasi dengan supplier tidak baik	0,6319	0,869	Valid
32	R32	Terjadi perubahan regulasi dan undang-undang	0,6319	0,788	Valid
33	R33	Terjadi cuaca yang sangat extrem	0,6319	0,832	Valid
34	R34	Tidak mendapatkan izin pengujian dari pengatur beban	0,6319	0,797	Valid
35	R35	Sistem eksisting dan sistem yang baru tidak saling terhubung	0,6319	0,946	Valid
36	R36	Sistem komunikasi antara bidang konstruksi dan komisioning kurang baik	0,6319	0,977	Valid
37	R37	Operator peralatan tidak tersedia selama proses komisioning	0,6319	0,826	Valid
38	R38	Peralatan untuk pengujian tidak terkalibrasi	0,6319	0,928	Valid

Hasil uji validitas rating *severity* pada tabel 3, menunjukkan bahwa 38 variabel risiko yang diuji adalah valid dan tidak terdapat variabel risiko yang tidak valid. Variabel risiko yang valid akan digunakan untuk perhitungan nilai RPN.

Tabel 4. Hasil Uji Validitas Rating Occurance

No.	Kode	Risiko	r Tabel	r Hitung	Keterangan
1	R1	Skope pekerjaan komisioning tidak terdefinisi dengan jelas pada kontrak	0,6319	0,904	Valid
2	R2	Struktur organisasi komisioning tidak ada	0,6319	0,724	Valid
3	R3	Jumlah personil komisioning kurang	0,6319	0,835	Valid
4	R4	Tugas dan tanggung jawab dari personil tim komisioning tidak terdefinisi dengan jelas	0,6319	0,775	Valid
5	R5	Anggaran untuk komisioning tidak tersedia	0,6319	0,801	Valid
6	R6	Perencanaan dan jadwal pelaksanaan komisioning tidak disusun dengan baik	0,6319	0,942	Valid
7	R7	Tidak tersedia material kosumable untuk kegiatan	0,6319	0,896	Valid

No.	Kode	Risiko	r Tabel	r Hitung	Keterangan
		komisioning			
8	R8	Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik	0,6319	0,756	Valid
9	R9	Tidak tersedia prosedur pengujian peralatan	0,6319	0,903	Valid
10	R10	Prosedur pengujian tidak menjelaskan secara detail ruang lingkup dan langkah pengujian	0,6319	0,886	Valid
11	R11	Kriteria penerimaan untuk pengujian belum jelas	0,6319	0,948	Valid
12	R12	Tidak ada pelatihan untuk personil operasi dan pemeliharaan	0,6319	0,946	Valid
13	R13	Kegiatan pemeliharaan preventif pada fase komisioning tidak dilakukan	0,6319	0,838	Valid
14	R14	Tidak tersedia Standard Operation Procedur peralatan	0,6319	0,949	Valid
15	R15	Inspeksi joint walkdown tidak dilakukan setelah konstruksi peralatan selesai	0,6319	0,907	Valid
16	R16	Turn Over Package tidak tersedia	0,6319	0,931	Valid
17	R17	Punch list konstruksi tidak diselesaikan	0,6319	0,888	Valid
18	R18	Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	0,6319	0,79	Valid
19	R19	Perubahan P&ID, As Built Drawing tidak terdokumentasikan	0,6319	0,875	Valid
20	R20	Pembersihan dan flushing sistem pemipaan tidak dilakukan	0,6319	0,935	Valid
21	R21	Tenaga ahli dari pabrikan peralatan tidak tersedia	0,6319	0,936	Valid
22	R22	Pengujian Factory Acceptance Test (FAT) tidak dilakukan	0,6319	0,777	Valid
23	R23	Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	0,6319	0,924	Valid
24	R24	Kompetensi personil komisioning tidak kompeten	0,6319	0,801	Valid
25	R25	Preservasi peralatan/sistem tidak dilakukan dengan baik	0,6319	0,887	Valid
26	R26	Prosedur keselamatan tidak tersedia	0,6319	0,912	Valid
27	R27	Terpapar material yang berbahaya	0,6319	0,894	Valid
28	R28	Ketidakpatuhan pada izin lingkungan	0,6319	0,974	Valid
29	R29	Peralatan pengelolaan air limbah belum tersedia	0,6319	0,95	Valid
30	R30	Pengiriman peralatan yang terlambat	0,6319	0,947	Valid
31	R31	Sistem komunikasi dengan supplier tidak baik	0,6319	0,892	Valid
32	R32	Terjadi perubahan regulasi dan undang-undang	0,6319	0,898	Valid
33	R33	Terjadi cuaca yang sangat extrem	0,6319	0,864	Valid
34	R34	Tidak mendapatkan izin pengujian dari pengatur beban	0,6319	0,905	Valid
35	R35	Sistem eksisting dan sistem yang baru tidak saling terhubung	0,6319	0,865	Valid
36	R36	Sistem komunikasi antara bidang konstruksi dan komisioning kurang baik	0,6319	0,921	Valid
37	R37	Operator peralatan tidak tersedia selama proses komisioning	0,6319	0,928	Valid
38	R38	Peralatan untuk pengujian tidak terkalibrasi	0,6319	0,84	Valid

Hasil uji validitas rating *occurance* pada tabel 4, menunjukkan bahwa 38 variabel risiko yang diuji adalah valid dan tidak terdapat variabel risiko yang tidak valid. Variabel risiko yang valid akan digunakan untuk perhitungan nilai RPN.

Tabel 5. Hasil Uji Validitas Rating Detection

No.	Kode	Risiko	r Tabel	r Hitung	Keterangan
1	R1	Skope pekerjaan komisioning tidak terdefinisi dengan jelas pada kontrak	0,6319	0,925	Valid
2	R2	Struktur organisasi komisioning tidak ada	0,6319	0,808	Valid
3	R3	Jumlah personil komisioning kurang	0,6319	0,766	Valid
4	R4	Tugas dan tanggung jawab dari personil tim komisioning tidak terdefinisi dengan jelas	0,6319	0,814	Valid
5	R5	Anggaran untuk komisioning tidak tersedia	0,6319	0,722	Valid

No.	Kode	Risiko	r Tabel	r Hitung	Keterangan
6	R6	Perencanaan dan jadwal pelaksanaan komisioning tidak disusun dengan baik	0,6319	0,846	Valid
7	R7	Tidak tersedia material kosumable untuk kegiatan komisioning	0,6319	0,791	Valid
8	R8	Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik	0,6319	0,808	Valid
9	R9	Tidak tersedia prosedur pengujian peralatan	0,6319	0,871	Valid
10	R10	Prosedur pengujian tidak menjelaskan secara detail ruang lingkup dan langkah pengujian	0,6319	0,854	Valid
11	R11	Kriteria penerimaan untuk pengujian belum jelas	0,6319	0,871	Valid
12	R12	Tidak ada pelatihan untuk personil operasi dan pemeliharaan	0,6319	0,799	Valid
13	R13	Kegiatan pemeliharaan preventif pada fase komisioning tidak dilakukan	0,6319	0,814	Valid
14	R14	Tidak tersedia Standard Operation Procedur peralatan	0,6319	0,792	Valid
15	R15	Inspeksi joint walkdown tidak dilakukan setelah konstruksi peralatan selesai	0,6319	0,768	Valid
16	R16	Turn Over Package tidak tersedia	0,6319	0,879	Valid
17	R17	Punch list konstruksi tidak diselesaikan	0,6319	0,734	Valid
18	R18	Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	0,6319	0,733	Valid
19	R19	Perubahan P&ID,As Built Drawing tidak terdokumentasikan	0,6319	0,676	Valid
20	R20	Pembersihan dan flushing sistem pemipaan tidak dilakukan	0,6319	0,858	Valid
21	R21	Tenaga ahli dari pabrikan peralatan tidak tersedia	0,6319	0,828	Valid
22	R22	Pengujian Factory Acceptance Test (FAT) tidak dilakukan	0,6319	0,798	Valid
23	R23	Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	0,6319	0,826	Valid
24	R24	Kompetensi personil komisioning tidak kompeten	0,6319	0,774	Valid
25	R25	Preservasi peralatan/sistem tidak dilakukan dengan baik	0,6319	0,866	Valid
26	R26	Prosedur keselamatan tidak tersedia	0,6319	0,888	Valid
27	R27	Terpapar material yang berbahaya	0,6319	0,71	Valid
28	R28	Ketidakpatuhan pada izin lingkungan	0,6319	0,739	Valid
29	R29	Peralatan pengelolaan air limbah belum tersedia	0,6319	0,623	Tidak Valid
30	R30	Pengiriman peralatan yang terlambat	0,6319	0,684	Valid
31	R31	Sistem komunikasi dengan supplier tidak baik	0,6319	0,568	Tidak Valid
32	R32	Terjadi perubahan regulasi dan undang-undang	0,6319	0,515	Tidak Valid
33	R33	Terjadi cuaca yang sangat extrem	0,6319	0,487	Tidak Valid
34	R34	Tidak mendapatkan izin pengujian dari pengatur beban	0,6319	0,556	Tidak Valid
35	R35	Sistem eksisting dan sistem yang baru tidak saling terhubung	0,6319	0,727	Valid
36	R36	Sistem komunikasi antara bidang konstruksi dan komisioning kurang baik	0,6319	0,757	Valid
37	R37	Operator peralatan tidak tersedia selama proses komisioning	0,6319	0,728	Valid
38	R38	Peralatan untuk pengujian tidak terkalibrasi	0,6319	0,782	Valid

Hasil uji validitas rating *detection* pada tabel 5 menunjukkan bahwa 33 variabel risiko yang valid dan 5 variabel risiko yang tidak valid. Variabel risiko yang valid akan digunakan untuk perhitungan nilai RPN.

Uji reliabilitas bertujuan untuk mengetahui apakah alat ukur yang digunakan dapat diandalkan dan konsisten jika pengukuran diulang. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Cronbach's Alpha. Sebuah instrumen dapat dikatakan reliabil apabila nilai koefisien alfa cronbach lebih besar dari 0,7. Nilai alfa cronbach dihitung dengan menggunakan program SPSS 25.

Tabel 6. Hasil Uji Reliabilitas Occurance

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0,991	38

Tabel 7. Hasil Uji Reliabilitas Severity

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0,992	38

Tabel 8. Hasil Uji Reliabilitas Detection

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0,979	38

Hasil uji reliabilitas untuk rating occurrence, severity dan detection dapat dilihat pada tabel 6, 7, dan 8 Nilai masing masing alfa cronbach untuk setiap rating adalah 0,991, 0,992 dan 0,979, sehingga dapat dikatakan reliabel.

Perhitungan Nilai RPN

Perhitungan nilai RPN untuk setiap variabel risiko didapatkan dengan melakukan perkalian nilai rata-rata occurrence, severity dan detection. Dari nilai RPN ini akan bisa diketahui variabel risiko apa saja yang menjadi variabel risiko kritis. Nilai RPN dari masing-masing variabel risiko dapat dilihat pada tabel 9. Pada tabel nilai RPN sudah diurutkan dari nilai RPN yang tertinggi sampai dengan nilai RPN yang terendah.

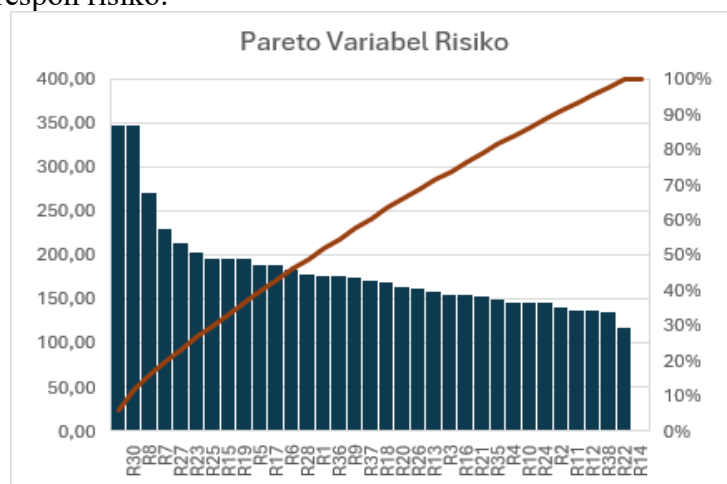
Tabel 9. Nilai RPN Setiap Variabel Risiko

Risiko	Severity	Occurance	Detection	RPN
Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	8,40	6,60	6,30	349,27
Pengiriman peralatan yang terlambat	8,00	6,70	6,50	348,40
Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik	8,70	6,80	4,60	272,14
Tidak tersedia material kosumable untuk kegiatan komisioning	7,90	6,20	4,70	230,21
Terpapar material yang berbahaya	7,80	5,30	5,20	214,97
Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	8,70	5,00	4,70	204,45
Preservasi peralatan/sistem tidak dilakukan dengan baik	8,20	6,50	3,70	197,21
Inspeksi joint walkdown tidak dilakukan setelah konstruksi peralatan selesai	6,80	5,90	4,90	196,59
Perubahan P&ID, As Built Drawing tidak terdokumentasikan	5,90	6,40	5,20	196,35
Anggaran untuk komsioning tidak tersedia	8,20	5,80	4,00	190,24
Punch list konstruksi tidak diselesaikan	7,10	6,50	4,10	189,22
Perencanaan dan jadwal pelaksanaan komisioning tidak disusun dengan baik	8,30	6,20	3,60	185,26
Ketidakpatuhan pada izin lingkungan	7,70	4,40	5,30	179,56
Skope pekerjaan komisioning tidak terdefinisi dengan jelas pada kontrak	8,5	5,5	3,80	177,65
Sistem komunikasi antara bidang konstruksi dan komisioning kurang baik	6,80	5,80	4,50	177,48
Tidak tersedia prosedur pengujian peralatan	8,00	5,00	4,40	176,00
Operator peralatan tidak tersedia selama proses komisioning	6,90	5,40	4,60	171,40
Tidak tersedia Standard Operation Procedur peralatan	7,40	4,70	4,90	170,42
Pembersihan dan flushing sistem pemipaan tidak dilakukan	7,20	5,60	4,10	165,31

Risiko	Severity	Occurance	Detection	RPN
Prosedur keselamatan tidak tersedia	7,80	5,00	4,20	163,80
Kegiatan pemeliharaan preventif pada fase komisioning tidak dilakukan	7,80	6,20	3,30	159,59
Jumlah personil komisioning kurang	6,70	6,30	3,70	156,18
Turn Over Package tidak tersedia	6,50	5,70	4,20	155,61
Tenaga ahli dari pabrikan peralatan tidak tersedia	6,70	5,90	3,90	154,17
Sistem eksisting dan sistem yang baru tidak saling terhubung	6,60	5,20	4,40	151,01
Tugas dan tanggung jawab dari personil tim komisioning tidak terdefinisi dengan jelas	6,10	5,90	4,10	147,56
Prosedur pengujian tidak menjelaskan secara detail ruang lingkup dan langkah pengujian	6,90	6,10	3,50	147,32
Kompetensi personil komisioning tidak kompeten	7,10	4,70	4,40	146,83
Struktur organisasi komisioning tidak ada	6,90	5,40	3,80	141,59
Kriteria penerimaan untuk pengujian belum jelas	7,30	5,10	3,70	137,75
Tidak ada pelatihan untuk personil operasi dan pemeliharaan	6,40	5,00	4,30	137,60
Peralatan untuk pengujian tidak terkalibrasi	6,60	5,90	3,50	136,29
Pengujian Factory Acceptance Test (FAT) tidak dilakukan	7,10	4,20	4,00	119,28

Analisa Risiko

Untuk menentukan variabel risiko sebagai variabel risiko kritis yang harus mendapatkan respon risiko digunakan metode pareto analisis. Dengan metode pareto analisis didapatkan variabel risiko yang memberikan dampak paling besar pada pelaksanaan komisioning dan startup pada proyek add on combine cycle. Prinsip dari pareto adalah 20 % variabel risiko teratas memberikan dampak sebesar 80 %. Hasil perhitungan nilai RPN setiap variabel risiko pada penelitian ini menghasilkan nilai RPN yang hampir seragam untuk nilai RPN nya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 1. Jika mengikuti prinsip pareto maka variabel risiko yang masuk kategori 20 % jumlahnya akan banyak. Sehingga diputuskan variabel risiko yang masuk dalam kategori kritikal adalah variabel yang memiliki nilai RPN lebih besar dan sama dengan 200. Variabel risiko yang memberikan dampak paling besar dan yang harus ditentukan respon risiko.



Gambar 3. Diagram Pareto Variabel Risiko

Berikut ini adalah variabel risiko yang memberikan dampak paling besar dan harus ditentukan respon risiko:

1. Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia
2. Pengiriman peralatan yang terlambat
3. Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik

4. Tidak tersedia material kosumable untuk kegiatan komisioning
5. Terpapar material yang berbahaya
6. Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia

Respon risiko yang dipilih untuk variabel risiko kritis tersebut adalah dengan melakukan mitigasi risiko. Mitigasi risiko bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau meminimalkan dampaknya jika risiko tersebut terjadi.

Pembahasan

Tabel 10. Pembahasan

Variabel Risiko	Dampak	Penyebab	Respon Risiko	Jenis Respon Risiko
Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	Dampak yang dapat ditimbulkan apabila tidak tersedia energi primer untuk kegiatan komisioning adalah aktivitas kegiatan komisioning menjadi terhenti. Terhentinya kegiatan komisioning akan memberikan dampak kerugian berupa terlambatnya penyelesaian proyek. Dampak lain yang ditimbulkan akibat tidak tersedia energi primer adalah terjadi kerugian finansial berupa bertambahnya biaya yang harus dikeluarkan untuk pelaksanaan komisioning akibat terlambatnya waktu penyelesaian.	Penyebab energi primer tidak tersedia karena proses pengadaan energi primer yang terlambat dan tidak memperhatikan jadwal kegiatan komisioning. Sehingga kedatangan energi primer terlambat. Penyebab lainnya adalah penyedia/vendor energi primer tidak mampu memasok kebutuhan energi primer yang dibutuhkan.	<ul style="list-style-type: none"> • Melaksanakan pengadaan energi primer dengan memperhatikan jadwal kegiatan komisioning. • Memilih penyedia/vendor energi primer lebih dari satu agar ketersediaan energi primer selalu terjaga. 	Mitigasi risiko
Pengiriman peralatan yang terlambat	Peralatan yang terlambat tiba di proyek dapat menyebabkan pekerjaan konstruksi menjadi terlambat. Pekerjaan konstruksi yang terlambat memberikan efek domino ke tahapan kegiatan berikutnya yaitu komisioning. Kegiatan komisioning tidak akan dapat dilakukan jika	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi keterlambatan manufaktur peralatan oleh penyedia barang • Dokumen yang dibutuhkan untuk pengiriman peralatan tidak lengkap. Dokumen yang dibutuhkan untuk pengiriman barang adalah berupa invoice, packing list, sertifikat dari pabrikan, surat keterangan asal. • Pemilihan perusahaan logistik dan transportasi yang 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan monitoring dan koordinasi secara periodik dengan penyedia barang untuk mendapatkan update secara reguler progres manufaktur peralatan • Mempersiapkan dokumen yang dibutuhkan untuk pengiriman peralatan, • Memilih perusahaan logistik dan transportasi yang kredibel dan terpercaya. 	Transfer Risiko

Variabel Risiko	Dampak	Penyebab	Respon Risiko	Jenis Respon Risiko
	peralatan tidak selesai terpasang. Sehingga waktu pelaksanaan komisioning akan terlambat dan biaya yang dikeluarkan untuk komisioning akan semakin bertambah.	tidak tepat.		
Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik	Kualitas dari pekerjaan konstruksi yang tidak baik dapat menyebabkan keandalan peralatan menjadi tidak baik, frekuensi kerusakan dan gangguan pada peralatan akan lebih sering terjadi pada saat pelaksanaan komisioning. Gangguan dan kerusakan yang terjadi pada peralatan dapat menyebabkan pekerjaan komisioning terlambat, karena menunggu untuk peralatan selesai dilakukan perbaikan. Dampak yang lain adalah terjadi penambahan biaya untuk perbaikan peralatan yang rusak.	<ul style="list-style-type: none"> • Pengendalian kualitas terhadap pekerjaan konstruksi tidak dilaksanakan dengan baik. • Material yang digunakan tidak sesuai dengan spesifikasi desain. • Tidak dilakukan inspeksi akhir setelah pekerjaan konstruksi selesai. 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan pengawasan pekerjaan konstruksi setiap hari untuk memastikan kualitas pekerjaan sesuai dengan standar mutu yang telah ditentukan • Melakukan pengecekan material saat penerimaan material, untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi yang dipersyaratkan. • Melaksanakan inspeksi akhir dari pekerjaan konstruksi untuk memastikan sudah pekerjaan sudah sesuai dengan standar mutu yang telah ditentukan. 	Mitigasi Risiko
Tidak tersedia material konsumable untuk kegiatan komisioning	Pekerjaan komisioning harus ditunda sampai material konsumable tersedia. Dan dapat menyebabkan kerugian finansial karena terdapat biaya tambahan akibat idle time, biaya untuk mobilisasi tenaga kerja yang	<ul style="list-style-type: none"> • Pengadaan material konsumable tidak sesuai dengan kebutuhan saat komisioning • Kedatangan material konsumable tidak menyesuaikan dengan jadwal pelaksanaan komisioning. 	<ul style="list-style-type: none"> • Memastikan pelaksanaan pengadaan material konsumable sudah sesuai dengan kebutuhan komisioning • Tim pengadaan harus mengetahui material konsumable apa saja yang memiliki lead time yang lama, sehingga dapat 	Mitigasi Risiko

Variabel Risiko	Dampak	Penyebab	Respon Risiko	Jenis Respon Risiko
	melaksanakan komisioning		menentukan waktu yang tepat dimulainya proses pengadaan material konsumable. Tim pengadaan juga melakukan koordinasi secara rutin dengan bagian komisioning untuk mengetahui rencana jumlah kebutuhan pemakaian material konsumable	
Terpapar material yang berbahaya	Dapat menyebabkan cedera dan luka serius pada pelaksana kegiatan komisioning, dan dampak yang paling parah adalah dapat menyebabkan kematian. Paparan material yang berbahaya juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi kebocoran pada sistem pemipaan yang mengalirkan material berbahaya • Tidak menggunakan alat pelindung diri yang baik saat pelaksanaan komisioning • Tempat penyimpanan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi material yang disimpan 	<ul style="list-style-type: none"> • Melaksanakan inspeksi kebocoran pada sistem pemipaan sebelum digunakan untuk mengalirkan material bahaya • Menggunakan alat pelindung diri yang baik bagi pelaksana komisioning • Membuat tempat penyimpanan yang sesuai dengan jenis material yang akan disimpan 	Mitigasi Risiko
Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia	Kegiatan komisioning tidak akan bisa dilaksanakan karena tidak tersedianya sumber listrik dan menyebabkan kegiatan komisioning menjadi terlambat	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas daya dari genset hanya cukup untuk kegiatan konstruksi saja • Sistem kelistrikan seperti panel distribusi, kabel untuk kegiatan komisioning belum terpasang • Tidak terdapat perhitungan beban yang dibutuhkan saat pelaksanaan komisioning 	<ul style="list-style-type: none"> • Memilih kapasitas daya genset yang sesuai dengan kebutuhan kegiatan proyek yaitu fase konstruksi dan komisioning • Pemasangan sistem kelistrikan untuk kegiatan komisioning diselesaikan sebelum kegiatan komisioning • Melakukan perhitungan kebutuhan beban yang dibutuhkan untuk pelaksanaan komisioning 	Mitigasi Risiko

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari hasil penelitian ini, dan dapat menjawab permasalahan yang ada pada penelitian ini. Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat didapatkan dari penelitian ini :

Dari hasil analisa variabel risiko dengan menggunakan metode FMEA didapatkan 38 variabel risiko yang terjadi pada fase komisioning dan startup pada proyek add on combine cycle, dimana 6 variabel risiko dikategorikan dengan variabel risiko kritis pada fase komisioning dan startup pada proyek add on combine cycle adalah sebagai berikut :

1. Energi primer untuk kegiatan komisioning tidak tersedia
2. Pengiriman peralatan yang terlambat
3. Kualitas pekerjaan dari konstruksi yang tidak baik
4. Tidak tersedia material kosumable untuk kegiatan komisioning
5. Terpapar material yang berbahaya
6. Sumber listrik untuk kegiatan komisioning tidak tersedia

Dampak yang ditimbulkan dari variabel risiko yang masuk dalam kategori kritis pada fase komisioning dan startup pada proyek add on combine cycle adalah sebagai berikut:

1. Durasi pekerjaan komisioning dan startup bertambah karena disebabkan oleh tidak tersedianya energi primer, terjadi kerusakan pada peralatan, terlambatnya fase konstruksi karena pengiriman peralatan yang terlambat, tidak tersedianya sumber listrik untuk pelaksanaan kegiatan komisioning.
2. Bertambahnya biaya untuk melaksanakan komisioning akibat tertundanya pekerjaan komisioning maupun terjadinya kerusakan pada peralatan.
3. Kehilangan potensi produksi tenaga listrik akibat waktu Commercial On Date (COD) mundur dari jadwal sebelumnya.

Respon risiko terhadap variabel risiko kritis yang dapat memberikan dampak yang besar terhadap kegiatan komisioning dan startup adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengadaan energi primer sesuai dengan jadwal komisioning yang telah disusun
2. Memiliki dua atau lebih penyedia pasokan energi primer
3. Mempersiapkan seluruh kelengkapan dokumen yang diperlukan dalam proses pengiriman
4. Menentukan jadwal waktu pengiriman dan waktu kedatangan peralatan dengan tepat
5. Melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas konstruksi dengan baik
6. Membuat daftar kebutuhan material kosumable komisioning secara detail
7. Melakukan inspeksi untuk memastikan instalasi telah dipasang dengan baik
8. Menggunakan alat pelindung diri saat pelaksanaan kegiatan komisioning
9. Menyediakan kebutuhan listrik untuk kegiatan komisioning

REFERENSI

- A Almasi. (2014). Pre-commissioning, commissioning and start-up of industrial plants and machineries,. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 12:2, 257-263.
- Albasyouni, W. (2021). *A Proposal for the Use of Failure Mode and Effect Analysis as Risk Management Tool in Construction [Master's Thesis, the American University in Cairo]*. AUC Knowledge Fountain.
- Cagno, E., Caron, F., & Mancini, M. (2002). Risk Analysis In Plant Commissioning: The Multilevel Hazop. *Reliability Engineering & System Safety* 77, 309–323.
- Carbone, T. A., & Tippett, D. D. (2004). Project Risk Management Using the Project Risk FMEA. *Engineering Management Journal*, 16:4, 28-35.
- Çitiroğlu, H. K., Arca, D., & Can, E. (2022). A Comparison of Risks Assessment for the Project Phase of Solar Power Plant Installation with FMEA Pareto and AHP Methods. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 4, 1059–1072.
- Killcross, M. (2021). *Chemical and Process Plant Commissioning Handbook*. Butterworth-Heinemann.
- Liu, H.-C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis : A Literature Review. *Expert System with Applications*, Volume 40, Issue 2, Pages 828-838.
- Lo, H.-W., Liou, J., Yang, J.-J., Huang, C.-N., & Lu, Y.-H. (2021). An Extended FMEA Model for Exploring the Potential Failure Modes: A Case Study of a Steam Turbine for a Nuclear Power Plant. *Complexity*.

- Mantzouka, A. (2019). *Risk Management in International Construction Projects Towards Effective Implementation and Enhanced Performance*, Master Thesis. Delft University of Technology.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2008). *The Basic of FMEA*. CRC Press.
- Mock, B., & O'Connor, J. (2019). High-Value, Low-Effort Industrial Plant Commissioning Solution Strategies. *Construction Innovation*, Vol. 19 No. 4, 653-671.
- Mock, B., & O'Connor, J. (2019). Owner and Contractor Solution Strategies for Industrial Commissioning. *Construction Innovation*, Vol. 19 No. 2, 256-279.
- Modarres, M. (2006). *Risk Analysis in Engineering Techniques, Tools, and Trends*. CRC press.
- O'Connor, J., & Mock, B. (2019). Construction, Commissioning, and Startup Execution: Problematic Activities on Capital Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 145 (4).
- O'Connor, J. T., Choi, J. O., & Winkler, M. (2016). Critical Success Factors for Commissioning and Start-Up of Capital Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 142, Issue 11.
- Sánchez Colmenarejo, J., Camprubí, F., González-Gaya, C., & Sánchez-Lite, A. (2022). Power Plant Construction Projects Risk Assessment: A Proposed Method for Temporary Systems of Commissioning. *Buildings*, 12,1260.
- Smith, N. J., Merna, T., & Jobling, P. (2006). *Managing Risk in Construction Projects*. Blackwell Publishing.
- Smith, N. J., Merna, T., & Jobling, P. (2009). *Managing Risk : In Construction Projects*. John Wiley & Sons.
- Stamatis, D. H. (2018). *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis*. ASQ Quality Press.
- Tippett, T. A. (2004). Project Risk Management Using the Project Risk FMEA. *Engineering Management Journal*, 16:4, 28-35.
- Winkler, M. C. (2015). *Critical Success Factors in Commissioning and Start-up of Capital Projects*, Master Thesis. The University of Texas at Austin.