

GARIS PANDUAN

PEMASANGAN PANEL SOLAR TERAPUNG

DI ATAS TAKUNGAN AIR DAN TASIK DI MALAYSIA

2026



www.nahrim.gov.my

PENERAJU PENYELIDIKAN AIR

GARIS PANDUAN
PEMASANGAN PANEL SOLAR TERAPUNG
DI ATAS TAKUNGAN AIR DAN TASIK DI MALAYSIA
2026

Sidang Pengarang

Mohd Fadhil Kasim
Nor Sahidah Jamaludin
Khairul Anam Musa @ Mahmud
Zati Sharip
Mohd Nur Farhan Abdul Wahab
Mohd Hafiz Zulkifli
Icahri Chatta
Muhammad Faiz Mohamad Jaafar
Mohd Baharum Muhamad Din

© Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia 2026
Hak cipta terpelihara. Tiada mana-mana bahagian daripada penerbitan ini boleh diterbitkan semula atau dipindahkan dalam apa-apa bentuk atau melalui apa-apa cara, sama ada secara elektronik atau mekanikal termasuk fotokopi, rakaman atau melalui mana-mana sistem penyimpanan dan capaian semula maklumat, tanpa kebenaran bertulis daripada Pusat Kajian Kualiti Air dan Alam Sekitar, Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM).

Diterbitkan di Malaysia oleh
Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM)
Lot 5377 Jalan Putra Permai
43300 Seri Kembangan
Selangor, MALAYSIA
http://www.nahrim.gov.my

Dicetak oleh: Percetakan Watan Sdn Bhd

GARIS PANDUAN PEMASANGAN PANEL SOLAR TERAPUNG DI ATAS TAKUNGAN AIR DAN TASIK DI MALAYSIA

Editor
Mohd Fadhil Kasim
Nor Sahidah Jamaludin
Khairul Anam Musa @ Mahmud
Zati Sharip
Mohd Nur Farhan Abdul Wahab
Mohd Hafiz Zulkifli
Icahri Chatta
Muhammad Faiz Mohamad Jaafar
Mohd Baharum Muhamad Din

Penafian

Walaupun segala usaha telah diambil untuk memastikan maklumat yang terkandung dalam penerbitan ini adalah terkini dan tepat pada masa penerbitan, penulis dan penerbit tidak menerima sebarang tanggungjawab dan dengan ini menafikan sebarang liabiliti terhadap mana-mana pihak atas sebarang kerugian, kerosakan atau gangguan yang berpunca daripada kesilapan atau keciciran yang mungkin terdapat dalam penerbitan ini.

Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

Perpustakaan Negara Malaysia

Rekod katalog untuk buku ini boleh didapati dari Perpustakaan Negara Malaysia

ISBN 978-967-0382-95-1

REKOD PINDAAN

Bil	Tarikh	Perkara Dipinda	Versi	Catatan
1	Okt 2025		V1.0	
2	Dis 2025	Tambah baik input berdasarkan Bengkel Interim	V1.1	
3	April 2026	Tambahbaik input berdasarkan Bengkel Pembentangan Akhir	V1.3	

PRAKATA

Alhamdulillah, setinggi-tinggi kesyukuran dipanjatkan ke hadrat Allah SWT kerana dengan limpah kurnia-Nya, **Garis Panduan Pemasangan Panel Solar Terapung di atas Takungan Air dan Tasik di Malaysia** ini berjaya disediakan sebagai dokumen rujukan bagi menyokong pembangunan tenaga boleh baharu negara secara lebih terancang, selamat dan mampan.

Pembangunan Panel Solar Terapung atau *Floating Photovoltaic* (FPV) merupakan antara pendekatan baharu dalam mengoptimumkan penggunaan permukaan badan air seperti takungan air, tasik, empangan, kolam takungan dan tasik bekas lombong bagi tujuan penjanaan tenaga solar. Teknologi ini berpotensi menyumbang kepada peningkatan kapasiti Tenaga Boleh Baharu (TBB) negara, selaras dengan Dasar Tenaga Negara, Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara (NETR) dan Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER).

Walau bagaimanapun, pelaksanaan FPV di atas badan air perlu dirancang dengan teliti kerana ia melibatkan aspek teknikal, keselamatan, kualiti air, biodiversiti, operasi badan air, akses komuniti serta kesejahteraan masyarakat setempat. Sehubungan itu, garis panduan ini disediakan bagi membantu pihak berkepentingan termasuk operator perkhidmatan bekalan air, pemaju solar, Pihak Berkuasa Negeri, Pihak Berkuasa Tempatan, agensi teknikal, utiliti dan perunding dalam merancang, melulus, membina, mengoperasi, memantau serta menamatkan operasi projek FPV secara teratur.

Garis panduan ini turut menekankan pendekatan kawal selia sepanjang kitar hayat projek, bermula daripada pemilihan tapak, reka bentuk kejuruteraan, pertimbangan alam sekitar dan sosial, keselamatan, operasi dan penyelenggaraan, pemantauan dan pelaporan, sehingga kepada penyahtaraan serta pemulihan tapak. Pendekatan ini penting bagi memastikan pembangunan FPV tidak menjejaskan fungsi utama badan air dan keselamatan sumber air negara.

Adalah diharapkan agar garis panduan ini dapat menjadi rujukan utama dalam memastikan pembangunan solar terapung di Malaysia dilaksanakan secara selamat, berdaya saing dan lestari. Setinggi-tinggi penghargaan dirakamkan kepada semua pihak yang telah memberikan kerjasama, pandangan teknikal dan sokongan dalam penyediaan dokumen ini.

Timbalan Ketua Pengarah
Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM)
Kementerian Peralihan Tenaga dan Transformasi Air (PETRA)

ISI KANDUNGAN

BAB 1

PENGENALAN **1**
1.1 Tujuan 2
1.2 Latar Belakang 2
1.2.1 Tenaga Boleh Baharu 3
1.2.2 Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER) 3
1.2.3 Pembangunan Solar Panel Terapung 4
1.3 Skop 6

BAB 2

DEFINISI DAN KOMPONEN **10**
2.1 Definisi 10
2.2 Komponen Pembangunan Solar Terapung 10
2.2.1 Komponen di atas air *(on-water)* 10
2.2.2 Komponen di darat/tebing *(on-shore/bankside)* 11
2.3 Jenis Solar Terapung 12

BAB 3

DASAR DAN PERUNDANGAN **18**
3.1 Dasar 18
3.2 Akta, Enakmen, Peraturan dan Garis Panduan Berkaitan 18
3.2.1 Akta di bawah Sektor Tenaga 18
3.2.2 Akta, Enakmen, Peraturan dan Garis Panduan Berkaitan Peringkat Persekutuan 20
3.2.3 Akta, Perundangan dan Enakmen Negeri 27
3.3 Bidang kuasa dan Autoriti 29

BAB 4

PERANCANGAN **32**
4.1 Terancang dan Teratur 32
4.2 Manfaat Sosio-Ekonomi 33
4.3 Persepsi dan Penerimaan 34
4.4 Faktor Penentu Sokongan 34
4.5 Biodiversiti Badan Air 35

BAB 5

PENGENALPASTIAN TAPAK **38**
5.1 Pengenalan 38
5.2 Keadaan Iklim dan Keamatan Suria 38
5.3 Pemilihan Badan Air 39
5.4 Batimetri dan Ciri-Ciri Badan Air 45
5.5 Kualiti Air 47
5.5.1 Penentuan Data Garis Dasar *(Baseline Data)* 47
5.5.2 Parameter Pemantauan 47
5.5.3 Kekerapan dan Perancangan Persampelan 48
5.5.4 Ujian Bahan, Larut Lesap dan Mikroplastik 49
5.5.5 Standard Kualiti Air Selepas Pemasangan 49
5.6 Ekologi Badan Air 50
5.6.1 Zon Penampan Ekologi dan Keselamatan 50
5.7 Pertimbangan Sosio-ekonomi Sekitar 51
5.7.1 Keperluan Penilaian Impak Sosial (SIA) 51

BAB 6

REKABENTUK KEJURUTERAAN **54**
6.1 Pengenalan 54
6.2 Pematuhan SOP Empangan dan Operasi Badan Air 54
6.3 Struktur Platform 55
6.3.1 Bahan dan Ketahanan 55
6.3.2 Konfigurasi dan Susun Atur 55
6.3.3 Analisis Struktur 56
6.4 Teknologi dan Reka Bentuk Modul Panel Solar 56
6.4.1 Teknologi Panel Solar yang Dibenarkan 56
6.4.2 Reka Bentuk Modul Panel Solar 57
6.5 Sistem Penambat 58
6.5.1 Reka Bentuk Sistem Penambatan 58
6.5.2 Komponen Sistem Penambat 58
6.5.3 Penilaian dan Ujian 59
6.6 Sistem Sambungan Elektrik: Solar, Inverter dan Grid 60
6.7 Pembangunan Sistem Penyimpanan Tenaga Bateri *(Battery Energy Storage System, BESS)* 61
6.7.1 Komponen Utama BESS 62
6.7.2 Keperluan Lokasi dan Susun Atur BESS 63
6.7.3 Keperluan Reka Bentuk dan Keselamatan BESS 63
6.7.4 Keselamatan Kebakaran dan Tindak Balas Kecemasan 64
6.7.5 Perlindungan Badan Air dan Alam Sekitar 65
6.7.6 Operasi, Pemantauan dan Penyelenggaraan BESS 65
6.7.7 Penyahtaraan dan Pengurusan Tamat Hayat BESS 66
6.8 Pengurusan Kabel di Atas Air 66

6.8.1 Jenis Kabel 66
6.8.2 Laluan Kabel Atas Air 66
6.8.3 Sambungan Kabel ke Daratan 67
6.9 Keselamatan Elektrik 67
6.10 Rekabentuk Pepasangan 68

BAB 7

PERTIMBANGAN ALAM SEKITAR DAN SOSIAL 72
7.1 Pengenalan 72
7.2 Impak Alam Sekitar 72
7.2.1 Sebelum Pembangunan (Pra-Pembinaan) 72
7.2.2 Semasa Pembangunan (Fasa Pembinaan) 73
7.2.3 Selepas Pembangunan (Operasi dan Penamatan) 73
7.3 Pengurusan Kesan Khusus Pembangunan FPV 74
7.3.1 Kualiti Air 74
7.3.2 Biodiversiti Badan Air 77
7.3.3 Akses Risiko Awam & Rekreasi 78
7.3.4 Pertimbangan Sosio-ekonomi Sekitar 79
7.3.5 Penyelenggaraan Badan Air 81
7.4 Langkah Mitigasi dan Indikator Pemantauan 82

BAB 8

PERTIMBANGAN KESELAMATAN 86
8.1 Pengenalan 86
8.2 Jenis-jenis Keselamatan Melibatkan FPV 87
8.2.1 Keselamatan dan Kesihatan Awam 87
8.2.2 Keselamatan Elektrik 87
8.2.3 Keselamatan Pekerjaan 89
8.2.4 Keselamatan Struktur 90
8.2.5 Keselamatan Empangan atau Sistem Takungan Sedia Ada 90
8.2.6 Keselamatan Sistem dan Operasi 92
8.2.7 Keselamatan Alam Sekitar 94
8.2.8 Aspek Fizikal dan Persekitaran 94
8.2.9 Aspek Kimia 95
8.2.10 Ujian Bahan, Larut Lesap dan Mikroplastik 97
8.2.11 Aspek Biologi 97
8.3 Keperluan Pelan dan Prosedur Menangani Kecemasan dan Keselamatan 98
8.3.1 Zon Penampan dan Kawalan 98
8.3.2 Pelan Tindak Balas Kecemasan (Emergency Response Plan, ERP) dan Pelan Risiko 99
8.3.3 Kawalan Bahan Kimia, Minyak dan Bendalir Penyelenggaraan di Tapak 100
8.3.4 Langkah Perlindungan Tambahan bagi Operator Air 101
8.4 Ringkasan Keperluan Keselamatan dan Indikator Pemantauan 102

BAB 9

OPERASI DAN PENYELENGGARAAN **103**
9.1 Pengenalan 104
9.2 Pengoperasian dan Penyelenggaraan sistem solar terapung 104
9.3 Kualiti Air 105
9.3.1 Kawalan Air Larian dan Rawatan Awal 106
9.3.2 Kawalan Biofilm tanpa Disinfektan 107
9.3.3 Kualiti Air Semasa Aktiviti Penyelenggaraan 107
9.4 Biodiversiti Badan Air 107
9.4.1 Kawalan Alga dan Tumbuhan Akuatik 108
9.4.2 Pemantauan Ikan sebagai Bioindikator 108
9.5 Pertimbangan Sosial 109
9.5.1 Tahap Perkhidmatan Sosial 109
9.5.2 Penunjuk Prestasi Sosio-ekonomi 109
9.5.3 Ambang Tindakan dan Prosedur Pembetulan 110
9.5.4 Verifikasi, Audit dan Pelaporan 110
9.6 Penyelenggaraan 110
9.6.1 Pemeriksaan Berkala 110
9.6.2 Pembersihan Modul PV 111
9.6.3 Penyelenggaraan Struktur Terapung 112
9.6.4 Penyelenggaraan Sistem Penambatan 112
9.6.5 Pemantauan Prestasi Sistem 112
9.6.6 Penyelenggaraan Elektrik 112
9.6.7 Kawalan Alga, Biofilm dan Tumbuhan Air 113
9.6.8 Kekerapan Penyelenggaraan dan Jangka Hayat Komponen 113
9.6.9 Protokol Keselamatan 114
9.6.10 Log Penyelenggaraan 114

BAB 10

PENAMATAN OPERASI (DECOMMISSIONING) **117**
10.1 Pengenalan 118
10.2 Pelan Penamatan Operasi 118
10.2.1 Inventori Komponen dan Aset 119
10.2.2 Jadual Penamatan dan Tanggungjawab 119
10.2.3 Penilaian Kesan Penamatan Operasi 119
10.2.4 Kaedah Pelupusan Bahan 120
10.2.5 Kaedah Pemulihan Tapak 120
10.2.6 Prosedur Keselamatan dan Pencegahan Pencemaran 120
10.3 Jaminan Kewangan Penyahtaraan 120
10.4 Kaedah Pelupusan Modul dan Komponen FPV 121
10.4.1 Penggunaan Semula 121
10.4.2 Kitar Semula 121

10.4.3 Pelupusan Akhir 121
10.4.4 Pengurusan Sisa Tambahan 122
10.5 Pemulihan Kawasan Badan Air 122
10.5.1 Pembersihan Tapak 122
10.5.2 Pemulihan Fizikal dan Hidrologi 122
10.5.3 Pemantauan Kualiti Air Selepas Penamatan 123
10.5.4 Pemulihan Ekologi dan Biodiversiti 123
10.5.5 Laporan Penamatan dan Pemulihan 123
10.6 Ringkasan Keperluan Penamatan Operasi dan Pemantauan 124

BAB 11

PEMANTAUAN DAN PELAPORAN 125
11.1 Fasa Pra-Pembinaan dan Pembinaan 126
11.1.1 Keperluan Dokumen Pemantauan 126
11.1.2 Kelulusan 126
11.1.3 Kaedah dan Indikator Pemantauan 127
11.1.4 Pelan Tindakan 127
11.1.5 Audit Kepatuhan dan Penambahbaikan 128
11.2 Fasa Pengoperasian 129
11.2.1 Keperluan Dokumen Pemantauan 129
11.2.2 Pemantauan Operasi 130
11.2.3 Kaedah dan Indikator Pemantauan 130
11.2.4 Pelan Tindakan 131
11.2.5 Audit Kepatuhan dan Penambahbaikan 132
11.3 Fasa Penyahtaraan 132
11.3.1 Keperluan Dokumen 132
11.3.2 Kelulusan Agensi Berkaitan 133
11.3.3 Kaedah dan Indikator Pemantauan 133
11.3.4 Pelan Tindakan (Corrective Action Plan) 134
11.3.5 Audit Kepatuhan dan Penambahbaikan 134
11.4 Ringkasan Keperluan Pemantauan dan Pelaporan 135

Rujukan 136

RINGKASAN EKSEKUTIF

Garis Panduan Pemasangan Panel Solar Terapung di atas Takungan Air dan Tasik di Malaysia disediakan sebagai satu dokumen rujukan bagi menyelaras pelaksanaan pembangunan Panel Solar Terapung atau *Floating Photovoltaic* (FPV) di atas badan air negara. Penyediaan garis panduan ini adalah penting memandangkan pembangunan FPV semakin mendapat perhatian sebagai salah satu pendekatan baharu dalam menyokong agenda peralihan tenaga negara, khususnya melalui peningkatan penggunaan Tenaga Boleh Baharu (TBB).

Secara asasnya, FPV merupakan sistem penjanaan tenaga solar yang dipasang di atas permukaan badan air seperti takungan air, empangan, tasik bekalan air, kolam takungan dan tasik bekas lombong. Teknologi ini dilihat berpotensi untuk mengoptimumkan penggunaan kawasan badan air sedia ada, mengurangkan tekanan terhadap penggunaan tanah daratan berskala besar serta menyokong usaha negara ke arah pembangunan tenaga bersih dan rendah karbon.

Walau bagaimanapun, pembangunan FPV di atas badan air bukan sekadar melibatkan pemasangan panel solar semata-mata. Ia turut berkait rapat dengan aspek keselamatan sumber air, kualiti air, biodiversiti, keselamatan awam, operasi empangan dan takungan, keselamatan pekerja, akses komuniti, kawalan sosial, sambungan grid serta keperluan penyelenggaraan jangka panjang. Oleh itu, garis panduan ini disediakan bagi memastikan setiap pembangunan FPV dirancang dan dilaksanakan secara terkawal, bersepadu dan tidak menjejaskan fungsi asal badan air.

Garis panduan ini turut menyokong hala tuju dasar negara seperti Dasar Tenaga Negara, Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara (NETR) dan Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER). Dalam konteks ini, FPV dilihat sebagai antara mekanisme yang boleh membantu memperkukuh kapasiti TBB negara, khususnya bagi pembangunan solar berskala besar yang tidak terlalu bergantung kepada kawasan daratan. Namun, pelaksanaannya perlu mengambil kira keseimbangan antara keperluan tenaga, perlindungan sumber air dan kelestarian ekosistem.

Bagi memastikan pembangunan yang teratur, garis panduan ini menggariskan keperluan penilaian tapak yang menyeluruh sebelum sesuatu projek FPV dipertimbangkan. Antara perkara yang perlu diberi perhatian ialah status tanah dan badan air, fungsi utama takungan atau tasik, kedalaman air, batimetri, turun naik paras air, sedimentasi, kestabilan tebing, akses tapak, jarak kepada sambungan grid, kualiti air, biodiversiti, aktiviti komuniti serta kesesuaian kawasan untuk operasi dan penyelenggaraan. Pendekatan ini penting bagi mengelakkan pemilihan tapak yang boleh menimbulkan risiko terhadap keselamatan sumber air atau operasi badan air.

Dari aspek reka bentuk kejuruteraan, garis panduan ini memperincikan keperluan bagi komponen utama FPV, termasuk modul fotovoltaik, struktur apungan, sistem penambatan, kabel, inverter, transformer, pencawang, sistem sambungan grid, sistem kawalan serta kemudahan sokongan di darat. Reka bentuk sistem hendaklah mengambil kira keadaan tapak sebenar seperti beban angin, gelombang, arus, paras air, kestabilan dasar dan risiko cuaca ekstrem. Bagi projek yang melibatkan sistem penyimpanan tenaga bateri atau *Battery Energy Storage System* (BESS), keperluan keselamatan tambahan perlu diberi perhatian sewajarnya.

Garis panduan ini juga memberi penekanan kepada aspek alam sekitar dan sosial. Pembangunan FPV hendaklah dirancang supaya tidak menjejaskan kualiti air, ekosistem akuatik, habitat sensitif, spesies dilindungi, aktiviti perikanan, rekreasi, laluan bot, akses awam dan mata pencarian komuniti setempat. Dalam hal ini, pemaju perlu menyediakan pelan pengurusan dan pemantauan yang bersesuaian, termasuk pemantauan kualiti air, biodiversiti, aduan komuniti, akses awam dan langkah mitigasi sekiranya berlaku kesan yang tidak diingini.

Aspek keselamatan merupakan antara komponen utama dalam garis panduan ini. Pembangunan FPV hendaklah berpandukan prinsip *safety by design*, iaitu keselamatan perlu diambil kira sejak peringkat perancangan dan reka bentuk, bukan hanya selepas sistem siap dipasang. Pertimbangan keselamatan merangkumi keselamatan elektrik, keselamatan pekerjaan, keselamatan struktur, keselamatan empangan dan takungan, keselamatan operasi, keselamatan alam sekitar, keselamatan bekalan air serta kesiapsiagaan menghadapi kecemasan. Pemaju perlu menyediakan Pelan Tindak Balas Kecemasan (ERP), prosedur kerja selamat, Permit Kerja (PTW), Analisis Keselamatan Kerja (JSA), *Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control* (HIRARC), kawalan akses, peralatan keselamatan dan latihan berkala kepada pekerja.

Bagi fasa operasi dan penyelenggaraan, garis panduan ini menetapkan keperluan supaya sistem FPV dipantau dan disenggara secara berjadual. Pemantauan hendaklah merangkumi prestasi tenaga, keadaan modul PV, struktur apungan, sistem penambatan, kabel, inverter, transformer, sambungan grid, sistem keselamatan, kualiti air dan biodiversiti. Bagi badan air yang berfungsi sebagai sumber air mentah, kawalan yang lebih ketat hendaklah dilaksanakan, terutamanya bagi aktiviti pembersihan panel, pembaikan kabel, penggantian modul, kerja bot dan penggunaan sebarang bahan penyelenggaraan yang berpotensi mencemarkan air.

Garis panduan ini turut menekankan keperluan pemantauan dan pelaporan yang boleh diaudit bagi setiap fasa pembangunan, iaitu fasa pra-pembinaan, pembinaan, pengoperasian dan penyahtaraan. Setiap fasa perlu mempunyai dokumen sokongan, rekod pemantauan, laporan insiden, data operasi, rekod aduan, audit kepatuhan dan tindakan pembetulan. Pendekatan ini akan membantu pihak berkuasa, operator badan air dan pemaju membuat keputusan berdasarkan data yang sahih serta memastikan sebarang ketidakpatuhan dapat dikenal pasti dan ditangani dengan segera.

Bagi fasa penamatan operasi atau penyahtaraan, garis panduan ini menetapkan bahawa perancangan penyahtaraan hendaklah disediakan sejak peringkat awal projek. Ini termasuk inventori aset, kaedah pembongkaran, pengurusan sisa, kitar semula, pelupusan komponen, pemulihan tapak dan pemantauan selepas penamatan. Komponen seperti modul PV, pelampung HDPE, kabel, inverter, transformer, sistem penambatan dan BESS perlu diurus secara bertanggungjawab supaya tidak meninggalkan kesan negatif kepada badan air, sedimen, kawasan tebing dan ekosistem.

Secara keseluruhannya, garis panduan ini menyediakan satu kerangka yang menyeluruh bagi memastikan pembangunan FPV di Malaysia dapat dilaksanakan secara teratur, selamat dan mampan. Ia bukan sahaja memberi panduan kepada pemaju solar, malah turut membantu operator perkhidmatan belakan air, PBT, PBN, agensi teknikal, utiliti dan pihak berkepentingan lain dalam menilai kesesuaian projek, menetapkan syarat kelulusan, memantau pematuhan serta mengurus risiko sepanjang kitar hayat projek.

Kesimpulannya, Garis Panduan Pemasangan Panel Solar Terapung di atas Takungan Air dan Tasik di Malaysia merupakan satu dokumen strategik yang penting dalam menyokong agenda peralihan tenaga negara secara berhemah. Garis panduan ini memastikan pembangunan FPV dilaksanakan melalui proses perancangan, kelulusan, reka bentuk, pembinaan, operasi, pemantauan dan penyahtaraan yang tersusun, telus dan boleh dipertanggungjawabkan. Dengan pelaksanaan yang berkesan, pembangunan FPV berpotensi menjadi salah satu penyelesaian tenaga bersih negara yang bukan sahaja berdaya saing, malah selamat, lestari dan seimbang dengan keperluan perlindungan sumber air serta ekosistem negara.

SENARAI JADUAL

Jadual	Tajuk	Muka surat
Jadual 2.1	Kelebihan dan Kelemahan Jenis Panel Solar Terapung	15
Jadual 3.1	Carta alir bidang kuasa dan autoriti pembangunan FPV	29
Jadual 5.1	Recommended Raw Water Quality Criteria oleh Kementerian Kesihatan Malaysia	48
Jadual 6.1	Perincian maklumat reka bentuk	68
Jadual 7.1	Perincian langkah mitigasi dan indikator pemantauan	82
Jadual 8.1	Langkah Keselamatan Berkaitan Sistem FPV	88
Jadual 8.2	Potensi Bahaya, Risiko dan Langkah Mitigasi Aktiviti Sekeliling FPV	91
Jadual 8.3	Jenis bahaya fizikal daripada pembangunan FPV	95
Jadual 8.4	Jenis bahaya kimia daripada pembangunan FPV	96
Jadual 8.5	Jenis bahaya biologi daripada pembangunan FPV	98
Jadual 8.6	Ringkasan Keperluan Keselamatan dan Indikator Pemantauan	102
Jadual 9.1	Pengurusan Sistem FPV Semasa Peringkat Operasi dan Penyelenggaraan	104
Jadual 9.2	Pengurusan ekosistem	109
Jadual 9.3	Cadangan Komponen dan Jenis Pemeriksaan	110
Jadual 9.4	Perincian Komponen dan Penyelenggaraan Peralatan Elektrik	113
Jadual 9.5	Panduan Awal Kekerapan Pemeriksaan dan Penggantian Komponen	114
Jadual 10.1	Ringkasan Keperluan Penamatan Operasi dan Pemantauan	124
Jadual 11.1	Ringkasan Pemantauan dan Pelaporan Mengikut Fasa	136

SENARAI RAJAH

Rajah	Tajuk	Muka surat
Rajah 1.1	Program Tenaga Boleh Baharu Negara	4
Rajah 1.2	Skop Pengawalseliaan Pembangunan Panel Solar Terapung	5
Rajah 1.3	Ladang FPV (10 MW) WD Solar Sdn Bhd di Dengkil, Selangor	5
Rajah 1.4	Skop garis panduan	6
Rajah 2.1	Gambarajah skematik komponen di atas air (on-water)	11
Rajah 2.2	Gambarajah skematik komponen di darat/tebing (on-shore/ bankside)	12
Rajah 2.3	Gambar panel solar terapung mendatar	13
Rajah 2.4	Pemandangan panel solar terapung mendatar	14
Rajah 2.5	Gambar panel solar terapung menegak	14
Rajah 2.6	Pemandangan panel solar terapung menegak	15
Rajah 3.1	Dasar Persekutuan yang digunapakai	18
Rajah 4.1	Carta alir proses perancangan dan kelulusan pembangunan FPV	33
Rajah 5.1	Potensi kuasa fotovoltaik di Malaysia	40
Rajah 5.2	Contoh peta batimetri	46
Rajah 6.1	Contoh platform HDPE yang digunakan bagi ladang solar terapung	56
Rajah 6.2	Contoh diagram Shore Anchoring platform solar terapung	60
Rajah 6.3	Shore anchoring technique di Ladang Solar Terapung WD Solar Sdn Bhd, Bukit Changgang, Dengkil, Selangor	60
Rajah 6.4	Contoh diagram Piling Anchoring technique dan Bottom Anchoring technique	60
Rajah 6.5	Lightning arrester di Ladang Solar Terapung WD Solar Sdn Bhd	62
Rajah 8.1	Sistem solar terapung terbakar akibat taufan di Empangan Yamakura, Jepun	93
Rajah 8.2	Sistem solar terapung rosak akibat ribut di Empangan Omkareshwar, India	94
Rajah 9.1	Kotoran burung dan telur siput atas pelampung dan kabel FPV	108
Rajah 11.1	Carta alir Pelan Tindakan bagi fasa pembinaan	128
Rajah 11.2	Carta alir Pelan Tindakan bagi fasa operasi	132
Rajah 11.3	Carta alir Pelan Tindakan bagi fasa penyahtaraan	135

SENARAI SINGKATAN

Singkatan

3R	*Reduce, Reuse, Recycle*
AC	Arus ulang-alik / *Alternating Current*
ACDB	*AC Distribution Board*
AKAS	Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974
AKKP	Akta Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan 1994
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
BESS	*Battery Energy Storage System* / Sistem Penyimpanan Tenaga Bateri
BMS	*Battery Management System*
BOD	*Biochemical Oxygen Demand*
CAAM	*Civil Aviation Authority of Malaysia*
CCTV	*Closed-Circuit Television* / Televisyen Litar Tertutup
CdTe	*Cadmium Telluride*
CGSO	*Chief Government Security Office* / Pejabat Ketua Pegawai Keselamatan Kerajaan Malaysia
CIGS	*Copper Indium Gallium Selenide*
CITES	*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*
CLO	*Community Liaison Officer* / Pegawai Perhubungan Komuniti
COD	*Chemical Oxygen Demand*
CSV	*Comma-Separated Values*
DC	Arus terus / *Direct Current*
DO	*Dissolved Oxygen* / Oksigen Terlarut
DOF	*Department of Fisheries* / Jabatan Perikanan Malaysia
DOSH	*Department of Occupational Safety and Health*
DTN	Dasar Tenaga Negara
EIA	Penilaian Impak Alam Sekeliling / *Environmental Impact Assessment*
EMP	*Environmental Management Plan* / Pelan Pengurusan Alam Sekitar
EMS	*Energy Management System*
EN	*European Standard*
ERP	*Emergency Response Plan* / Pelan Tindak Balas Kecemasan
EVA	*Ethylene Vinyl Acetate*
FiT	*Feed-in Tariff* / Tarif Galakan
FPV	*Floating Photovoltaic* / Panel Solar Terapung
GaAs	*Gallium Arsenide*

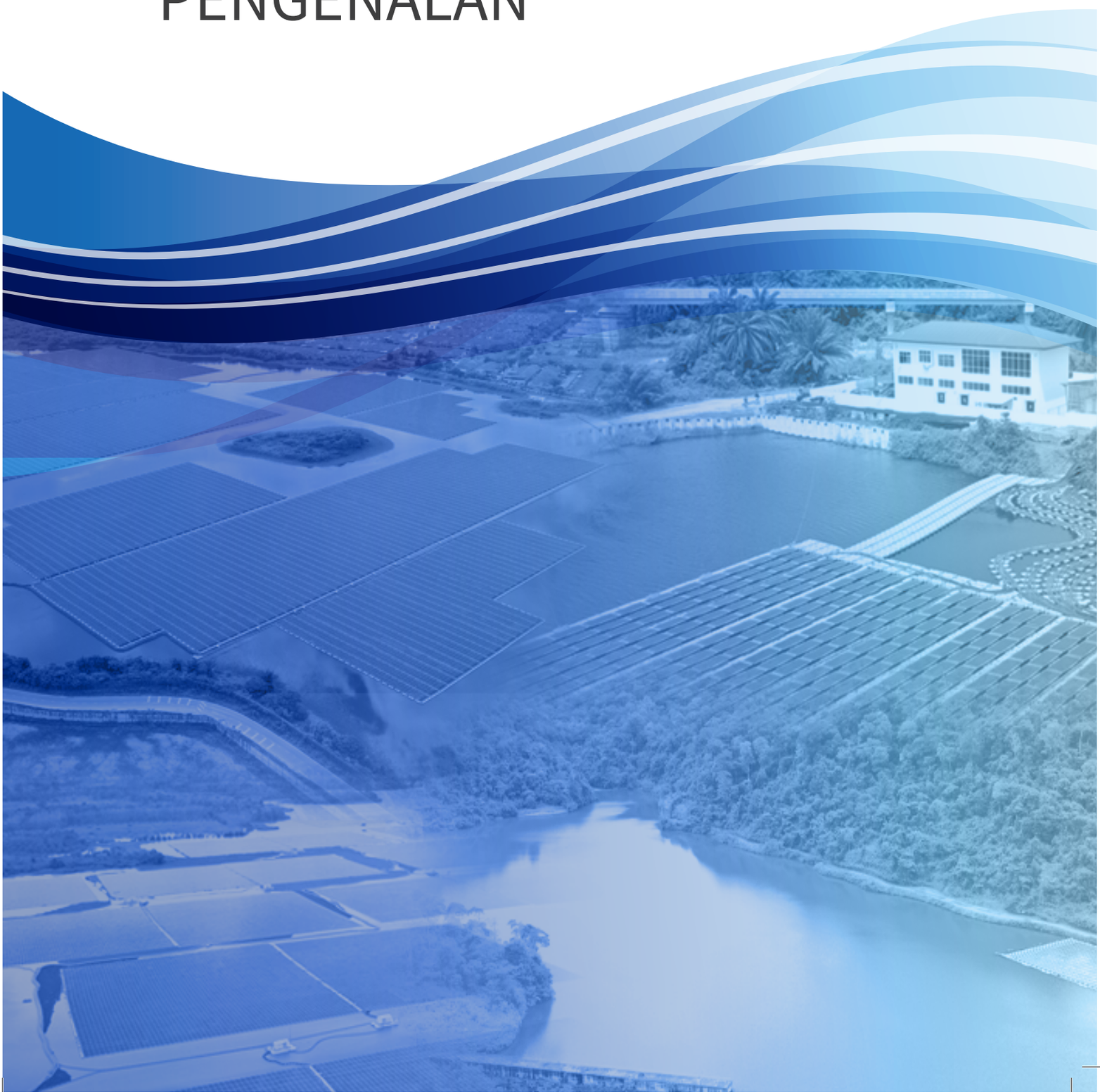
GHI	*Global Horizontal Irradiance*
GPP	Garis Panduan Pembangunan
HAZOP	*Hazard and Operability Study* / Kajian Bahaya dan Kebolehoperasian
HDPE	*High-Density Polyethylene* / Polietilena Berketumpatan Tinggi
HIRARC	*Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control*
HSK	Hutan Simpan Kekal
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IFC	*International Finance Corporation*
IP	*Ingress Protection*
IP65	*Ingress Protection 65*
IP67	*Ingress Protection 67*
IRENA	*International Renewable Energy Agency*
ISO	*International Organization for Standardization*
IUCN	*International Union for Conservation of Nature*
JAKOA	Jabatan Kemajuan Orang Asli
JAS	Jabatan Alam Sekitar
JBPM	Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia
JKKP	Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan
JMG	Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia
JPS	Jabatan Pengairan dan Saliran
JPSM	Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia
JSA	*Job Safety Analysis* / Analisis Keselamatan Kerja
KKM	Kementerian Kesihatan Malaysia
KLTL	Kawasan Larangan dan Tempat Larangan
KM	Kebenaran Merancang
KMTT	Kebenaran Merancang Terhad Tempoh
KPI	*Key Performance Indicator* / Petunjuk Prestasi Utama
KSAS	Kawasan Sensitif Alam Sekitar
KTN	Kanun Tanah Negara 1965
LIA	*Lake Impact Assessment* / Penilaian Impak Tasik
LSS	*Large Scale Solar* / Solar Berskala Besar
LUAS	Lembaga Urus Air Selangor
MA63	Perjanjian Malaysia 1963
MAL	Malaysia / rujukan piawaian Malaysia
MBAS	*Methylene Blue Active Substances*
MCC	*Motor Control Centre*

METI	*Ministry of Economy, Trade and Industry Jepun*
MGTC	*Malaysian Green Technology and Climate Change Corporation*
MIDA	*Malaysian Investment Development Authority*
MPN	*Most Probable Number*
MS	*Malaysian Standard*
MSDS	*Material Safety Data Sheet* / Helaian Data Keselamatan Bahan
MV	*Medium Voltage* / Voltan Sederhana
MW	*Megawatt*
MyRER	Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia
NADMA	Agensi Pengurusan Bencana Negara
NAHRIM	Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia
NEM	*Net Energy Metering* / Skim Pemeteran Tenaga Bersih
NETR	Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara
NFPA	*National Fire Protection Association*
NGO	*Non-Governmental Organisation* / Pertubuhan Bukan Kerajaan
NLWQS	*National Lake Water Quality Standards* / Standard Kualiti Air Tasik Kebangsaan
NTU	*Nephelometric Turbidity Unit*
O&M	*Operation and Maintenance* / Operasi dan Penyelenggaraan
OKU	Orang Kelainan Upaya
OSC	*One Stop Centre*
OSHA	*Occupational Safety and Health Act*
PAT	Penilaian Awal Tapak
PBN	Pihak Berkuasa Negeri
PBPT	Pihak Berkuasa Perancang Tempatan
PBT	Pihak Berkuasa Tempatan
PCS	*Power Conversion System*
PEPC	Jurutera Profesional dengan Perakuan Amalan
PERHILITAN	Jabatan Perlindungan Hidupan Liar dan Taman Negara
PETRA	Kementerian Peralihan Tenaga dan Transformasi Air
pH	Tahap keasidan atau kealkalian
PLANMalaysia	Jabatan Perancangan Bandar dan Desa
PM10	*Particulate Matter* bersaiz 10 mikrometer
PMU	Pencawang Masuk Utama
PNK	Persatuan Nelayan Kawasan
POA	*Plane of Array*

PPE	*Personal Protective Equipment* / Peralatan Pelindung Diri
PR	*Performance Ratio*
PSS	*Power System Study*
PTG	Pejabat Tanah dan Galian
PTW	*Permit to Work* / Permit Kerja
PV	*Photovoltaic* / Fotovoltaik
QA/QC	*Quality Assurance / Quality Control* / Jaminan Kualiti dan Kawalan Kualiti
QR	*Quick Response*
RCA	*Root Cause Analysis* / Analisis Punca Akar
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition*
SEDA	Pihak Berkuasa Pembangunan Tenaga Lestari Malaysia
SIA	Penilaian Impak Sosial / *Social Impact Assessment*
SIMP	*Social Impact Management Plan* / Pelan Pengurusan Sosial
SoC	*State of Charge*
SoH	*State of Health*
SOP	Prosedur Operasi Standard
SPD	*Surge Protection Device* / Peranti Perlindungan Lonjakan
SPAN	Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara
ST	Suruhanjaya Tenaga
TBB	Tenaga Boleh Baharu
TBT	*Tributyltin*
TCLP	*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*
TCU	*True Colour Unit*
TDS	*Total Dissolved Solids* / Jumlah Pepejal Terlarut
TNB	Tenaga Nasional Berhad
TOC	*Total Organic Carbon* / Jumlah Karbon Organik
TSS	*Total Suspended Solids* / Jumlah Pepejal Terampai
UBBL	*Uniform Building By-Laws*
UKBS	Undang-Undang Kecil Bangunan Seragam
UL	*Underwriters Laboratories*
USEPA	*United States Environmental Protection Agency*
UV	*Ultraviolet* / Ultraungu
WHO	*World Health Organization* / Pertubuhan Kesihatan Sedunia
WHO1	Rujukan WHO kategori 1 dalam jadual kualiti air
WHO2	Rujukan WHO kategori 2 dalam jadual kualiti air
WMP	*Workforce Management Plan* / Pelan Pengurusan Tenaga Kerja
ZOI	*Zone of Influence* / Zon Pengaruh

BAB 1

PENGENALAN



1.1 Tujuan

Garis Panduan Pembangunan Panel Solar Terapung (*Floating Photovoltaic*, FPV) ini disediakan sebagai panduan kepada pihak berkepentingan yang terlibat dalam proses merancang, mereka bentuk, melulus, membina, mengoperasi, memantau serta mengawal pembangunan FPV di atas badan air di Malaysia.

Objektif penyediaan Garis Panduan ini adalah untuk:

1. Menjadi panduan bagi penyediaan rancangan pemajuan/ rancangan tempatan bagi merancang dan mengawal pembangunan FPV, termasuk keperluan pemantauan operasi dan penyahtaraan.

2. Menyediakan panduan teknikal perancangan tapak dan reka bentuk pembangunan FPV, termasuk pemilihan badan air, had liputan, sistem apungan dan mooring/anchoring, sambungan grid, akses dan keselamatan;

3. Merangka mekanisme pelaksanaan dan kelulusan pembangunan berdasarkan peruntukan perundangan sedia ada serta proses *One Stop Centre* (OSC) di peringkat Pihak Berkuasa Negeri (PBN), Pihak Berkuasa Perancang Tempatan (PBPT) dan Pihak Berkuasa Tempatan (PBT)

4. Menyokong agenda Tenaga Boleh Baharu (TBB) negara dengan memastikan pembangunan FPV dilaksanakan secara mampan, berdaya saing dan selaras dengan Dasar Tenaga Negara, Pelan Induk Perindustrian Hijau serta Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara (NETR), tanpa menjejaskan keselamatan sumber air dan keseimbangan ekologi.

1.2 Latar Belakang

Keperluan tenaga yang meningkat, kekangan guna tanah yang sesuai dan hala tuju peralihan tenaga telah mendorong penggunaan FPV di atas badan air seperti tasik bekas lombong, tasik terbiar, kolam takungan, empangan air mentah dan takungan air minuman serta empangan hidroelektrik. FPV mengurangkan persaingan guna tanah serta berpotensi menstabilkan kecekapan modul melalui persekitaran berair.

Pelaksanaan FPV di atas badan air menuntut kawal selia rapi bagi memastikan keselamatan awam, perlindungan alam sekitar, kualiti air dan biodiversiti, akses komuniti serta integrasi grid diberi perhatian sewajarnya. Garis Panduan ini selaras dengan mandat yang digariskan oleh Kementerian Peralihan Tenaga dan Transformasi Air (PETRA) di bawah kerangka Dasar Tenaga Negara 2022–2040 dan Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara (NETR). Ia juga menyokong Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER) 2021–2035 dalam memperkukuh kapasiti Tenaga Boleh Baharu (TBB) negara melalui pendekatan integratif dan rendah jejak karbon seperti sistem FPV.

1.2.1 Tenaga Boleh Baharu

Teknologi Panel Solar Terapung (FPV) merupakan antara elemen utama yang menyokong agenda peralihan Tenaga Boleh Baharu (TBB) di Malaysia, sejajar dengan aspirasi negara ke arah penjanaan tenaga yang lebih mampan, rendah karbon dan berdaya tahan. Teknologi ini menawarkan penyelesaian inovatif yang memanfaatkan permukaan badan air seperti tasik bekas lombong, tasik terbiar, kolam takungan, empangan air mentah dan takungan air minuman serta empangan hidroelektrik bagi penjanaan tenaga elektrik yang bersih, tanpa menjejaskan kawasan daratan yang terhad atau sensitif. Keupayaan FPV dalam meningkatkan kecekapan penjanaan turut disokong oleh faktor penyejukan semula jadi yang berlaku di atas permukaan air, sekali gus mengurangkan suhu operasi modul dan mempertingkatkan prestasi sistem secara keseluruhan.

Secara umum, pelaksanaan teknologi FPV menawarkan pelbagai kelebihan dari aspek guna tanah dan kelestarian sumber. Kekangan dalam mendapatkan kawasan daratan berskala besar untuk loji solar atas tanah, terutamanya di kawasan berpenduduk padat, perbandaran pesat atau zon sensitif alam sekitar, telah menimbulkan keperluan mendesak untuk meneroka alternatif yang lebih lestari. Dalam hal ini, FPV menjadi penyelesaian yang tidak memerlukan penebangan hutan, penambakan atau penukaran guna tanah pertanian, seterusnya menyokong prinsip pembangunan rendah impak dan pemuliharaan guna tanah.

Namun demikian, beberapa cabaran utama turut dikenal pasti dalam usaha memperluas penggunaan FPV di Malaysia. Ini termasuklah isu kestabilan bekalan TBB yang bersifat tidak berterusan, kos pelaburan awal yang tinggi, keperluan kepada infrastruktur penyimpanan tenaga, serta kerumitan dalam proses kelulusan teknikal, perundangan dan pematuhan rentas agensi. Tahap kesedaran masyarakat dan penerimaan komuniti setempat terhadap teknologi ini juga masih memerlukan pendekatan komunikasi yang lebih inklusif, berasaskan bukti dan berpaksikan manfaat bersama.

Justeru, kejayaan pelaksanaan teknologi FPV dan perluasan TBB secara keseluruhannya memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan bersepadu, melibatkan kerjasama rentas agensi, pematuhan terhadap piawaian teknikal dan alam sekitar, serta penjajaran rapat dengan dasar-dasar utama negara seperti Dasar Tenaga Negara (DTN), MyRER, dan Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara (NETR). Pendekatan ini penting bagi memastikan kelestarian sumber, daya saing ekonomi, serta keseimbangan antara pembangunan dan pemuliharaan ekosistem dalam jangka panjang.

1.2.2 Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER)

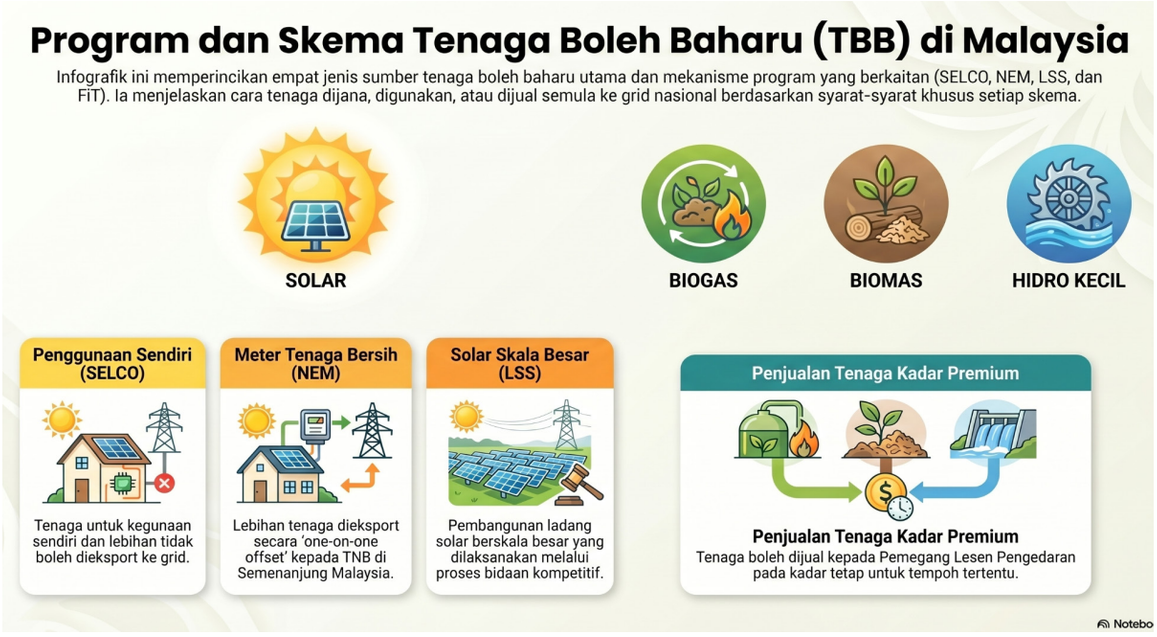
Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER) merupakan inisiatif strategik negara untuk memperkasa pembangunan Tenaga Boleh Baharu (TBB) ke arah keselamatan tenaga, pertumbuhan ekonomi hijau dan pemeliharaan alam sekitar. Di bawah dasar ini, Malaysia menyasarkan agar TBB menyumbang 31% daripada kapasiti penjanaan elektrik nasional menjelang 2025. Pelaksanaan dasar ini telah mencetuskan pelbagai program seperti Tarif Galakan (Feed-in Tariff, FiT), Skim Pemeteran Tenaga

Bersih (Net Energy Metering, NEM) dan Solar Berskala Besar (Large Scale Solar, LSS), yang merangsang pertumbuhan pesat teknologi solar fotovoltaik (PV).

Dalam konteks solar terapung (FPV), MyRER menjadi asas yang membolehkan teknologi ini dikembangkan sebagai pelengkap kepada pembangunan solar atas tanah (ground-mounted). Dengan pertumbuhan pesat permintaan tenaga bersih dan kekangan tanah yang sesuai untuk projek berskala besar, FPV menawarkan penyelesaian strategik melalui pemanfaatan permukaan badan air sedia ada seperti tasik bekas lombong, tasik terbiar, kolam takungan, empangan air mentah dan takungan air minuman serta empangan hidroelektrik.

Teknologi ini juga menyokong matlamat MyRER dengan menambah kapasiti TBB tanpa menjejaskan guna tanah pertanian, penempatan atau perindustrian. Selain itu, FPV berpotensi mengurangkan kehilangan kecekapan penjanaan akibat suhu tinggi, selari dengan objektif Dasar dan Pelan Tindakan Tenaga Boleh Baharu Nasional untuk mempertingkatkan keberkesanan teknologi.

Rajah 1.1: Program Tenaga Boleh Baharu Negara



Sumber: Pihak Berkuasa Pembangunan Tenaga Lestari Malaysia (SEDA) (2019); Program Tenaga Boleh Diperbaharui Negara; Garis Panduan Perancangan Pembangunan Tenaga Solar Negeri Pahang

1.2.3 Pembangunan Solar Panel Terapung

FPV ialah pemasangan modul fotovoltaik pada struktur apungan dengan sistem penambatan **(mooring/anchoring)** yang stabil, dan dihubungkan kepada sistem elektrik (DC/AC, inverter, transformer, pencawang) sebelum disambung ke grid atau pengguna akhir.

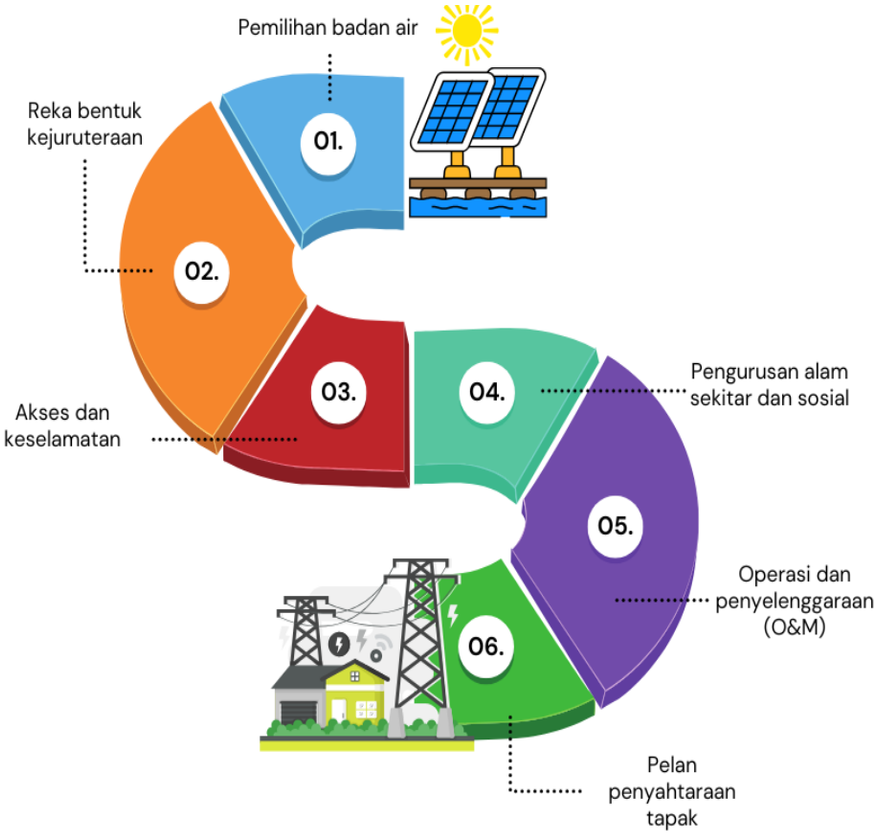
Rajah 1.3: Ladang FPV (10 MW) WD Solar Sdn Bhd di Dengkil, Selangor



Sumber : NAHRIM

Aspek asas yang menjadi skop pengawalseliaan bagi pembangunan FPV adalah:

Rajah 1.2: Skop Pengawalseliaan Pembangunan Panel Solar Terapung



1.3 Skop

Garis Panduan ini memberi tumpuan kepada aspek prinsip perancangan, keperluan teknikal dan mekanisme pelaksanaan bagi pembangunan Panel Solar Terapung (FPV). Secara umumnya, skop garis panduan ini merangkumi aspek-aspek berikut:

Rajah 1.4: Skop garis panduan



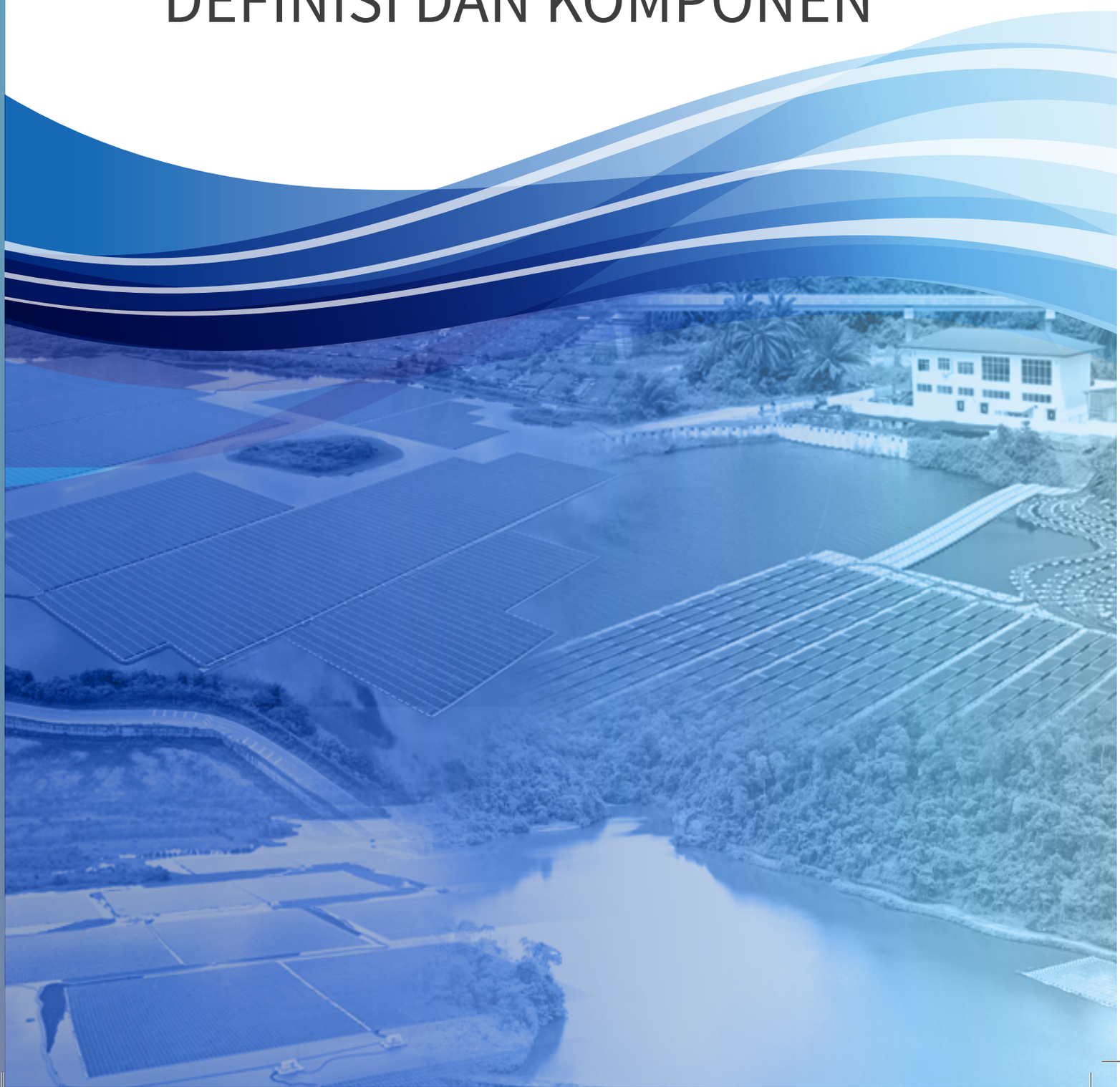
Garis Panduan ini disediakan sebagai rujukan di peringkat Persekutuan dan Negeri untuk penyelarasan pelaksanaan serta penilaian projek pembangunan solar terapung di atas badan air termasuk takungan air, empangan, lombong dan tasik bekalan air di Semenanjung Malaysia.

Walau bagaimanapun, pelaksanaan dan pematuhan kepada dasar, garis panduan serta peruntukan perundangan yang dinyatakan dalam dokumen ini hendaklah mengambil kira bidang kuasa, dasar, tatacara pentadbiran dan perundangan negeri masing-masing, termasuk Negeri Sabah dan Sarawak yang mempunyai autonomi dalam hal ehwal perancangan dan pentadbiran tanah, sumber asli dan tenaga seperti yang termaktub dalam Perlembagaan Persekutuan Malaysia dan Perjanjian Malaysia 1963 (MA63).



BAB 2

DEFINISI DAN KOMPONEN



2.1 Definisi

Garis Panduan ini mentakrifkan ladang solar FPV sebagai aktiviti penjanaan elektrik daripada sumber solar menggunakan panel fotovoltaik (PV) bagi tujuan komersial, yang disambungkan ke grid penghantaran nasional dengan kapasiti penjanaan tidak kurang daripada satu (1) megawatt (MW).

Dalam konteks ladang solar FPV definisi ini turut merangkumi pemasangan sistem PV di atas permukaan air seperti tasik bekas lombong, kolam takungan, empangan air mentah, dan takungan air minuman serta empangan hidroelektrik, dengan semua komponen sistem termasuk modul PV, apungan, sistem penambatan, kabel elektrik dan peralatan sokongan yang berada sebahagiannya di atas air dan sebahagiannya di darat, contohnya pencawang, bangunan kawalan dan sambungan grid.

Aktiviti ladang solar termasuk FPV dikategorikan sebagai guna tanah industri, iaitu Tenaga Boleh Baharu (TBB), sejajar dengan:

Subseksyen 117(1)(a), Kanun Tanah Negara 1965

> ***"Apa-apa tanah yang digunakan atau yang dikehendaki digunakan bagi maksud pengeluaran dan penyebaran kuasa termasuk tenaga solar, hendaklah diklasifikasikan sebagai tanah industri."***

Oleh itu, ladang solar terapung di atas takungan air awam masih tertakluk kepada kelulusan penggunaan tanah atau perairan awam oleh PBN, serta perlu mematuhi keperluan perancangan guna tanah oleh PBT di bawah proses OSC dan keperluan Kebenaran Merancang (KM) di bawah Akta 172.

2.2 Komponen Pembangunan Solar Terapung

2.2.1 Komponen di atas air *(on-water)*

i. Modul fotovoltaik (PV) dan rangka terapung atau *pontoon*/apungan berangkai berfungsi sebagai struktur sokongan kepada susunan modul PV serta menyediakan laluan kerja asas bagi tujuan operasi dan penyelenggaraan. Modul PV merupakan komponen utama yang menukarkan cahaya matahari kepada tenaga elektrik. Secara umum, modul PV terdiri daripada beberapa lapisan dalaman, termasuk lapisan sel fotovoltaik, lazimnya berasaskan silikon, yang berfungsi menukarkan cahaya kepada elektrik; kaca terbaja di bahagian atas sebagai perlindungan fizikal; lapisan enkapsulan seperti *ethylene vinyl acetate* (EVA) bagi melindungi sel PV; backsheet atau helaian belakang sebagai lapisan perlindungan tambahan; bingkai aluminium bagi sokongan struktur; serta kotak simpang (*junction box*) untuk sambungan elektrik.

ii. Sistem penambatan (*mooring/anchoring*) merangkumi kaedah tambatan ke tebing (*bank anchoring*), tambatan ke dasar (*bottom anchoring*) atau gabungan

kedua-duanya secara hibrid, yang direka bentuk berdasarkan keadaan batimetri, turun naik aras air, beban angin dan gelombang serta keadaan geoteknik setempat.

iii. Pengurusan kabel di atas permukaan air melibatkan pemasangan kabel arus terus (*Direct Current, AC*) dan arus ulang-alik (*Alternate Current, AC*) yang diikat atau diapungkan dengan perlindungan mekanikal yang bersesuaian serta sistem pelepasan tegangan yang mencukupi bagi menjamin keselamatan dan kebolehoperasian sistem.

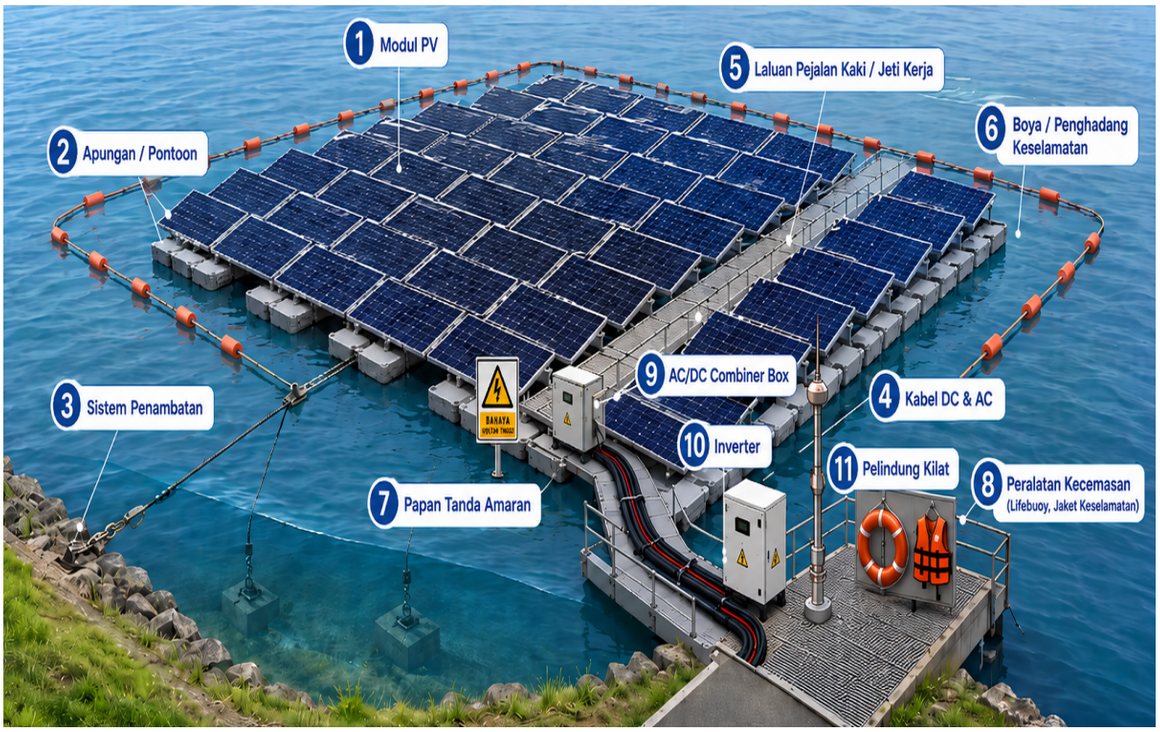
iv. Kemudahan akses dan aspek keselamatan di atas air meliputi penyediaan laluan pejalan kaki terapung atau jeti kerja, boya/penghadang keselamatan, papan tanda amaran serta peralatan kecemasan seperti pelampung penyelamat (*lifebuoy*) dan jaket keselamatan.

Komponen di atas air hendaklah direka bentuk untuk menyokong tatasusunan PV, memastikan kestabilan sistem apungan, menjamin keselamatan operasi dan meminimumkan risiko terhadap kualiti air serta ekosistem badan air.

2.2.2 Komponen di darat/tebing *(on-shore/bankside)*

i. *Inverter, transformer* dan sistem sambungan elektrik yang meliputi pemasangan inverter dan transformer sama ada di tebing atau di platform terapung khas, *switchgear* voltan sederhana (MV), pencawang/PMU serta sambungan ke grid atau pepasangan pengguna.

Rajah 2.1: Gambarajah skematik komponen di atas air *(on-water)*



Sumber : Janaan Aplikasi Kecerdasan Buatan, AI

ii. Bangunan kawalan dan sistem SCADA yang merangkumi penyediaan bangunan kawalan serta sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) bagi tujuan pemantauan data meteorologi dan elektrik, sistem komunikasi serta perlindungan siber asas.

iii. Stesen meteorologi yang merangkumi pemasangan peralatan bagi pengukuran parameter seperti *plane of array* (POA), *global horizontal irradiance* (GHI), suhu modul dan suhu ambien, kelajuan dan arah angin serta kelembapan bagi tujuan analisis prestasi sistem dan keselamatan operasi.

iv. Landskap dan perlindungan visual melibatkan penyediaan penampan landskap secara strategik bagi mengurangkan impak visual serta kesan silau (*glint* dan *glare*), sekiranya berkaitan.

v. Keselamatan tapak meliputi penyediaan pagar perimeter, sistem televisyen litar tertutup (CCTV), kawalan akses, pencahayaan keselamatan serta laluan kecemasan bagi menjamin keselamatan kawasan pemasangan.

vi. Kemudahan operasi dan penyelenggaraan (O&M) merangkumi penyediaan ruang simpanan alat ganti, kawasan kerja yang selamat serta kemudahan parkir atau jeti perkhidmatan bagi menyokong aktiviti operasi dan penyelenggaraan.

2.3 Jenis Solar Terapung

Pemilihan jenis solar terapung yang bersesuaian merupakan antara pertimbangan penting dalam perancangan dan pembangunan projek ladang solar terapung. Setiap jenis teknologi mempunyai ciri reka bentuk, keperluan operasi, tahap penyelenggaraan serta implikasi yang berbeza terhadap penggunaan ruang, keselamatan, kos pembangunan dan kesan kepada persekitaran badan air. Oleh itu,

Rajah 2.2: Gambarajah skematik komponen di darat/tebing (*on-shore/bankside*)



pemilihan teknologi hendaklah dibuat berdasarkan kesesuaian tapak, keperluan teknikal projek, tahap kematangan teknologi serta pematuhan kepada keperluan kawal selia yang ditetapkan oleh agensi berkaitan. Secara amnya, terdapat dua jenis utama sistem solar terapung yang digunakan, iaitu panel solar terapung mendatar dan panel solar terapung menegak.

1. Panel Solar Terapung Mendatar
   Panel solar terapung mendatar adalah jenis yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Panel solar diletakkan di atas pelampung pada kedudukan sedikit condong bagi mengoptimumkan penerimaan cahaya matahari dan memudahkan kerja-kerja operasi serta penyelenggaraan.

Rajah 2.3: Gambar panel solar terapung mendatar (Foto: NAHRIM, Malaysia)



2. Panel Solar Terapung Menegak
   Panel solar terapung menegak merupakan teknologi panel solar terapung yang dibina secara menegak. Teknologi ini, yang diperkenalkan sebagai SKipp oleh Sinn Power, membolehkan cahaya matahari dan oksigen sampai ke permukaan air. Substruktur sistem ini melindungi modul dan membenarkan pergerakan terkawal di bawah beban angin dan perubahan paras air. Jenis panel ini telah mula dipasang di negara Jerman.

Rajah 2.4: Pemandangan panel solar terapung mendatar (Foto: NAHRIM, Malaysia)



Rajah 2.5: Gambar panel solar terapung menegak (Foto: Sinn Power, Jerman)



Jadual 2.1: Kelebihan dan Kelemahan Jenis Panel Solar Terapung

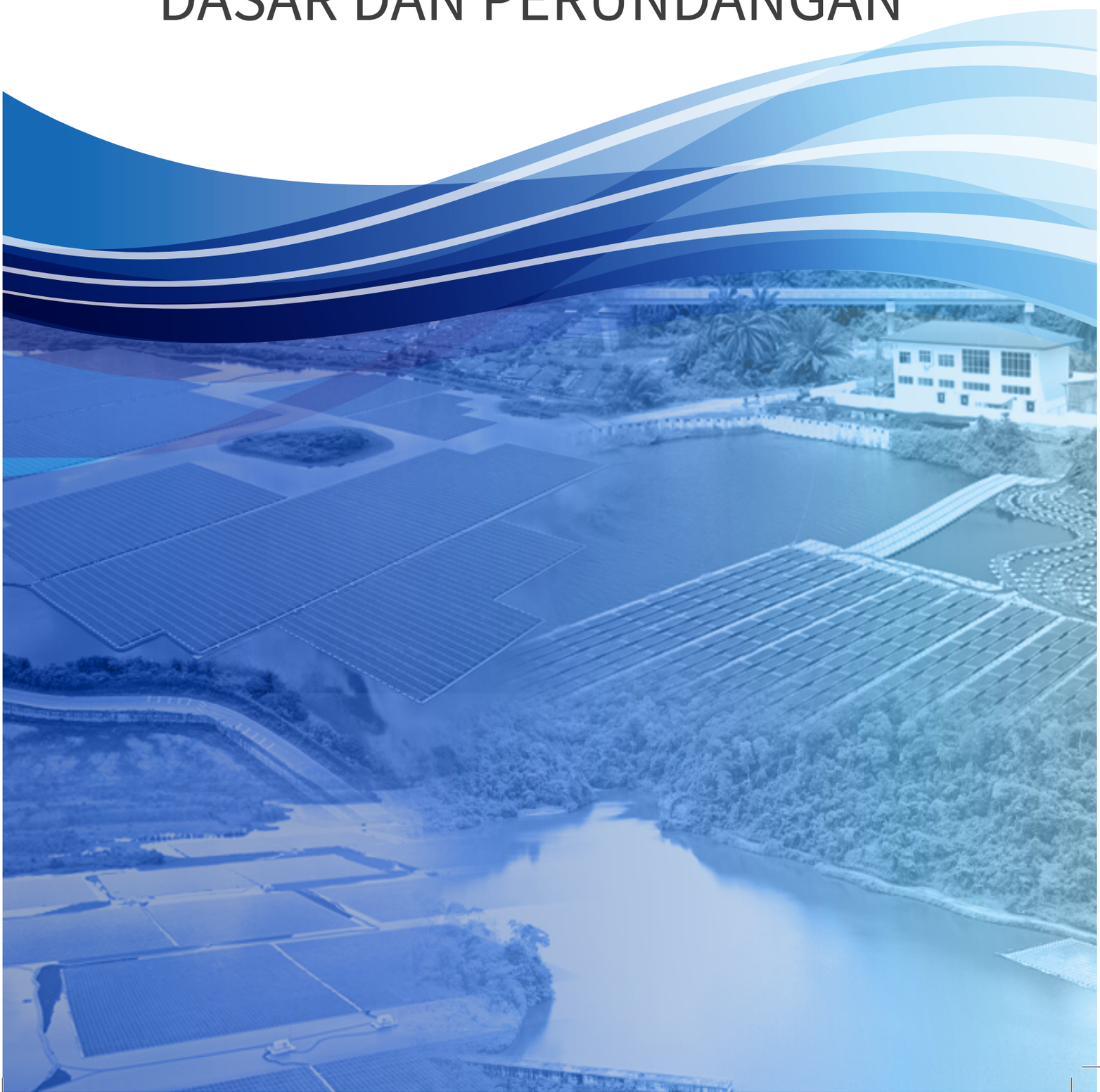
Jenis Panel	Kelebihan	Kelemahan
Panel Solar Terapung Mendatar	Akses kepada modul PV, sistem apungan dan komponen elektrik adalah lebih mudah, sekali gus memudahkan aktiviti operasi, pemeriksaan dan penyelenggaraan berkala.	Memerlukan keluasan permukaan air yang lebih besar bagi mencapai kapasiti penjanaan yang setara.
	Teknologi yang telah matang dan digunakan secara meluas, dengan rekod prestasi operasi yang lebih banyak serta lebih mudah diintegrasikan dengan reka bentuk FPV sedia ada.	Risiko litar pintas (*short-circuit*) dan kerosakan kabel bawah air adalah lebih tinggi sekiranya reka bentuk, pemasangan, perlindungan kabel dan penyelenggaraan tidak dilaksanakan mengikut spesifikasi teknikal yang ditetapkan.
Panel Solar Terapung Menegak	Menggunakan kawasan permukaan air yang lebih kecil dan berpotensi meningkatkan kecekapan penggunaan ruang (*space utilisation efficiency*).	Aktiviti operasi dan penyelenggaraan adalah lebih kompleks berikutan susun atur modul dan struktur yang lebih khusus.
	Mengurangkan kadar litupan permukaan air, sekali gus berpotensi mengurangkan kesan terhadap penembusan cahaya dan pertukaran gas di permukaan air.	Teknologi masih pada peringkat awal pembangunan dan memerlukan penilaian lanjut dari aspek prestasi jangka panjang, kos kitar hayat, penyelenggaraan serta kesesuaian tapak.
	Risiko litar pintas (*short-circuit*) dan kerosakan kabel bawah air berpotensi lebih rendah kerana konfigurasi sistem yang mengurangkan pendedahan komponen elektrik kepada air.	Memerlukan reka bentuk struktur dan sistem penambatan yang lebih kompleks bagi menampung beban angin, tindakan ombak serta turun naik paras air secara selamat dan berkesan.



Rajah 2.6: Pemandangan panel solar terapung menegak (Foto: Sinn Power, Jerman)

BAB 3

DASAR DAN PERUNDANGAN



DASAR DAN PERUNDANGAN

Berikut adalah maklumat dasar, akta, perundangan, enakmen, peraturan dan garis panduan yang terpakai sebagai rujukan bagi projek pemasangan panel solar terapung di atas badan air di Malaysia. Garis Panduan ini disediakan sebagai dokumen rujukan dan penyelarasan di peringkat Persekutuan dan Negeri bagi membantu agensi seperti *Malaysian Investment Development Authority* (MIDA), *Malaysian Green Technology and Climate Change Corporation* (MGTC), Pihak Berkuasa Negeri (PBN), Pihak Berkuasa Tempatan (PBT), agensi teknikal serta pihak berkepentingan lain dalam proses sebelum, semasa dan selepas pemasangan solar terapung.

3.1 Dasar

Rajah 3.1: Dasar Persekutuan yang digunapakai

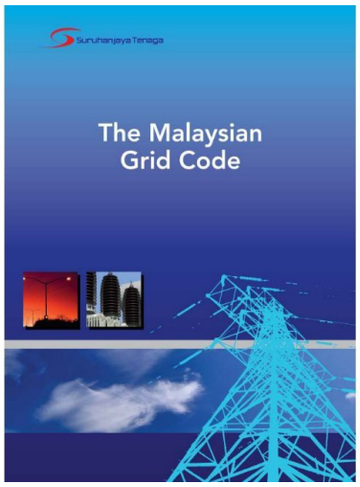


3.2 Akta, Enakmen, Peraturan dan Garis Panduan Berkaitan

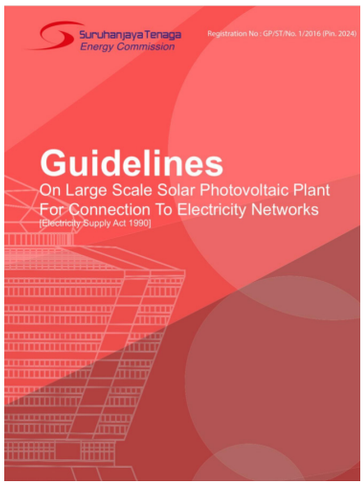
3.2.1 Akta di bawah Sektor Tenaga

1. Kod Grid / Kod Agihan / keperluan utiliti

Kod Grid Malaysia bagi Sistem Grid Nasional dan **Kod Pengagihan** menetapkan spesifikasi teknikal dan prosedur operasi standard bagi semua loji penjana yang disambungkan ke sistem bekalan elektrik. Projek FPV yang disambungkan ke grid perlu mematuhi Kod Grid dan **Kod Pengagihan** sebagai sebahagian daripada syarat sambungan utiliti. Implikasinya, dari sudut kejuruteraan,



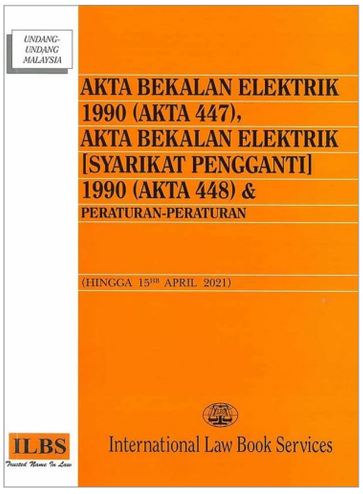
FPV mestilah direka bentuk supaya tidak menjejaskan kestabilan dan kebolehpercayaan grid. Ini termasuk pematuhan kepada parameter kualiti kuasa seperti voltan dan frekuensi, keupayaan *ramping rate*, keperluan perlindungan grid, *relay*, skim nyahcas automatik sekiranya berlaku gangguan, serta integrasi SCADA/telemetri untuk pemantauan sistem oleh pihak utiliti. Kod Grid Malaysia dikuatkuasakan melalui peruntukan Akta Bekalan Elektrik dan syarat lesen penjanaan. Garis Panduan *Electricity Supply Application Handbook* oleh **Tenaga Nasional Berhad (TNB)** turut memperincikan tatacara permohonan sambungan dan keperluan teknikal bagi loji jana elektrik baharu.



2. Guidelines On Large Scale Solar Photovoltaic Plant For Connection To Electricity Networks

Pembangunan LSS mesti mematuhi prinsip 'tidak menjejaskan kestabilan sistem' ('*no adverse impact to the grid*'). Garis panduan menerangkan tanggungjawab pemaju LSS untuk melakukan *Power System Study (PSS)*, memasang sistem perlindungan grid, skim kawalan frekuensi dan voltan, serta menyediakan data ramalan penjanaan.

3. Akta Bekalan Elektrik 1990 dan Peraturan-Peraturan Elektrik



Pemasangan FPV melibatkan penjanaan dan pengagihan elektrik yang mesti mematuhi Akta Bekalan Elektrik 1990, Peraturan-Peraturan Elektrik 1994 dan peraturan-peraturan di bawahnya. Di bawah akta ini, sebarang pepasangan elektrik hendaklah direka bentuk, dipasang dan diselenggara dengan mengutamakan keselamatan serta menurut piawaian teknikal yang ditetapkan. Bagi sistem solar terapung, implikasinya termasuk keperluan menggunakan peralatan elektrik yang diperakui, pendawaian kalis air yang selamat, perlindungan arus bocor dan perlindungan kilat untuk mencegah risiko renjatan elektrik di persekitaran air. Selain itu, keperluan pelesenan penjanaan turut terpakai sekiranya kapasiti FPV melebihi had tertentu, **contohnya melebihi 5 kW untuk kegunaan sendiri atau sebarang kapasiti sekiranya menjual elektrik kepada grid**, tertakluk kepada keperluan dan ketetapan Suruhanjaya Tenaga. Pemaju hendaklah mendapatkan lesen atau kelulusan yang berkaitan sebelum operasi komersial boleh dimulakan.

3.2.2 Akta, Enakmen, Peraturan dan Garis Panduan Berkaitan Peringkat Persekutuan

1. Akta Perancangan Bandar dan Desa 1976 (Akta 172)

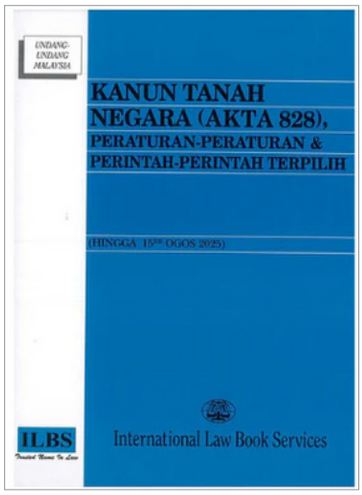


Akta 172 menetapkan bahawa semua tindakan pembangunan memerlukan Kebenaran Merancang (KM) terlebih dahulu daripada pihak berkuasa perancang tempatan. Bagi projek FPV, pemasangan panel solar di atas badan air dianggap sebagai suatu bentuk pembangunan yang tertakluk kepada kawalan perancangan guna tanah / perairan. Ini bermakna pemaju FPV wajib memperoleh KM daripada Pihak Berkuasa Perancang Tempatan (PBPT) sebelum memulakan kerja-kerja projek. Pemakaian akta ini memastikan projek FPV selaras dengan rancangan struktur dan rancangan tempatan yang berkuat kuasa, di samping mengelakkan konflik guna tanah atau perairan sedia ada. Akta 172 [Seksyen 19(1)] memperuntukkan keperluan mendapatkan kebenaran merancang sebelum memulakan kerja pembangunan. Garis panduan perancangan oleh PLANMalaysia turut menekankan supaya projek ladang solar (termasuk FPV) dirancang secara teratur dan mendapat kelulusan merancang yang sah.

2. Akta Kerajaan Tempatan 1976 (Akta 171)

Akta 171 memberikan kerangka kuasa dan tanggungjawab kepada Pihak Berkuasa Tempatan (PBT) dalam mentadbir hal ehwal di peringkat tempatan. Bagi pembangunan FPV, PBT mempunyai peranan penting dari segi penguatkuasaan undang-undang kecil, penjagaan kemudahan awam dan kawalan aktiviti di kawasan pentadbiran pihak berkuasa tersebut. Implikasinya, projek FPV mesti mematuhi semua peraturan dan undang-undang kecil PBT yang berkuat kuasa, termasuk peraturan mengenai struktur sementara, papan tanda, kebersihan persekitaran dan pencegahan kacau ganggu. FPV yang dibangunkan dalam kawasan pentadbiran PBT tidak boleh mencemarkan atau mengganggu kemudahan awam tanpa kebenaran, selaras dengan peruntukan Akta 171 yang menjamin kesejahteraan penduduk setempat.





3. Kanun Tanah Negara

Kanun Tanah Negara (KTN) mengawal selia semua perkara berkaitan tanah di Malaysia, kecuali Sabah dan Sarawak yang mempunyai ordinan tanah masing-masing. Dalam konteks FPV, badan air lazimnya terletak di atas tanah kerajaan atau tanah rizab milik PBN. KTN menetapkan bahawa penggunaan mana-mana tanah kerajaan atau rizab memerlukan kebenaran daripada PBN. Pemaju FPV perlu mendapatkan kelulusan PBN untuk menggunakan permukaan air dan dasar badan air bagi pemasangan struktur terapung dan sistem penambatan. Selain itu, penentuan sempadan tebing dan rizab badan air di bawah KTN adalah penting bagi memastikan komponen FPV seperti sauh, kabel dan struktur sokongan tidak menceroboh tanah milik persendirian bersebelahan atau melanggar rizab tebing yang diwartakan.

"Seksyen 425 KTN melarang pencerobohan tanah kerajaan tanpa kebenaran, manakala Seksyen 62 membolehkan tanah kerajaan diwartakan sebagai rizab (contohnya rizab kolam takungan air)."

4. Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974 dan Perintah/Peraturan berkaitan (EIA, buangan, pelepasan)

Pembangunan FPV berpotensi memberi kesan kepada alam sekitar, khususnya ekosistem badan air dan kualiti air. Di bawah Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974 (AKAS), sebarang projek yang dikategorikan sebagai aktiviti yang ditetapkan perlu menjalani Penilaian Impak Alam Sekeliling (EIA) dan mendapat kelulusan Jabatan Alam Sekitar (JAS) sebelum projek dimulakan. Walaupun pembangunan FPV tidak dinyatakan secara khusus sebagai aktiviti yang ditetapkan di bawah Perintah Kualiti Alam Sekeliling (Penilaian Kesan Kepada Alam Sekeliling) (Aktiviti Yang Ditetapkan) 2015, semakan terhadap mana-mana aktiviti yang ditetapkan yang berkaitan dengan pembangunan projek adalah perlu. Contohnya, projek yang melibatkan kawasan hutan tadahan air, kawasan



yang bersebelahan atau berdekatan dengan taman negeri atau taman negara, pembinaan talian pemancar di kawasan sensitif alam sekitar atau aktiviti lain yang berkaitan hendaklah dirujuk kepada JAS. Selain itu, projek FPV berskala besar seperti yang meliputi kawasan badan air yang luas atau berkapasiti tinggi juga wajar mendapatkan ulasan Penilaian Awal Tapak (PAT) daripada JAS bagi menentukan keperluan EIA. Sekiranya EIA diperlukan, laporan tersebut hendaklah merangkumi penilaian terhadap kualiti air, hidrologi, hidupan akuatik, kesan silau (*glare*) serta impak sosial setempat sebelum projek dimulakan. Selain itu, Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling yang berkaitan perlu dipatuhi sepanjang fasa pembinaan, operasi, penyelenggaraan dan penyahtaraan. Ini termasuk peraturan mengenai kawalan pencemaran air, udara, bunyi bising dan pengurusan buangan. Buangan seperti bateri, panel solar terpakai atau komponen elektrik yang mengandungi bahan berbahaya hendaklah diuruskan mengikut peraturan buangan terjadual yang berkuat kuasa, termasuk Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Buangan Terjadual) 2005.

5. Akta Jalan, Parit dan Bangunan 1974 (Akta 133) dan Undang-Undang Kecil Bangunan Seragam (UKBS/UBBL)

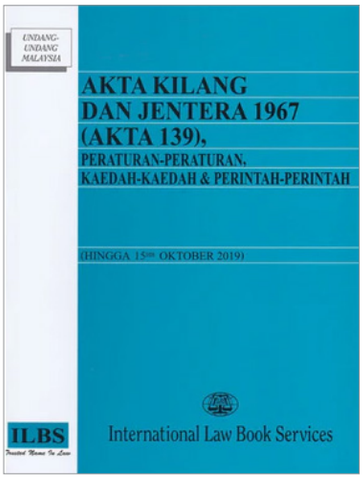
Akta 133 dan Undang-Undang Kecil Bangunan Seragam (UKBS/UBBL) mengawal selia kerja-kerja pembinaan bangunan serta struktur bangunan di Malaysia. Bagi projek FPV, meskipun panel solar dipasang di atas air, komponen infrastruktur di darat seperti bilik kawalan, pencawang elektrik, pejabat tapak, jeti atau pelantar akses adalah tertakluk kepada keperluan Akta 133. Ini bermaksud pelan bangunan perlu diluluskan untuk struktur-struktur tersebut sebelum pembinaannya. Implikasinya, reka bentuk struktur darat hendaklah memenuhi spesifikasi teknikal bangunan, kestabilan struktur, reka bentuk asas, bahan binaan dan keperluan keselamatan UBBL seperti laluan kecemasan, alat pemadam api, pengudaraan serta keperluan mekanikal dan elektrikal.



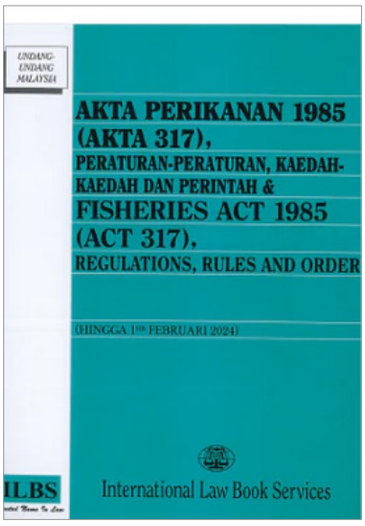
6. Akta Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan 1994 dan Akta Kilang dan Jentera 1967

Projek FPV melibatkan kerja-kerja pembinaan, pemasangan elektrikal, operasi dan penyelenggaraan di persekitaran yang mencabar, khususnya kerja di atas air. Oleh itu, Akta Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan 1994 (AKKP) terpakai bagi memastikan keselamatan dan kesihatan semua pekerja di tapak FPV. Akta ini mewajibkan majikan, pemaju atau kontraktor mengenal pasti bahaya, menilai

risiko dan mengambil langkah kawalan risiko melalui HIRARC sebelum dan semasa aktiviti kerja dijalankan. Implikasinya, termasuk penyediaan peralatan perlindungan diri (PPE), latihan kerja di atas air, prosedur kecemasan, bot penyelamat, pelampung penyelamat dan kit pertolongan cemas di tapak. Akta Kilang dan Jentera 1967 pula terpakai sekiranya jentera berat digunakan di tapak, contohnya kren mudah alih, winch penambat atau mesin angkat. Jentera berkaitan hendaklah diperiksa, didaftarkan jika berkenaan dan dikendalikan oleh operator bertauliah.



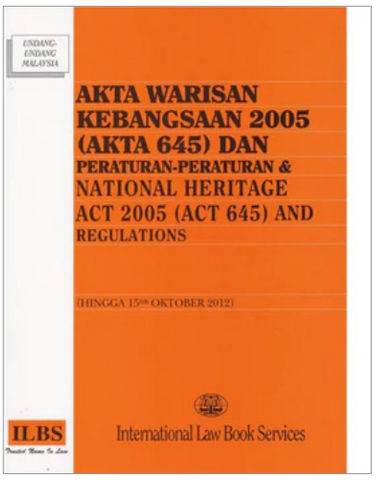
7. Akta Perikanan 1985



Bagi projek FPV, Akta Perikanan 1985 perlu diambil kira terutamanya sekiranya badan air berkenaan merupakan sumber perikanan semula jadi, kawasan akuakultur atau kawasan rekreasi memancing. Pemasangan FPV tidak boleh mengakibatkan kemusnahan habitat akuatik atau mengganggu aktiviti penangkapan ikan yang diusahakan komuniti setempat tanpa langkah mitigasi yang bersesuaian. Perancangan FPV hendaklah mengambil kira potensi kesan litupan panel terhadap penembusan cahaya, tumbuhan akuatik, plankton, habitat ikan dan aktiviti perikanan sedia ada. Sekiranya terdapat pengusaha akuakultur seperti sangkar ikan, perundingan awal dan penetapan zon guna sama hendaklah dilaksanakan bagi mengelakkan konflik guna.

8. Akta Warisan Kebangsaan 2005 (Akta 645)

Pembangunan FPV perlu mengambil kira kesan terhadap tapak warisan budaya atau semula jadi yang berdekatan. Sekiranya tapak projek terletak berhampiran atau di dalam kawasan yang diwartakan sebagai Warisan Kebangsaan, pemaju wajib mematuhi peraturan Akta 645. Sebarang kerja pembinaan atau perubahan guna tanah dalam tapak warisan memerlukan kebenaran bertulis Pesuruhjaya Warisan sebelum KM diluluskan. Pemaju juga perlu menyerahkan maklumat projek kepada Jabatan Warisan Negara untuk semakan impak terhadap elemen warisan, sekiranya berkaitan.



9. Akta Kawasan Larangan dan Tempat Larangan 1959 [Akta 298]

Empangan bekalan air yang diisytiharkan sebagai kawasan larangan atau tempat larangan adalah tertakluk kepada Akta Kawasan Larangan dan Tempat Larangan 1959 [Akta 298]. Dalam konteks FPV, akta ini berkaitan sekiranya lokasi cadangan pemasangan terletak dalam kawasan yang telah diwartakan atau dikenal pasti sebagai kawasan larangan atau tempat larangan. Sehubungan itu, sebarang cadangan pembangunan FPV di kawasan berkenaan hendaklah dirujuk terlebih dahulu kepada pihak berkuasa berkaitan untuk pertimbangan dan kelulusan, termasuk keperluan semakan keselamatan, justifikasi penggunaan kawasan serta pematuhan kepada tatacara yang ditetapkan dari semasa ke semasa.


UNDANG-UNDANG MALAYSIA

AKTA 298

KAWASAN LARANGAN DAN TEMPAT LARANGAN 1959

Meliputi semua perubahan sehingga 31 Ogos 2001

10. Akta Orang Asli 1954 di Semenanjung Malaysia (JAKOA)

Akta Orang Asli 1954 memperuntukkan perlindungan khas terhadap tanah, budaya dan hak masyarakat Orang Asli di Semenanjung Malaysia. Dalam konteks pembangunan FPV, mana-mana badan yang terletak berhampiran atau di dalam kawasan penempatan Orang Asli memerlukan penelitian khusus. Ini termasuk semakan sama ada lokasi projek dicadangkan terletak dalam kawasan rizab Orang Asli atau tanah adat yang diiktiraf secara tradisi. Sebarang cadangan pembangunan FPV yang menyentuh kawasan ini perlu mendapatkan kebenaran rasmi daripada JAKOA dan, sekiranya berkaitan, memerlukan pemeriksaan lapangan, rundingan awam serta Penilaian Impak Sosial (SIA).

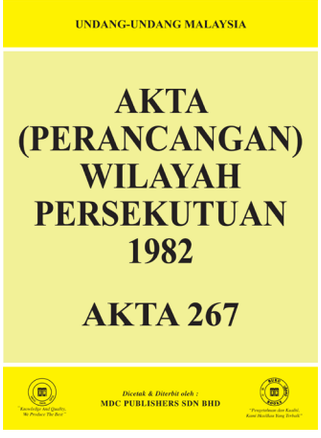

UNDANG-UNDANG MALAYSIA

AKTA ORANG ASLI 1954 (DISEMAK-1974)

AKTA 134

Dicetak & Diterbit oleh :
MDC PUBLISHERS SDN BHD

11. Akta (Perancangan) Wilayah Persekutuan 1982 (Akta 267)


UNDANG-UNDANG MALAYSIA

AKTA (PERANCANGAN) WILAYAH PERSEKUTUAN 1982

AKTA 267

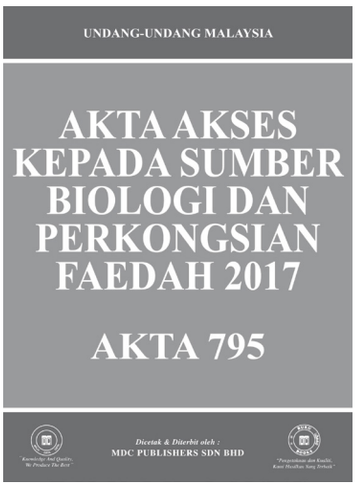
Dicetak & Diterbit oleh :
MDC PUBLISHERS SDN BHD

Akta ini memperuntukkan kuasa perancangan bandar kepada pihak berkuasa Wilayah Persekutuan seperti DBKL, Perbadanan Putrajaya dan Perbadanan Labuan dalam menentukan kelulusan serta kawal selia aktiviti guna tanah termasuk pembangunan ladang solar terapung. Sekiranya tapak FPV berada dalam Wilayah Persekutuan, permohonan perlu dibuat kepada pihak berkuasa perancangan tempatan mengikut peruntukan Akta 267, termasuk penyediaan Pelan Kebenaran

Merancang, Pelan Struktur dan Pelan Tempatan. Sebarang perubahan guna tanah atau pembangunan atas air yang memerlukan komponen daratan seperti pencawang grid, laluan kabel atau bangunan kawalan juga tertakluk kepada proses OSC di bawah akta ini.

12. Akta Akses kepada Sumber Biologi dan Perkongsian Faedah 2017 (Akta 795)

Akta ini diwujudkan bagi memastikan penggunaan sumber biologi seperti flora, fauna dan mikroorganisma dilakukan secara bertanggungjawab dengan faedah yang dikongsi bersama komuniti pemilik tradisional sumber tersebut. Pemasangan FPV di kawasan badan air yang mengandungi sumber biodiversiti tempatan dengan spesies ikan asli, tumbuhan akuatik atau kawasan pemuliharaan hendaklah mengambil kira keperluan penilaian dan kebenaran di bawah Akta 795, sekiranya berkaitan.



13. Standard Kualiti Air Minum Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM)

Walaupun bukan merupakan akta khusus, Standard Kualiti Air Minum Malaysia yang diterbitkan oleh Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM) berfungsi sebagai rujukan teknikal yang penting, khususnya bagi pembangunan FPV yang terletak di atas badan air bekalan air minum atau empangan air mentah. Panel solar berpotensi memberi kesan terhadap kualiti air seperti perubahan suhu permukaan, pengurangan oksigen terlarut atau potensi bahan cemar daripada sistem elektrik dan penambatan. Oleh itu, pembangunan FPV di badan air perlu diselaraskan dengan parameter yang ditetapkan oleh KKM, termasuk had logam berat, bahan kimia, mikrobiologi dan parameter fizikal seperti warna, kekeruhan dan bau.

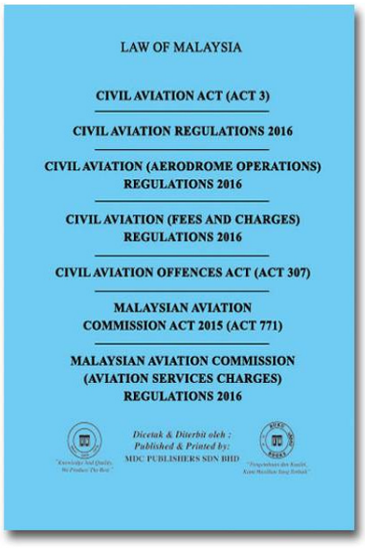
14. Akta Perkhidmatan Industri Air 2006 (Akta 655)

Akta 655 mewujudkan kerangka kawal selia bagi industri perkhidmatan air di Semenanjung Malaysia dan Wilayah Persekutuan Labuan. Walaupun akta ini terfokus kepada operator air dan pembetungan, ia turut mempunyai implikasi terhadap pembangunan FPV yang dijalankan di atas takungan air bekalan atau empangan air minuman. Sebarang aktiviti dalam kawasan tadahan atau takungan yang boleh menjejaskan keselamatan aset bekalan air atau kualiti air mentah hendaklah dipantau dan dikawal



selia. FPV yang dipasang di empangan bekalan air mesti memastikan operasinya tidak mengganggu fungsi utama takungan tersebut sebagai sumber air mentah kepada loji rawatan air.

15. **Peraturan-Peraturan Penerbangan Awam (Pengendalian Aerodrom) 2016 dan arahan piawaian CAAM berkaitan halangan penerbangan.**



Sebarang struktur ladang solar termasuk panel terapung, menara transmisi atau peralatan lain yang berdekatan dengan lapangan terbang hendaklah mematuhi had ketinggian yang ditetapkan oleh *Civil Aviation Authority of Malaysia* (CAAM). Ini bagi memastikan pembangunan FPV tidak menimbulkan bahaya kepada navigasi udara termasuk mengelakkan kesan silau atau *glare* yang boleh mengganggu pandangan juruterbang.

16. **Garis panduan Perancangan Pembangunan Ladang Solar - PLANMalaysia**



Garis Panduan Perancangan Pembangunan Ladang Solar - PLANMalaysia disediakan sebagai panduan kepada Pihak Berkuasa Negeri (PBN), Pihak Berkuasa Tempatan (PBT) di Semenanjung Malaysia serta semua pihak berkepentingan yang terlibat dalam proses perancangan, reka bentuk dan kawalan pembangunan ladang solar atas tanah dan ladang solar atas air. Garis Panduan Perancangan (GPP) Pembangunan Ladang Solar ini turut merangkumi aspek perancangan tapak bagi pembangunan ladang solar atas air dengan memberi penekanan kepada faktor lokasi dan jenis badan air, aksesibiliti, ciri topografi, hidrologi serta batimetri badan air bagi memastikan kesesuaian dan keselamatan pembangunan.

17. **Garis Panduan Keselamatan Kebakaran bagi Pemasangan Sistem Solar Fotovoltaik (terbitan JBPM, 2024)**

Garis Panduan Keselamatan Kebakaran bagi Pemasangan Sistem Solar Fotovoltaik yang diterbitkan oleh Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia (JBPM) pada masa ini disediakan bagi pemasangan sistem solar fotovoltaik di bangunan. Walau bagaimanapun, sehingga kini belum terdapat garis panduan

keselamatan kebakaran yang khusus dikeluarkan bagi pembangunan FPV. Sehubungan itu, bagi tujuan perancangan, reka bentuk, pemasangan, operasi dan penyelenggaraan FPV, prinsip-prinsip keselamatan yang terkandung dalam garis panduan ini boleh diguna pakai sebagai rujukan yang bersesuaian. Antara aspek yang perlu diberi perhatian termasuk pencegahan kebakaran, akses pasukan bomba semasa kecemasan, keselamatan elektrik, penyediaan laluan akses dan ruang kerja yang selamat, lokasi suis pemutus kecemasan, pelabelan keselamatan, sistem *rapid shutdown*, serta keperluan pengasingan dan perlindungan peralatan elektrik.


JABATAN BOMBA DAN PENYELAMAT MALAYSIA

GARIS PANDUAN KESELAMATAN KEBAKARAN BAGI PEMASANGAN SISTEM SOLAR FOTOVOLTAIK DI ATAS BUMBUNG

3.2.3 Akta, Perundangan dan Enakmen Negeri

1. Perundangan sumber air negeri

Perundangan sumber air negeri, contohnya Enakmen atau Peraturan Sumber Air serta agensi seperti Lembaga Urus Air Selangor (LUAS), menetapkan keperluan lesen atau permit bagi aktiviti di badan air, kawalan pengabstrakan, pelepasan dan kerja dalam rizab air. Sumber air seperti sungai, tasik, takungan air dan empangan terletak di bawah bidang kuasa Kerajaan Negeri. Kebanyakan negeri di Semenanjung Malaysia mempunyai enakmen atau ordinan tersendiri bagi mengawal selia penggunaan sumber air. Bagi pembangunan FPV, ini bermakna pemaju mesti mendapatkan kebenaran rasmi untuk meletakkan struktur apungan di atas badan air, menjalankan kerja-kerja di dasar atau tebing seperti penambatan sauh, serta mendapatkan kebenaran lain yang berkaitan sekiranya melibatkan pengabstrakan air, pelepasan atau aktiviti sokongan projek. Enakmen negeri lazimnya juga melarang pencemaran sumber air. Oleh itu, pemaju FPV hendaklah memastikan tiada pelepasan bahan cemar seperti minyak, bahan kimia daripada peralatan atau kelodak ke dalam badan air, selari dengan standard kualiti air yang ditetapkan oleh negeri.

2. Enakmen Negeri

Semua negeri di Semenanjung Malaysia mempunyai enakmen sendiri yang menetapkan peraturan melibatkan tanah dan air mengikut negeri masing-masing. Oleh itu, pemaju FPV hendaklah menyemak dan mematuhi kehendak enakmen negeri yang berkuat kuasa bagi lokasi projek yang dicadangkan.

3. Garis Panduan Peringkat Negeri

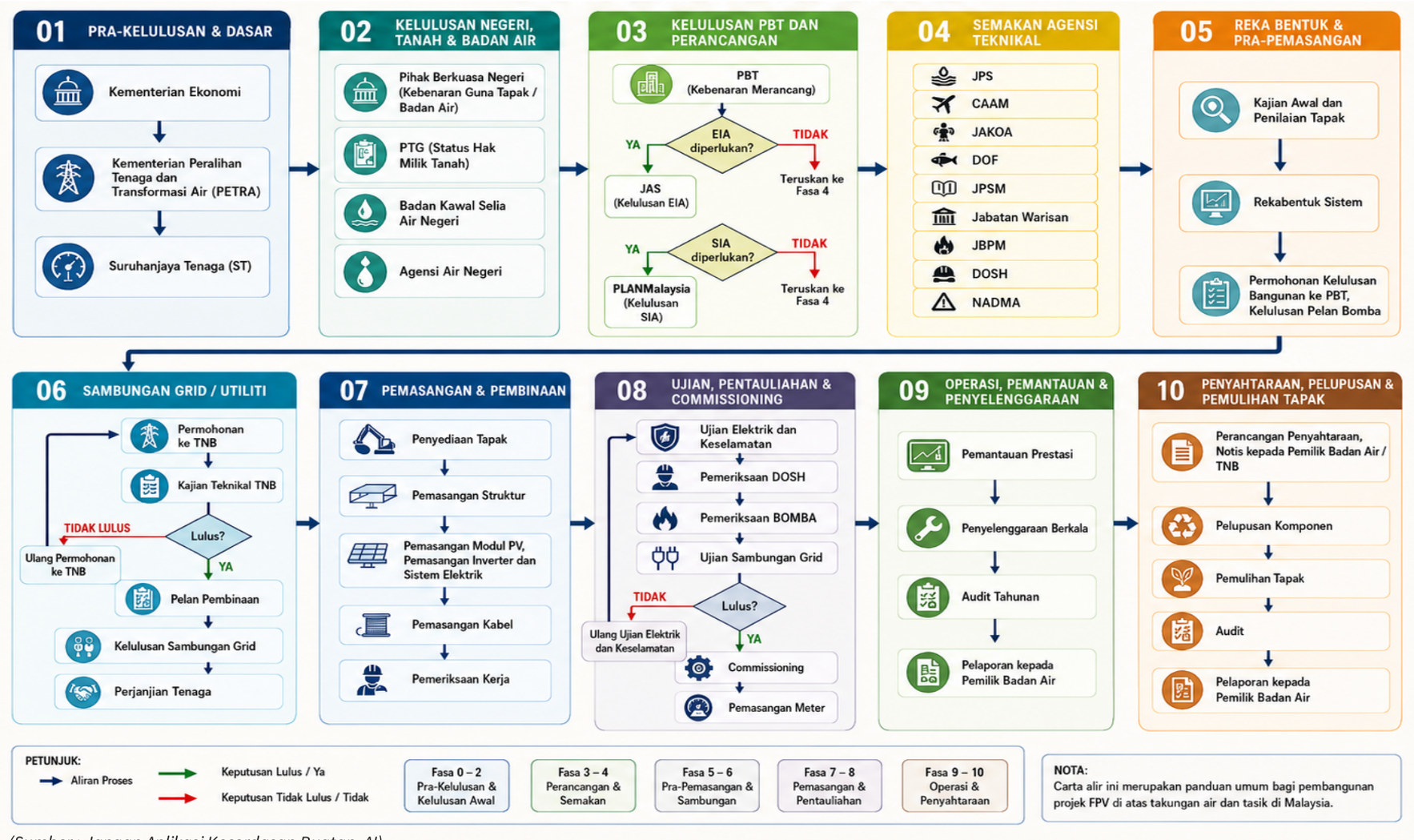
Garis panduan perancangan ladang solar di peringkat negeri diterbitkan oleh PLANMalaysia Negeri atau agensi negeri berkaitan dengan mengambil kira

enakmen negeri yang berkuat kuasa bagi tujuan kawal selia penggunaan tanah dan perairan dalam bidang kuasa kerajaan negeri. Garis panduan negeri lazimnya menetapkan keperluan dari segi syarat zon penggunaan tanah, keluasan minimum atau optimum tapak, kelulusan KM, penilaian kesan visual, akses, sensitiviti persekitaran, perlindungan kawasan tadahan, kawasan warisan dan kawasan rizab. Pembangunan FPV khususnya yang melibatkan badan air hendaklah mematuhi keperluan teknikal, keselamatan, alam sekitar serta perundangan negeri yang berkaitan.

> ***Garis Panduan ini disediakan sebagai rujukan di peringkat Persekutuan untuk penyelarasan pelaksanaan projek sistem solar terapung (Floating Photovoltaic, FPV) di atas badan air termasuk takungan air, empangan dan tasik bekalan air di Semenanjung Malaysia. Walau bagaimanapun, pelaksanaan dan pematuhan kepada dasar, garis panduan serta peruntukan perundangan yang dinyatakan dalam dokumen ini tidak terpakai secara automatik kepada Negeri Sabah dan Sarawak, memandangkan kedua-dua negeri tersebut mempunyai autonomi tersendiri dalam hal ehwal perancangan dan pentadbiran tanah, sumber asli dan tenaga, seperti yang termaktub dalam Perlembagaan Persekutuan Malaysia dan Perjanjian Malaysia 1963 (MA63).***

3.3 Bidang kuasa dan Autoriti

Jadual 3.1: Carta alir bidang kuasa dan autoriti pembangunan FPV



(Sumber : Janaan Aplikasi Kecerdasan Buatan, AI)



BAB 4

PERANCANGAN



4.1 Terancang dan Teratur

Pembangunan FPV hendaklah dirancang secara bersepadu dan teratur, mematuhi proses perancangan yang berkuat kuasa serta tatacara kelulusan di peringkat pihak berkuasa tempatan. Urutan kerja hendaklah ditunjukkan dengan jelas bermula daripada kajian kebolehlaksanaan dan pra-perundingan agensi, diikuti permohonan Kebenaran Merancang (KM/KMTT), penyediaan pelan kejuruteraan dan pelan bangunan/permit, seterusnya pelaksanaan pembinaan (*construction*), pentauliahan (*commissioning*), operasi (*operation*) dan penyahtaraan (*decommissioning*).

Bagi memastikan pembangunan dilaksanakan secara teratur, susun atur keseluruhan sistem, termasuk komponen di atas air dan di tebing, jajaran kabel serta penempatan peralatan elektrik utama hendaklah dibuktikan selaras dengan keperluan utiliti dan akses kecemasan. Pengurusan risiko pula hendaklah berasaskan data garis dasar yang relevan dengan tapak, termasuk data radiasi solar, keadaan hidrologi, arus, angin, batimetri dan kualiti air.

Penekanan terhadap keperluan khusus FPV seperti reka bentuk sistem apungan, sistem penambatan atau penjangkaran, perlindungan kilat, pembumian serta keselamatan elektrik hendaklah ditunjukkan pada peringkat perancangan bagi mengurangkan risiko semasa pembinaan dan operasi.

Sepanjang proses perancangan dan kelulusan pembangunan FPV, penglibatan pelbagai agensi kawal selia adalah penting bagi menjamin keselamatan struktur, keserasian guna tanah dan perlindungan alam sekitar. Pra-perundingan hendaklah melibatkan sekurang-kurangnya pihak One Stop Centre (OSC) yang menyelaras permohonan perancangan bersama Pihak Berkuasa Tempatan (PBT).

Dalam konteks badan air kerajaan, peranan Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) adalah penting sebagai pemilik, pengendali atau penyelia empangan dan takungan air, tertakluk kepada pemilikan dan bidang kuasa badan air berkenaan. Bagi kawasan bekas lombong, Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG) hendaklah dirujuk untuk mendapatkan maklumat berkaitan keadaan geologi, kestabilan tanah dasar dan maklumat teknikal lain yang berkaitan.

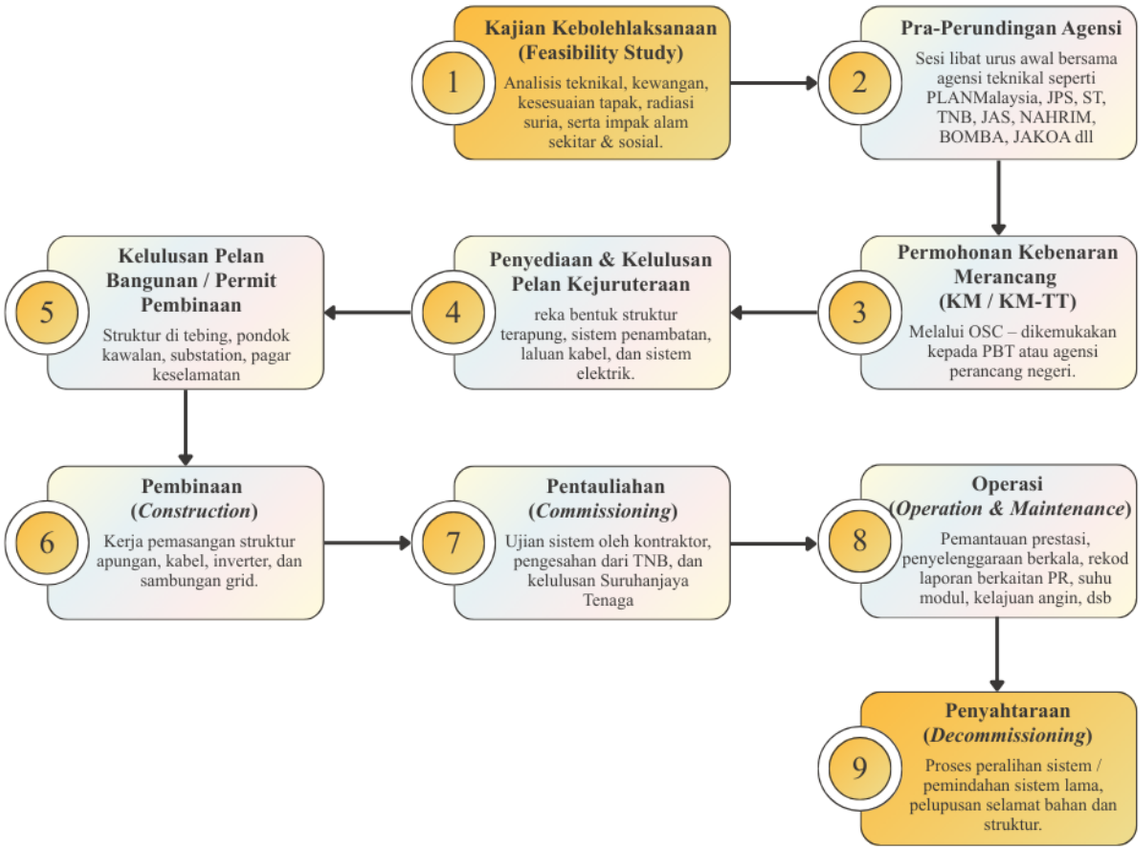
Pemasangan sistem elektrik dan penyambungan ke grid memerlukan penglibatan Suruhanjaya Tenaga (ST) serta syarikat utiliti seperti Tenaga Nasional Berhad (TNB). Aspek keselamatan kebakaran dan akses kecemasan memerlukan input daripada Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia (JBPM), manakala keperluan penyediaan Laporan Penilaian Kesan kepada Alam Sekeliling (EIA) hendaklah dirujuk kepada Jabatan Alam Sekitar (JAS), sekiranya projek tertakluk kepada keperluan tersebut.

Sekiranya lokasi pembangunan terletak berhampiran atau melibatkan kawasan warisan, kawasan penempatan Orang Asli atau kawasan sensitif yang berkaitan,

kelulusan, ulasan atau pandangan tambahan daripada Jabatan Warisan Negara, Jabatan Kemajuan Orang Asli (JAKOA) serta agensi berkaitan hendaklah diperoleh.

Kesemua proses ini hendaklah disepadukan secara menyeluruh dengan garis panduan dan dasar berkaitan yang diterbitkan oleh Kementerian Peralihan Tenaga dan Transformasi Air (PETRA), termasuk Pelan Hala Tuju Peralihan Tenaga Negara (NETR) dan Pelan Hala Tuju Tenaga Boleh Baharu Malaysia (MyRER), bagi memastikan projek FPV selaras dengan aspirasi peralihan tenaga negara.

Rajah 4.1: Carta alir proses perancangan dan kelulusan Pembangunan FPV



4.2 Manfaat Sosio-Ekonomi

Pelaksanaan projek hendaklah memberi nilai tambah kepada komuniti setempat tanpa menimbulkan beban kos yang tidak wajar kepada isi rumah, khususnya golongan berpendapatan rendah. Cadangan pembangunan hendaklah memperincikan manfaat sosio-ekonomi setempat yang munasabah, termasuk peluang pekerjaan, pemindahan kemahiran, pembangunan kapasiti serta penglibatan komuniti dalam aktiviti operasi dan penyelenggaraan.

Pada masa yang sama, pelaksanaan projek hendaklah memastikan tiada implikasi yang menjejaskan perkhidmatan awam dan aktiviti sedia ada di kawasan badan air. Peluang ekonomi yang boleh dipertimbangkan termasuk pengambilan dan

latihan penduduk setempat bagi pekerjaan am dan separuh mahir, penyediaan perkhidmatan pengangkutan air, bekalan makanan, penginapan dan perkhidmatan sokongan kepada kontraktor luar.

Sesi libat urus bersama penduduk dan pemegang taruh hendaklah dilaksanakan sebelum pembangunan dimulakan. Mekanisme bagi menerima, merekod dan menangani rungutan atau isu penduduk setempat juga hendaklah diwujudkan dengan penglibatan PBT serta agensi berkaitan secara berkala.

Perancangan FPV digalakkan mengambil kira pengoptimuman infrastruktur sedia ada serta potensi peningkatan kecekapan operasi akibat persekitaran berair, termasuk kesan penyejukan dan kemudahan akses kepada air bagi tujuan pembersihan, selaras dengan amalan terbaik yang bersesuaian.

Penambahbaikan infrastruktur jalan sedia ada hendaklah dilaksanakan sekiranya laluan projek melalui kawasan komuniti. Infrastruktur jalan atau laluan akses khas pula hendaklah disediakan bagi kawasan sensitif, kawasan keselamatan atau kawasan larangan, tertakluk kepada keperluan pihak berkuasa yang berkaitan.

4.3 Persepsi dan Penerimaan

Penerimaan masyarakat terhadap projek FPV dipengaruhi oleh kejelasan maklumat, ketelusan proses perancangan serta keberkesanan langkah mitigasi risiko. Sehubungan itu, pelan libat urus hendaklah dikemukakan secara terancang, inklusif dan responsif.

Pelan tersebut hendaklah merangkumi penyampaian maklumat projek dalam bentuk yang mudah difahami dan diakses oleh komuniti, termasuk gambaran visual projek dari kawasan tebing. Maklumat juga hendaklah merangkumi penjelasan mengenai langkah mitigasi berkaitan keselamatan air, akses rekreasi, aktiviti perikanan, kesan kilau dan silau serta tatacara komunikasi risiko ketika cuaca ekstrem atau kecemasan.

Mekanisme aduan dan prosedur penyelesaian hendaklah dinyatakan dengan jelas, termasuk saluran aduan, pihak yang bertanggungjawab dan tempoh maklum balas yang munasabah. Rekod aduan serta tindakan pembetulan hendaklah disimpan dan dijadikan sebahagian daripada pelaporan operasi kepada pihak berkuasa berkaitan.

Penerimaan sosial dan penglibatan komuniti secara berterusan hendaklah dianggap sebagai antara faktor penting bagi memastikan pembangunan serta pengoperasian projek FPV dapat dilaksanakan secara mampan.

4.4 Faktor Penentu Sokongan

Sokongan masyarakat setempat terhadap pembangunan FPV lazimnya dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

i. Keadilan dalam akses dan penggunaan ruang badan air.
ii. Jaminan perlindungan alam sekitar.
iii. Manfaat yang nyata kepada komuniti setempat.
iv. Ketelusan dalam proses perancangan, pelaksanaan dan pemantauan projek.

Perancangan dan reka bentuk projek hendaklah meminimumkan sekatan yang tidak wajar terhadap aktiviti sah di badan air. Zon larangan atau zon keselamatan hendaklah ditetapkan secara munasabah berdasarkan keperluan keselamatan, operasi, penyelenggaraan dan perlindungan aset.

Jaminan perlindungan alam sekitar hendaklah dibuktikan melalui pelan pemantauan kualiti air dan biodiversiti yang menetapkan parameter pemantauan, kekerapan pemantauan, ambang tindakan dan langkah mitigasi yang jelas. Pelan tersebut hendaklah mengambil kira potensi impak dan manfaat FPV, termasuk perubahan terhadap kadar penyejatan, pertumbuhan alga, suhu air, oksigen terlarut dan kecekapan modul solar.

Manfaat nyata kepada komuniti, termasuk peluang pekerjaan tempatan, pembangunan kemahiran, peningkatan kemudahan tebing, jeti atau infrastruktur sokongan, hendaklah didokumenkan. Pelaksanaan manfaat tersebut hendaklah disertakan dengan mekanisme pelaporan yang telus dan boleh diaudit.

4.5 Biodiversiti Badan Air

Pembangunan FPV di atas permukaan badan air hendaklah mengambil kira kepentingan biodiversiti akuatik dan ekosistem riparian. Biodiversiti badan air merangkumi pelbagai spesies flora dan fauna, termasuk ikan asli, plankton, makroinvertebrata, burung air dan tumbuhan akuatik yang berfungsi sebagai indikator ekologi serta menyokong kestabilan sistem akuatik.

Sebelum pelaksanaan projek, penilaian garis dasar biodiversiti hendaklah dilaksanakan. Penilaian tersebut hendaklah merangkumi inventori spesies, status pemuliharaan, termasuk status di bawah *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* (CITES), *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) atau spesies dilindungi di bawah Akta Pemuliharaan Hidupan Liar 2010 [Akta 716], serta pemetaan habitat kritikal, sekiranya berkaitan. Projek FPV berpotensi memberi kesan terhadap komposisi komuniti akuatik akibat perubahan pencahayaan atau teduhan (*shading*), suhu air, corak arus, pertukaran gas serta potensi pencemaran semasa kerja pemasangan, operasi dan penyelenggaraan.

Sehubungan itu, indikator biodiversiti air seperti kelimpahan dan kepelbagaian spesies ikan, kehadiran spesies bioindikator seperti Chironomidae dan Ephemeroptera serta indeks kualiti biologi hendaklah dipertimbangkan dalam pelan pemantauan projek. Data pemantauan ini boleh digunakan sebagai asas bagi menetapkan ambang tindakan (*trigger levels*) dan langkah mitigasi.

Langkah mitigasi boleh merangkumi pelarasan susun atur dan kadar litupan panel, pewujudan zon perlindungan biodiversiti, laluan pergerakan fauna, zon larangan bot atau reka bentuk jeti yang bersesuaian.

Senarai spesies utama di kawasan pembangunan, sekiranya tersedia, hendaklah didokumenkan dan dipantau secara berkala, contohnya setiap enam bulan atau berdasarkan perubahan musim dan keperluan ekologi tapak. Pemantauan berkala membolehkan impak jangka panjang dikenal pasti serta keperluan intervensi atau tindakan pembetulan dipertimbangkan.

Sebarang pelepasan air semasa pembinaan, perubahan operasi empangan atau penurunan paras air takungan hendaklah mengambil kira musim dan tempoh pembiakan utama spesies akuatik.

Sesi libat urus bersama Jabatan Perikanan Malaysia, Jabatan Perlindungan Hidupan Liar dan Taman Negara (PERHILITAN), NGO pemuliharaan, institusi penyelidikan serta komuniti nelayan air tawar hendaklah dipertimbangkan bagi memastikan kepentingan biodiversiti dan komuniti berkaitan diambil kira dalam pembangunan FPV secara lestari.

BAB 5

PENGENALPASTIAN TAPAK



5.1 Pengenalan

Perancangan tapak bagi pembangunan FPV memerlukan pendekatan yang teliti, bersepadu dan berasaskan penilaian khusus tapak. Pendekatan ini penting bagi memastikan pembangunan yang dicadangkan tidak menjejaskan fungsi utama badan air serta mengekalkan nilai estetika semula jadi persekitaran. Fokus utama dalam perancangan tapak merangkumi lokasi dan jenis badan air, kebolehcapaian serta ciri-ciri fizikal dan persekitaran seperti topografi, hidrologi dan batimetri. Penilaian menyeluruh terhadap faktor-faktor tersebut adalah penting bagi menjamin kesesuaian tapak, keselamatan struktur dan kelestarian pelaksanaan projek dalam jangka panjang.

Secara umum, metodologi pemilihan tapak adalah seumpama pembangunan PV di daratan. Walau bagaimanapun, pembangunan FPV memerlukan pertimbangan tambahan terhadap dinamik badan air. Sehubungan itu, penilaian tapak hendaklah mengambil kira enam (6) kategori utama berikut:

1. Iklim dan keadaan tapak, merangkumi intensiti sinaran matahari, suhu persekitaran, corak angin serta potensi kejadian cuaca ekstrem yang boleh mempengaruhi kecekapan sistem dan ketahanan struktur.
2. Ciri-ciri badan air, merangkumi kedalaman atau batimetri, kualiti air, turun naik paras air, kadar sejatan, pola arus, sedimentasi dan kestabilan tebing.
3. Akses ke lokasi, termasuk kemudahan pengangkutan, logistik pembinaan dan penyelenggaraan, laluan kecemasan serta keupayaan penyambungan kepada sistem grid elektrik sedia ada.
4. Faktor sosio-ekonomi setempat, termasuk impak terhadap komuniti, tahap kebergantungan terhadap badan air, aktiviti ekonomi sedia ada dan penerimaan sosial.
5. Status dan keluasan tanah, termasuk status pemilikan, guna tanah serta keperluan kawasan daratan bagi pembinaan kemudahan sokongan seperti bangunan kawalan, pencawang, pejabat operasi dan laluan akses.
6. Keperluan penilaian impak, termasuk Penilaian Kesan kepada Alam Sekeliling (EIA), Penilaian Impak Sosial (SIA), penilaian biodiversiti serta kajian teknikal lain yang berkaitan.

Dengan kerangka penilaian ini, proses pengenalpastian tapak dapat dijalankan secara sistematik, telus, dan berfokus kepada hasil yang berdaya tahan jangka panjang serta tidak menjejaskan fungsi utama badan air.

5.2 Keadaan Iklim dan Keamatan Suria

5.2.1 Keadaan Iklim

Bagi mengenal pasti keadaan iklim setempat di kawasan pembangunan FPV, pengukuran suhu dan kelajuan angin perlu dilaksanakan secara tepat. Peletakan instrumen pengukuran hanya di daratan atau di kawasan pesisir adalah tidak digalakkan kerana data yang diperoleh mungkin tidak mewakili keadaan sebenar di

atas permukaan air. Hal ini disebabkan oleh kesan penyejukan badan air yang boleh menghasilkan corak suhu dan angin yang berbeza berbanding keadaan di daratan. Oleh itu, instrumen pengukuran hendaklah ditempatkan di atas permukaan badan air atau di lokasi yang dibuktikan secara teknikal dapat mewakili keadaan mikroiklim kawasan cadangan FPV.

Sekurang-kurangnya satu (1) stesen meteorologi hendaklah disediakan bagi merekodkan parameter berikut:

1. Suhu ambien.
2. Suhu modul.
3. Kelajuan dan arah angin.
4. Kelembapan relatif.
5. Taburan hujan.
6. Penyinaran Mengufuk Global (*Global Horizontal Irradiance*, GHI).
7. Penyinaran pada Satah Modul (*Plane of Array*, POA).
8. Kejadian kilat, ribut serta cuaca ekstrem.

Keadaan iklim setempat merupakan faktor utama yang mempengaruhi kaedah pembinaan, kestabilan struktur, reka bentuk sistem, susun atur dan kebolehpercayaan jangka panjang. Data iklim umum yang tersedia secara terbuka lazimnya berada pada skala yang kasar dan mungkin tidak mencerminkan keadaan sebenar di tapak. Justeru, data khusus tapak hendaklah diperoleh bagi tempoh yang mencukupi untuk mewakili variasi bermusim. Sekiranya tempoh pengukuran di tapak adalah kurang daripada dua belas (12) bulan, data tersebut hendaklah disokong melalui korelasi dengan rekod jangka panjang daripada sumber yang diiktiraf.

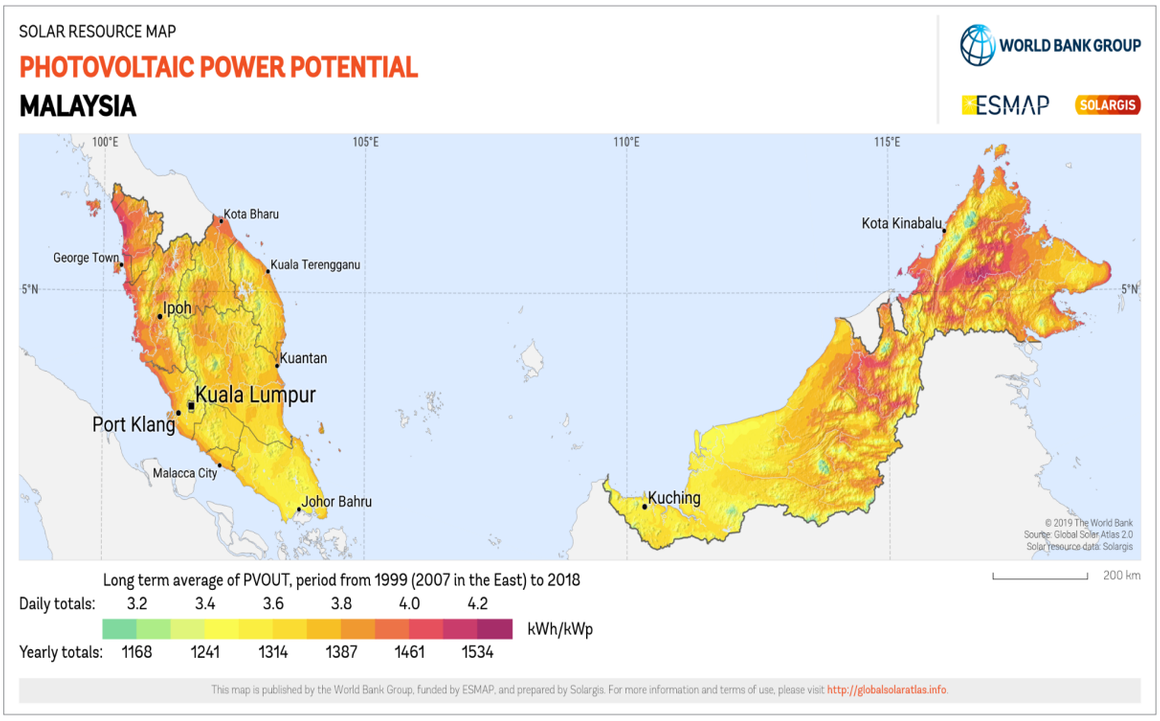
5.2.2 Sinaran Suria

Malaysia mempunyai potensi tenaga suria yang tinggi berikutan kedudukannya berhampiran garisan Khatulistiwa. Secara umum, Malaysia menerima purata penyinaran suria harian sekitar 4 hingga 5 kWh/m^2/hari. Nilai tersebut hendaklah digunakan bagi tujuan saringan awal sahaja. Nilai reka bentuk akhir hendaklah ditentukan berdasarkan data khusus tapak, rekod jangka panjang dan sumber data suria yang diiktiraf. Penilaian sumber suria hendaklah mengambil kira GHI, POA, litupan awan, teduhan, suhu modul, orientasi tata susunan dan kehilangan sistem.

5.3 Pemilihan Badan Air

Pemilihan badan air bagi pembangunan ladang solar terapung hendaklah memenuhi kriteria penilaian sebagaimana yang dinyatakan dalam Seksyen 5.1. Selain itu, badan air yang dicadangkan hendaklah mematuhi kriteria khusus berikut bagi memastikan kesesuaian teknikal serta tidak menjejaskan fungsi utama badan air tersebut.

Rajah 5.1: Potensi kuasa fotovoltaik di Malaysia



5.3.1 Kestabilan Paras Air

Badan air hendaklah mempunyai rekod hidrologi yang mencukupi bagi menilai variasi paras air tahunan, paras minimum semasa musim kemarau, paras maksimum operasi, kadar perubahan paras air dan keadaan operasi luar jangka. Rekod hidrologi sekurang-kurangnya sepuluh (10) tahun hendaklah digunakan sekiranya tersedia. Sekiranya rekod tersebut tidak tersedia, semua data sejak badan air mula beroperasi hendaklah dikemukakan dan disokong dengan pengukuran tambahan khusus tapak. Data khusus tapak hendaklah dikumpulkan sekurang-kurangnya selama satu (1) bulan atau bagi tempoh yang lebih panjang sebagaimana ditetapkan oleh pemilik atau pengendali badan air bagi tujuan penilaian dan pengesahan reka bentuk.

Paras simpanan kritikal hendaklah ditentukan berdasarkan pelan operasi dan ketetapan pemilik atau pengendali badan air. Nilai tertentu yang diamalkan oleh sesuatu negeri atau pengendali tidak boleh digunakan secara seragam tanpa pengesahan bagi badan air berkenaan. Berdasarkan amalan antarabangsa dan kajian pembangunan FPV di empangan serta takungan bekalan air, tiada satu nilai paras simpanan kritikal yang diterima pakai secara universal. Walau bagaimanapun, bagi tujuan saringan awal dan reka bentuk, paras simpanan kritikal boleh ditakrifkan sebagai paras air yang bersamaan dengan 10% hingga 20% kapasiti simpanan aktif (*active storage*) atau paras operasi minimum yang ditetapkan oleh pemilik atau pengendali badan air, yang mana lebih tinggi.

Paras kritikal empangan adalah berbeza mengikut reka bentuk, fungsi, kapasiti dan keperluan operasi setiap empangan. Berdasarkan rujukan SPAN War-Room, paras kritikal dinyatakan dalam unit aras takungan meter (m), manakala peratus simpanan semasa digunakan sebagai indikator operasi dan pemantauan. Oleh itu, penilaian kesesuaian pemasangan FPV hendaklah merujuk kepada paras kritikal empangan yang ditetapkan oleh operator empangan, pihak berkuasa air negeri, SPAN, JPS atau agensi kawal selia berkaitan.

5.3.2 Tahap Sedimentasi

Tasik atau empangan yang dipilih hendaklah tidak mengalami masalah sedimentasi yang signifikan sehingga boleh menjejaskan kapasiti takungan, kestabilan sistem terapung, operasi dan penyelenggaraan, atau jangka hayat aset. Penilaian sedimentasi hendaklah merangkumi kadar pemendapan sedimen, ketebalan sedimen, perubahan kapasiti takungan, kestabilan dasar serta unjuran perubahan sepanjang hayat reka bentuk sistem FPV.

5.3.3 Status Kawasan Larangan dan Kawasan Sensitif

Badan air yang dipilih hendaklah tidak berada dalam kawasan larangan, tempat larangan, kawasan perlindungan sumber air, kawasan tadahan kritikal, hutan simpan tadahan air, kawasan pemuliharaan atau kawasan sensitif lain yang tertakluk kepada sekatan perundangan. Pembangunan FPV di kawasan tersebut adalah tidak sesuai melainkan dibenarkan oleh peruntukan undang-undang yang berkuat kuasa serta memperoleh kelulusan khas daripada pihak berkuasa, pemilik atau pengendali badan air dan agensi teknikal berkaitan. Penilaian tapak juga hendaklah mengambil kira status Kawasan Sensitif Alam Sekitar (KSAS), habitat spesies dilindungi, kawasan warisan, laluan hidupan liar dan fungsi utama badan air bagi memastikan pembangunan tidak menjejaskan kepentingan alam sekitar, keselamatan awam dan sumber air.

5.3.4 Fungsi Rekreasi

Badan air yang dibangunkan dan diwartakan khusus sebagai kawasan rekreasi aktif atau kawasan awam terbuka adalah tidak digalakkan untuk pembangunan FPV sekiranya projek menjejaskan fungsi rekreasi, akses komuniti, keselamatan awam atau nilai estetika kawasan tersebut. Sekiranya pembangunan masih dipertimbangkan, pemohon hendaklah mengemukakan penilaian konflik guna, zon keselamatan, koridor bot, akses rekreasi serta langkah mitigasi yang dipersetujui oleh pemilik badan air dan pihak berkuasa berkaitan.

5.3.5 Kepentingan Sosio-ekonomi Setempat

Pemilihan tapak hendaklah mengelakkan badan air yang menjadi sumber utama aktiviti sosio-ekonomi atau mata pencarian komuniti, termasuk perikanan, akuakultur, pengangkutan air, pelancongan dan rekreasi. Sekiranya pembangunan FPV dicadangkan di badan air yang mempunyai fungsi tersebut, pemohon hendaklah

membuktikan bahawa projek tidak akan menjejaskan secara ketara aktiviti sedia ada melalui kajian sosio-ekonomi dan penilaian konflik guna yang bersesuaian.

Penilaian tersebut hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya:

1. Pengenalpastian komuniti, pengusaha atau pihak berkepentingan yang bergantung kepada badan air.
2. Penilaian tahap kebergantungan ekonomi dan sosial terhadap badan air, termasuk bilangan pengguna, keluasan kawasan yang digunakan dan sumbangan kepada pendapatan setempat.
3. Penilaian impak terhadap akses, keselamatan, laluan pergerakan bot, kawasan pendaratan, kawasan tangkapan ikan, sangkar akuakultur, kawasan rekreasi dan kemudahan pelancongan.
4. Cadangan zon penampan, koridor navigasi atau kawasan akses yang mencukupi bagi memastikan aktiviti sedia ada dapat diteruskan
5. Sesi libat urus yang melibatkan komuniti, persatuan nelayan, pengusaha akuakultur, pengendali pelancongan dan pihak berkepentingan lain yang terjejas.
6. Langkah mitigasi, pampasan atau program pemulihan mata pencarian sekiranya terdapat kesan yang tidak dapat dielakkan.

Pembangunan hanya boleh dipertimbangkan sekiranya hasil penilaian menunjukkan bahawa fungsi sosio-ekonomi utama badan air dapat dikekalkan, risiko konflik guna dapat diminimumkan ke tahap yang boleh diterima dan langkah mitigasi yang dicadangkan dipersetujui oleh pihak berkepentingan serta agensi berkaitan.

5.3.6 Keluasan, Had Liputan, Kedalaman dan Keperluan Daratan Sokongan

Badan air yang dicadangkan bagi pembangunan FPV hendaklah mempunyai keluasan permukaan, kedalaman air dan kawasan daratan sokongan yang mencukupi bagi menempatkan tatasusunan FPV, zon penampan, koridor bot, laluan operasi dan penyelenggaraan, akses kecemasan, infrastruktur elektrik serta fungsi sedia ada badan air. Penentuan keluasan, kedalaman dan keperluan daratan hendaklah dibuat berdasarkan reka bentuk sebenar projek, fungsi badan air, tahap sensitiviti tapak dan ketetapan pemilik badan air serta agensi teknikal berkaitan.

Kriteria Keluasan dan Kedalaman:

1. Keluasan permukaan air minimum**.**
   Badan air yang dipilih hendaklah mempunyai keluasan permukaan air sekurang-kurangnya 3 ekar atau 1.2 hektar bagi setiap kapasiti pemasangan 1 MW, tertakluk kepada keperluan susun atur teknikal dan fungsi sedia ada badan air tidak termasuk zon penampan dan kemudahan sokongan. Keluasan sebenar hendaklah ditentukan berdasarkan jenis dan kecekapan modul, orientasi, jarak antara tatasusunan, sistem apungan, keperluan akses dan keadaan khusus tapak.

2. Had Liputan FPV

Had liputan maksimum tata-susunan FPV bagi badan air secara umum hendaklah tidak melebihi 60% daripada keluasan permukaan badan air pada paras operasi normal atau apa-apa nilai yang lebih rendah sebagaimana ditetapkan oleh pemilik badan air, PBN dan agensi teknikal berkaitan. Had 60% yang dinyatakan bukan suatu kelulusan automatik. Kadar liputan sebenar hendaklah ditentukan berdasarkan fungsi badan air, kedalaman, hidrodinamik, kualiti air, ekologi, sedimentasi, keselamatan dan aktiviti komuniti.

Bagi badan air yang digunakan sebagai sumber bekalan air minuman, kadar liputan yang lebih konservatif hendaklah diguna pakai seperti berikut:

i. Tidak melebihi 20% bagi badan air bekalan air minuman.
ii. Tidak melebihi 15% bagi badan air bekalan air minuman yang mempunyai kedalaman purata kurang daripada lima (5) meter.

Sebarang cadangan untuk melebihi kadar liputan tersebut hendaklah disokong dengan kajian hidrodinamik, penilaian kualiti air, kajian ekologi dan penilaian risiko operasi loji rawatan serta mendapat kelulusan bertulis daripada pemilik badan air, operator air, SPAN, PBN dan agensi teknikal berkaitan.

3. Kedalaman air minimum

Badan air yang dipilih hendaklah mempunyai kedalaman air dalam julat dua hingga lima meter berdasarkan data hidrologi dan rekod aras air sekurang-kurangnya bagi tempoh sepuluh hingga dua puluh tahun.

Penentuan kesesuaian kedalaman hendaklah mengambil kira turun naik aras air bermusim, keadaan operasi badan air, keselamatan sistem apungan dan penambatan serta keperluan operasi dan penyelenggaraan projek FPV.

Sebarang cadangan di luar julat kedalaman tersebut hendaklah disokong oleh kajian hidrologi, batimetri dan analisis kejuruteraan yang terperinci serta mendapat kelulusan pemilik badan air dan agensi teknikal berkaitan.

4. Keluasan tanah daratan

Tapak yang dicadangkan hendaklah mempunyai kawasan daratan sokongan sekurang-kurangnya antara 5% hingga 10% daripada keluasan permukaan badan air bagi menempatkan kemudahan dan infrastruktur sokongan projek, termasuk inverter, transformer, pencawang, bangunan kawalan, kemudahan operasi dan penyelenggaraan, parkir, jeti serta laluan kecemasan.

Keluasan sebenar kawasan daratan sokongan hendaklah ditentukan berdasarkan reka bentuk projek, keperluan sambungan grid, akses operasi, keselamatan, topografi, status tanah dan syarat kelulusan pihak berkuasa.

Pengambilan tanah tambahan atau kerja penambakan hanya boleh dipertimbangkan tertakluk kepada kelulusan pemilik badan air, PBN dan agensi teknikal berkaitan.

5.3.7 Kawasan yang Tidak Dibenarkan dan Kawasan Bersyarat

Pembangunan FPV tidak dibenarkan di kawasan berikut:

1. Badan air yang mengalami sedimentasi serius, ketidakstabilan dasar atau keadaan terlalu cetek yang memerlukan kajian batimetri dan penilaian teknikal terperinci bagi menentukan kesesuaian pembangunan FPV serta keperluan langkah mitigasi yang bersesuaian.
2. Badan air yang diwartakan khusus sebagai zon rekreasi aktif atau kawasan awam terbuka yang melarang pembinaan struktur kekal.
3. Kawasan larangan atau tempat larangan yang tidak memperoleh kelulusan keselamatan.
4. Kawasan perlindungan sumber air, hutan simpan tadahan air atau kawasan pemuliharaan yang diwartakan atau dilindungi di bawah peruntukan undang-undang yang berkuat kuasa seperti :
    i. Seksyen 62 Akta Kerajaan Tempatan 1976 [Akta 171].
    ii. Akta Perhutanan Negara 1984 [Akta 313] berkaitan Hutan Simpan Tadahan Air.
    iii. Enakmen Air Negeri yang memperuntukkan Zon Perlindungan Sumber Air.
    iv. Kawasan Larangan dan Terhad (KLTL)
    v. mana-mana perundangan lain yang tidak membenarkan pembangunan.
5. Badan air atau kawasan tadahan yang bersempadan dengan negara luar dan tertakluk kepada sekatan atau perjanjian antarabangsa.
6. Kawasan bencana atau kawasan berisiko tinggi yang tidak dapat dikurangkan kepada tahap risiko yang boleh diterima, termasuk kawasan yang mengalami banjir berulang melebihi 50% daripada tempoh dalam setahun.
7. Kawasan berhampiran kemudahan ketenteraan, infrastruktur strategik atau laluan udara yang tertakluk kepada Akta Kawalan Udara 1969.

Pembangunan FPV di badan air yang menyalurkan air mentah secara langsung ke loji rawatan air boleh dipertimbangkan sebagai kawasan bersyarat dan dinilai berdasarkan prinsip langkah berjaga-jaga. Penentuan kesesuaian hendaklah dibuat berdasarkan penilaian teknikal terperinci dengan mengambil kira keluasan badan air, kedalaman, hidrodinamik, sedimentasi, keselamatan operasi, akses penyelenggaraan, keperluan bekalan air semasa dan masa hadapan serta sensitiviti alam sekitar dan sosial kawasan terlibat.

Pembangunan FPV di kawasan tersebut hendaklah tertakluk kepada:

1. Persetujuan bertulis pemilik atau pengendali badan air.
2. Persetujuan operator air.
3. Ulasan dan kelulusan SPAN, PBN dan agensi teknikal berkaitan.
4. Kajian hidrodinamik dan penilaian risiko terhadap muka sauk serta operasi loji rawatan air.
5. Kajian kualiti air, ekologi, biodiversiti dan habitat akuatik.
6. Penyediaan langkah-langkah mitigasi yang bersesuaian bagi mengurangkan impak terhadap kualiti air, ekologi, biodiversiti.
7. Pemantauan masa nyata (*real-time monitoring*) terhadap parameter kritikal.
8. Bon penyahtaraan, sekiranya ditetapkan.
9. Perkongsian data pemantauan dengan agensi kerajaan berkaitan bagi tujuan rujukan kebangsaan.

Jarak penampan daripada muka sauk air mentah hendaklah ditentukan melalui pemodelan hidraulik atau hidrodinamik berdasarkan arah dan kelajuan arus, kedalaman, masa perjalanan air serta operasi pam. Tiada satu nilai universal yang diterima secara meluas dalam literatur antarabangsa walaubagaimanapun, sebagai nilai saringan awal, jarak penampan sekurang-kurangnya 300 meter boleh digunakan sehingga kajian khusus tapak menentukan jarak yang lebih sesuai. Sebarang jarak penampan yang dicadangkan hendaklah disokong oleh penilaian teknikal yang sesuai dan mendapat persetujuan pihak berkuasa serta agensi berkaitan. Jarak yang lebih kecil hanya boleh dipertimbangkan berdasarkan kajian khusus tapak dan kelulusan bertulis operator air, SPAN dan pemilik badan air.

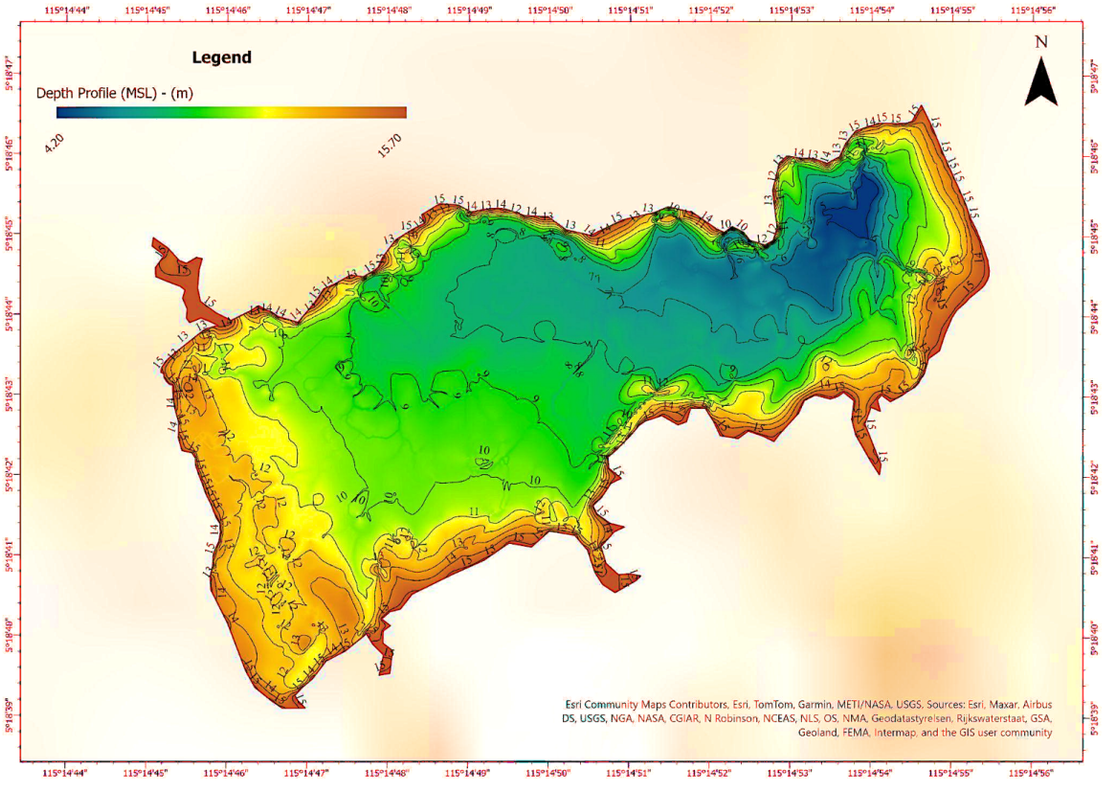
5.4 Batimetri dan Ciri-Ciri Badan Air

Pemetaan badan air merupakan komponen utama dalam menentukan lokasi pemasangan tatasusunan FPV serta reka bentuk sistem tambatan dan penambatan. Batimetri ialah kajian dan pemetaan kedalaman serta morfologi dasar badan air. Kajian ini merangkumi pengukuran kedalaman, bentuk dasar, rabung, lembah, cerun, kawasan sedimentasi dan halangan di bawah permukaan air. Antara kaedah yang boleh digunakan ialah sonar berbilang pancaran (*multibeam sonar*) dan sonar pancaran tunggal (*single-beam sonar*).

Pengukuran batimetri hendaklah dilaksanakan bagi semua cadangan pembangunan FPV. Data batimetri yang digunakan hendaklah:

1. Tidak melebihi tiga (3) tahun pada tarikh permohonan KM.
2. Meliputi keseluruhan kawasan tatasusunan FPV, zon penambatan dan laluan akses berkaitan.
3. Disahkan oleh pemilik badan air atau pihak profesional yang berkelayakan.

Rajah 5.2: Contoh peta batimetri



(Lokasi: Empangan Kerupang, Labuan, Malaysia) (Sumber: NAHRIM, 2024)

Pengukuran batimetri baharu hendaklah dilaksanakan sekiranya berlaku banjir besar, pengorekan, sedimentasi luar biasa, perubahan operasi badan air atau perubahan ketara pada morfologi dasar.

Sistem FPV hendaklah dielakkan daripada kawasan berhampiran tebing yang mempunyai cerun melebihi 14° atau 25% cerun, melainkan kestabilan geoteknik dan keselamatan sistem penambatan dibuktikan melalui analisis kejuruteraan terperinci bagi mengelakkan kestabilan struktur dan keselamatan operasi terjejas.

Pengumpulan sedimen merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan semasa mengenal pasti tapak, terutamanya di kawasan aliran masuk dan bahagian hilir badan air. Kehadiran sedimen boleh mempengaruhi reka bentuk sauh, sistem tambatan dan kekerapan pemeriksaan serta penyelenggaraan. Oleh itu, kawasan dengan cerun landai dan taburan sedimen yang minimum adalah paling sesuai untuk pemasangan sistem FPV.

Selain kedalaman, penilaian perubahan paras air tasik, empangan atau badan air yang berkaitan hendaklah turut mengambil kira faktor-faktor berikut:

1. Kapasiti pemasangan sistem FPV yang dicadangkan berdasarkan kesesuaian tapak, keluasan kawasan dan keperluan pembangunan projek.
2. Unjuran kapasiti simpanan air baharu sebagaimana diperincikan dalam kertas cadangan projek atau dokumen sokongan berkaitan.
3. Pengurusan, pemantauan serta penyelenggaraan sedimentasi bagi memastikan fungsi badan air, kestabilan paras air dan keberkesanan operasi sistem FPV terus terpelihara.

5.5 Kualiti Air

Kualiti air merupakan faktor kritikal dalam menentukan kesesuaian badan air bagi pembangunan FPV. Penilaian hendaklah dilaksanakan secara menyeluruh bagi memastikan projek tidak menjejaskan fungsi badan air, khususnya sebagai sumber air mentah, serta mengekalkan keseimbangan ekosistem akuatik.

5.5.1 Penentuan Data Garis Dasar *(Baseline Data)*

Sebelum projek dilaksanakan, status semasa kualiti air mesti ditentukan melalui kajian garis dasar. Data asas ini penting bagi menilai potensi risiko terhadap ekosistem serta menjadi rujukan pemantauan jangka panjang.

Kajian garis dasar hendaklah meliputi variasi bermusim yang mencukupi serta dilaksanakan sebelum pemasangan FPV. Bagi badan air bekalan air minuman, pemantauan bulanan bagi tempoh sehingga dua belas (12) bulan hendaklah dipertimbangkan bagi mendapatkan gambaran garis dasar yang menyeluruh.

5.5.2 Parameter Pemantauan

Parameter pemantauan hendaklah merangkumi:

1. Parameter yang terdapat di dalam *Recommended Raw Water Quality Criteria* Kementerian Kesihatan Malaysia.
2. Parameter tambahan seperti mikroplastik, parameter bahan cemar baharu dan TBT (*tributyltin*).
3. Nilai piawaian *Recommended Raw Water Quality Criteria* Kementerian Kesihatan Malaysia dijadikan sebagai nilai ambang bagi tasik/ empangan bekalan air.
4. Mikrosistin dan indikator sianobakteria sebagai parameter mandatori bagi badan air bekalan air minuman, badan air cetek dan badan air yang berisiko mengalami eutrofikasi.

Jadual 5.1: *Recommended Raw Water Quality Criteria* oleh Kementerian Kesihatan Malaysia

No.	Parameters	Acceptable value mg/l (unless otherwise stated)	Source of Reference
	GROUP I		
1	TOTAL COLIFORM	5,000 MPN/100ml or cfu/100ml	WHO1
2	TURBIDITY	1,000 NTU	WHO2
3	COLOUR	300 TCU	WHO1
4	pH	5.5 – 9.0	MAL
	GROUP II		
1	TOTAL DISSOLVED SOLIDS	1,500	WHO1
2	BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND	6	WHO1
3	CHEMICAL OXYGEN DEMAND	10	WHO1
4	CHLORIDE	250	MAL
5	ANIONIC DETERGENT MBAS	1.0	WHO1
6	AMMONIA (as N)	1.5	WHO1
7	NITRATE (as N)	10	MAL
8	IRON (as Fe)	1.0	MAL
9	FLUORIDE	1.5	WHO1
10	HARDNESS	500	MAL
11	MANGANESE	0.2	WHO1
	GROUP III		
1	MERCURY	0.001	MAL
2	CADMIUM	0.003	MAL
3	SELENIUM	0.01	WHO1
4	ARSENIC	0.01	MAL
5	CYANIDE	0.07	MAL
6	LEAD	0.05	MAL
7	CHROMIUM	0.05	WHO1
8	SILVER	0.05	MAL
9	COPPER	1.0	MAL
10	MAGNESIUM	150	MAL
11	SODIUM	200	MAL
12	ZINC	3	MAL
13	SULPHATE	250	MAL
14	MINERAL OIL	0.3	MAL
15	PHENOL	0.002	WHO1

5.5.3 Kekerapan dan Perancangan Persampelan

Pemantauan kualiti air hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya empat (4) kali setahun atau secara suku tahunan bagi semua pembangunan FPV. Bagi badan air bekalan air minuman, pemantauan hendaklah dilaksanakan secara bulanan sepanjang dua belas (12) bulan pertama operasi. Selepas tempoh tersebut, kekerapan boleh dikurangkan kepada suku tahunan sekiranya tiada kemerosotan kualiti air dikesan serta mendapat persetujuan operator air dan pihak berkuasa berkaitan.

Lokasi persampelan hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya:

1. Kawasan aliran masuk.
2. Kawasan di bawah atau berhampiran tatasusunan FPV.
3. Kawasan di luar tatasusunan FPV.
4. Kawasan aliran keluar.
5. Lokasi kawalan yang tidak dipengaruhi oleh FPV.
6. Muka sauk air mentah (sekiranya berkaitan).

Bilangan dan taburan lokasi hendaklah ditentukan berdasarkan keluasan badan air, kadar liputan FPV, kedalaman, pola arus dan fungsi badan air. Sekurang-kurangnya empat (4) lokasi hendaklah disediakan dan bilangan tambahan hendaklah ditetapkan sekiranya diperlukan oleh operator air atau agensi teknikal.

Persampelan hendaklah dilaksanakan pada lapisan permukaan, pertengahan dan berhampiran dasar berdasarkan kedalaman dan keadaan stratifikasi badan air.

Bagi badan air bekalan air minuman dan badan air cetek, tinjauan bentik hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya dua (2) kali setahun bagi mengesan sianobakteria bentik, perubahan makrofit, alga bentik dan keadaan dasar yang mungkin tidak dapat dikesan melalui persampelan lajur air.

5.5.4 Ujian Bahan, Larut Lesap dan Mikroplastik

Sebelum pemasangan, bahan apungan, salutan, kabel dan komponen yang terdedah kepada air hendaklah dinilai dari aspek pelepasan bahan kimia, mikroplastik dan degradasi bahan. Ujian larut lesap hendaklah dilaksanakan sebelum pemasangan dan sekurang-kurangnya sekali setiap lima (5) tahun sepanjang tempoh operasi menggunakan kaedah EN 12457, *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) atau kaedah setara yang diterima oleh agensi teknikal.

Pengukuran garis dasar mikroplastik hendaklah dilaksanakan sebelum pemasangan, diikuti pemantauan sekurang-kurangnya sekali setahun selepas operasi bermula. Jangka hayat reka bentuk bahan apungan hendaklah dinyatakan oleh pengeluar. Bagi apungan berasaskan polietilena berketumpatan tinggi (HDPE), ujian integriti bahan hendaklah dilaksanakan pada pertengahan hayat reka bentuk atau selewat-lewatnya pada tahun ke-10 operasi, yang mana lebih awal.

5.5.5 Standard Kualiti Air Selepas Pemasangan

Selepas pemasangan FPV, kualiti air hendaklah sekurang-kurangnya mengekalkan kelas, fungsi kegunaan dan julat variasi yang direkodkan semasa kajian garis dasar. Pembangunan tidak boleh menyebabkan kemerosotan kelas kualiti air atau menjejaskan keupayaan proses rawatan air.

Nilai dalam *Recommended Raw Water Quality Criteria* KKM yang terkini hendaklah digunakan bagi badan air yang berfungsi sebagai sumber air mentah. Sekiranya operator air atau negeri menetapkan nilai yang lebih ketat, nilai tersebut hendaklah diguna pakai.

Ambang tindakan khusus projek hendaklah ditetapkan berdasarkan data garis dasar, variasi semula jadi, fungsi badan air dan standard berkaitan. Sekiranya berlaku perubahan ketara atau pelanggaran had, pemaju hendaklah:

1. Melaksanakan siasatan punca.
2. Meningkatkan kekerapan persampelan.
3. Melaksanakan tindakan mitigasi.
4. Menghentikan sementara aktiviti yang dikenal pasti sebagai punca, sekiranya perlu.

5.6 Ekologi Badan Air

Penilaian ekologi hendaklah dilaksanakan sebelum pembangunan bagi mengenal pasti keadaan biodiversiti akuatik dan riparian, habitat sensitif, spesies dilindungi, laluan migrasi hidupan liar serta risiko konflik antara sistem FPV dengan fauna.

Kriteria pemilihan tapak dari aspek ekologi adalah seperti berikut:

1. Lokasi hendaklah berada di luar kawasan larangan, santuari, kawasan perlindungan hidupan liar atau habitat spesies dilindungi, termasuk spesies yang disenaraikan di bawah *Convention on International Trade in Endangered Species* (CITES).
2. Kedudukan tapak berhampiran Kawasan Sensitif Alam Sekitar (KSAS) tidak secara automatik mewajibkan penyediaan EIA. Keperluan EIA hanya terpakai sekiranya projek melibatkan aktiviti yang ditetapkan di bawah Perintah Kualiti Alam Sekeliling (Aktiviti Yang Ditetapkan) (Penilaian Kesan kepada Alam Sekeliling) 2015. Semakan hendaklah dibuat dengan JAS.
3. Penilaian ekologi atau kajian biodiversiti khusus hendaklah dilaksanakan sekiranya tapak mempunyai habitat sensitif, spesies dilindungi atau laluan hidupan liar, walaupun projek tidak tertakluk kepada EIA. Data garis dasar biodiversiti dan ekologi hendaklah dikumpulkan sebelum pembangunan.
4. Penilaian risiko eutrofikasi, ledakan alga dan perubahan sedimentasi.

5.6.1 Zon Penampan Ekologi dan Keselamatan

Jarak penampan tidak boleh ditentukan secara seragam tanpa mengambil kira keadaan khusus tapak. Jarak daripada tebing, struktur utama empangan, muka sauk, hutan simpan dan habitat sensitif hendaklah ditentukan berdasarkan kajian hidraulik atau hidrodinamik, keselamatan empangan, julat ombak, ekologi, keperluan akses dan operasi badan air.

Syarat zon penampan yang perlu dipertimbangkan bagi pemasangan sistem FPV dan struktur berkaitan adalah:

1. Jarak 200 meter dari tebing boleh dipertimbangkan bagi badan air sensitif, tertakluk kepada justifikasi teknikal.

2. Jarak sekurang-kurangnya 300 meter hendaklah dipertimbangkan daripada struktur utama empangan, alur pelepasan, limpahan dan kemudahan operasi kritikal.
3. Jarak daripada muka sauk air mentah hendaklah ditentukan melalui pemodelan khusus tapak, dengan jarak 300 meter digunakan sebagai nilai saringan awal.

Walaubagaimanapun, sekiranya garis panduan negeri, pemilik badan air atau agensi keselamatan empangan menetapkan jarak yang lebih besar, jarak yang lebih besar hendaklah diguna pakai.

5.7 Pertimbangan Sosio-ekonomi Sekitar

Bagi pengenalpastian tapak, penilaian sosio-ekonomi hendaklah membuktikan bahawa cadangan FPV bersesuaian dengan fungsi badan air dan persekitarannya, tidak menimbulkan beban kos yang tidak wajar kepada isi rumah atau kemudahan awam serta memperoleh penerimaan masyarakat yang munasabah. Penilaian hendaklah meliputi kawasan pengaruh yang relevan, termasuk tapak pembangunan FPV, kawasan tebing, kemudahan sokongan, kawasan rekreasi, kawasan perikanan dan jajaran kabel ke titik sambungan.

Kriteria pemilihan kawasan dari aspek sosio-ekonomi adalah seperti berikut:

1. Guna semasa dan kebergantungan komuniti terhadap badan air.
2. Kebolehcapaian serta keselamatan awam.
3. Keserasian dengan fungsi badan air, termasuk bekalan air, pengurusan banjir, pengairan dan aktiviti utiliti lain yang sah.
4. Impak terhadap ekonomi tempatan.
5. Keadilan dan keterangkuman sosial.
6. Warisan, budaya dan nilai landskap.
7. Pengurusan konflik guna dan zon sosial.
8. Penerimaan sosial dan komunikasi risiko.
9. Data garis dasar, indikator dan pelaporan yang boleh diaudit.

Bagi maksud pertimbangan Kebenaran Merancang, pemohon hendaklah mengemukakan rumusan bersepadu mengenai justifikasi pemilihan tapak, langkah mitigasi, ambang tindakan, prosedur eskalasi dan komitmen manfaat komuniti yang terukur.

5.7.1 Keperluan Penilaian Impak Sosial (SIA)

Penilaian Impak Sosial (SIA) merupakan komponen penting bagi memastikan pembangunan FPV dilaksanakan secara inklusif, bertanggungjawab dan berasaskan prinsip keadilan sosial. Pelaksanaan kajian SIA perlu diwajibkan sekiranya projek yang dicadangkan menunjukkan potensi impak signifikan terhadap komuniti setempat, terutamanya yang melibatkan perubahan guna tanah badan air, penggantian aktiviti ekonomi tradisional, atau perubahan landskap sosial secara langsung.

Pelaksanaan SIA hendaklah diwajibkan sekiranya projek berpotensi menyebabkan impak sosial ketara, termasuk:

1. Liputan FPV melebihi 10% daripada keluasan badan air.
2. Kapasiti projek melebihi 50 MW.
3. Tapak melibatkan atau terletak berhampiran kawasan adat.
4. Tapak melibatkan kawasan Persatuan Nelayan, akuakultur, rekreasi awam atau aktiviti ekonomi utama komuniti.
5. Projek menyebabkan sekatan akses, kehilangan mata pencarian atau gangguan ketara kepada kemudahan awam.
6. PBN menentukan bahawa projek mempunyai impak sosial ketara.

Kawasan kajian hendaklah merangkumi *Zon Pengaruh* (Zone of Influence, ZOI) yang ditakrifkan secara menyeluruh merangkumi tapak pemasangan FPV, kawasan tebing yang digunakan oleh komuniti, kawasan aktiviti ekonomi tradisional seperti perikanan kecil atau rekreasi air, serta jajaran kabel dan kemudahan sokongan yang berkaitan. Penetapan ZOI hendaklah mengambil kira faktor sosio-demografi yang pelbagai termasuk kumpulan rentan, wanita, warga emas dan komuniti Orang Asli sekiranya berkaitan.

Sekiranya hasil kajian SIA menunjukkan bahawa projek berisiko menyebabkan kehilangan pendapatan atau gangguan ekonomi melebihi sepuluh peratus (10%) daripada anggaran pendapatan isi rumah yang terjejas, satu mekanisme pampasan yang sewajarnya hendaklah disediakan oleh pemaju. Pampasan tersebut boleh dalam bentuk pembayaran tunai, penempatan semula aktiviti, penyediaan latihan dan peluang pekerjaan dalam projek, atau insentif sokongan lain yang dipersetujui bersama komuniti.

Selain itu, pelan mitigasi sosial hendaklah disepadukan bersama pelaksanaan teknikal projek dan dikemukakan dalam bentuk laporan rasmi kepada pihak berkuasa tempatan.

Pelan tersebut perlu mengandungi:

1. penilaian impak yang disokong oleh data garis dasar sosio-ekonomi.
2. langkah mitigasi dan jadual pelaksanaan.
3. mekanisme pemantauan dan pelaporan
4. pelan komunikasi berterusan dengan komuniti yang terlibat.

Keberkesanan pelan ini akan menjadi asas pertimbangan Kebenaran Merancang (KM) dan pelaporan berkala kepada pihak berkuasa.

BAB 6

REKABENTUK KEJURUTERAAN



6.1 Pengenalan

Reka bentuk kejuruteraan bagi pembangunan FPV memainkan peranan penting dalam memastikan keselamatan, kebolehpercayaan dan ketahanan sistem sepanjang tempoh operasinya. Reka bentuk yang baik hendaklah mengambil kira faktor persekitaran setempat seperti angin, gelombang, arus, variasi paras air, batimetri, sedimentasi dan kualiti air yang boleh mempengaruhi prestasi serta jangka hayat komponen.

Selain itu, reka bentuk hendaklah mematuhi standard kejuruteraan kebangsaan dan antarabangsa yang berkaitan serta keperluan teknikal oleh PLANMalaysia, Suruhanjaya Tenaga (ST), Pihak Berkuasa Pembangunan Tenaga Lestari (SEDA) Malaysia, Pihak Berkuasa Negeri (PBN), Pihak Berkuasa Tempatan (PBT), operator utiliti, pemilik atau pengendali badan air dan agensi teknikal berkaitan.

Reka bentuk ini juga hendaklah memastikan pemasangan dan pengoperasian sistem FPV tidak menjejaskan fungsi utama badan air, khususnya sebagai sumber air mentah, kawalan banjir, pengairan, rekreasi, ekologi atau kegunaan sah yang lain.

6.2 Pematuhan SOP Empangan dan Operasi Badan Air

Bagi cadangan pembangunan FPV di empangan, takungan air atau badan air yang mempunyai fungsi operasi air, pematuhan kepada Prosedur Operasi Standard (SOP) empangan atau SOP pengendalian badan air hendaklah diberi keutamaan pada peringkat reka bentuk.

Perancangan dan reka bentuk projek hendaklah mengambil kira keperluan operasi badan air bagi memastikan pemasangan dan pengoperasian sistem FPV tidak menjejaskan fungsi kawalan dan pengurusan air, keselamatan empangan, keselamatan struktur, pelepasan air serta operasi kecemasan.

Pertimbangan khusus hendaklah merangkumi variasi hidrologi semasa musim kemarau dan musim hujan, perubahan paras air, pelepasan air, arus, laluan operasi, akses penyelenggaraan serta keperluan pengoperasian struktur empangan seperti spillway, outlet, intake, menara kawalan, injap, rumah pam dan kemudahan operasi kritikal lain.

Sebarang cadangan susun atur FPV, sistem penambat, laluan kabel, platform kerja, jeti, pencawang dan kemudahan sokongan hendaklah diselaraskan dengan pemilik atau pengendali badan air bagi memastikan keselamatan, kecekapan operasi serta kelangsungan fungsi badan air sentiasa terpelihara.

Bagi badan air bekalan air minuman atau badan air yang menyalurkan air mentah secara langsung ke loji rawatan air, reka bentuk hendaklah turut mengambil kira keperluan operator air, SPAN, PBN dan agensi teknikal berkaitan, termasuk

perlindungan muka sauk, laluan akses kecemasan, pemantauan kualiti air serta pelan tindak balas kecemasan.

6.3 Struktur Platform

Struktur platform berfungsi sebagai asas sokongan utama kepada modul PV, laluan kerja, sistem penambatan, pengurusan kabel dan komponen sokongan lain yang terapung di atas permukaan badan air.

6.3.1 Bahan dan Ketahanan

Platform terapung hendaklah diperbuat daripada bahan yang sesuai untuk persekitaran badan air, seperti polietilena berketumpatan tinggi (*High-Density Polyethylene*, HDPE) atau bahan komposit lain yang mempunyai ketahanan terhadap sinaran ultra-ungu (UV), hakisan, bio-fouling, perubahan suhu air, tindakan gelombang dan degradasi jangka panjang. Bahan yang digunakan hendaklah tidak melepaskan bahan cemar yang boleh menjejaskan kualiti air, khususnya bagi badan air yang digunakan sebagai sumber bekalan air minuman. Bahan apungan dan komponen yang terdedah kepada air hendaklah mempunyai spesifikasi yang sesuai dan selamat.

Bagi badan air bekalan air minuman, bahan platform yang bersentuhan atau berpotensi bersentuhan dengan air hendaklah menggunakan bahan gred makanan (*food grade*) yang sesuai, seperti HDPE gred makanan yang mematuhi piawaian antarabangsa seperti *FDA (U.S. Food and Drug Administration), EU Regulation No. 10/2011* atau piawaian setara yang diiktiraf. Bahan tersebut hendaklah bebas daripada bahan toksik, tidak melarut lesap bahan berbahaya ke dalam air dan disahkan melalui pensijilan atau laporan ujian yang sah. Pematuhan kepada piawaian lain yang diterima oleh operator air dan agensi teknikal berkaitan juga hendaklah dipenuhi.

6.3.2 Konfigurasi dan Susun Atur

Susun atur platform hendaklah direka bentuk bagi memastikan kestabilan mekanikal, pengagihan beban yang seimbang, keselamatan operasi dan kemudahan penyelenggaraan.

Reka bentuk modular boleh digunakan bagi memudahkan pemasangan, pemeriksaan, penggantian komponen, penyelenggaraan dan pengembangan sistem pada masa hadapan, tertakluk kepada had liputan dan kelulusan pihak berkuasa.

Jarak antara tatasusunan FPV hendaklah ditentukan berdasarkan reka bentuk tenaga, keperluan akses, koridor bot, laluan kecemasan, kesan teduhan, ventilasi, keselamatan elektrik, pemantauan kualiti air dan fungsi sedia ada badan air.

Susun atur platform hendaklah mengambil kira zon penampan, kedudukan muka sauk, struktur empangan, laluan pelepasan air, kawasan sedimentasi, habitat sensitif, kawasan rekreasi, laluan bot dan aktiviti komuniti.

6.3.3 Analisis Struktur

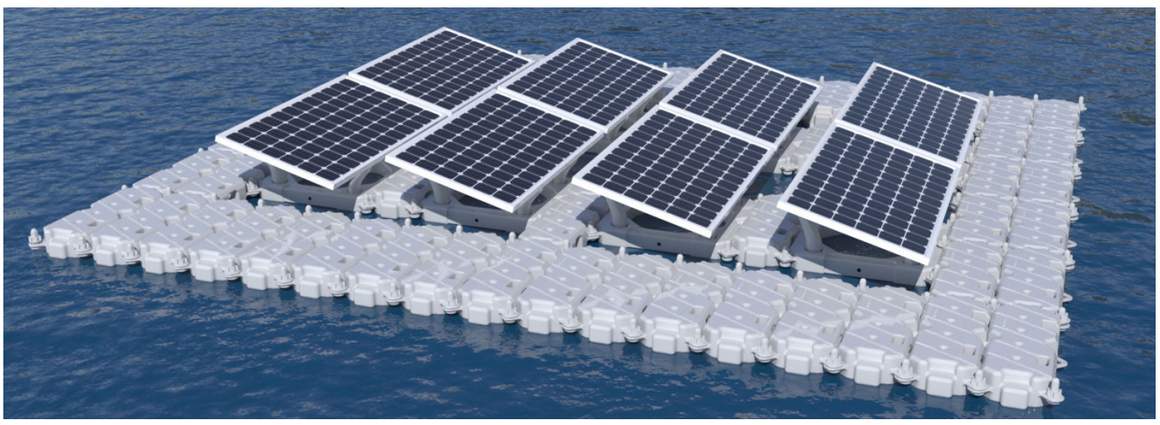
Kajian keapungan (*buoyancy analysis*) dan kestabilan (*stability analysis*) hendaklah dilaksanakan bagi memastikan platform dapat menampung beban sistem PV, laluan kerja, pengurusan kabel, peralatan sokongan serta beban alam sekitar seperti hujan, angin, arus dan gelombang.

Analisis struktur hendaklah mengambil kira tindakan dinamik air, perubahan paras air bermusim, keadaan paras operasi minimum dan maksimum, beban angin reka bentuk, kesan gelombang, potensi hentaman objek hanyut, beban penyelenggaraan serta keperluan keselamatan pekerja.

Reka bentuk struktur platform hendaklah disemak dan disahkan oleh Jurutera Profesional dengan Perakuan Amalan (PEPC) atau pihak profesional yang berkelayakan mengikut keperluan pihak berkuasa.

Rujukan reka bentuk boleh mengambil kira piawaian atau amalan kejuruteraan berkaitan seperti contoh *ISO 12215: Small Craft – Hull Construction and Scantlings* bagi struktur terapung ringan, IEC 62908, DNV-RP-0584 atau piawaian lain yang bersesuaian dengan sistem FPV, tertakluk kepada kesesuaian aplikasi dan penerimaan agensi teknikal.

Rajah 6.1: Contoh platform HDPE yang digunakan bagi ladang solar terapung



(sumber: https://www.mibetsolar.com/floating-solar-mounting-system_p83.html)

6.4 Teknologi dan Reka Bentuk Modul Panel Solar

6.4.1 Teknologi Panel Solar yang Dibenarkan

Teknologi modul panel solar yang digunakan di atas badan air hendaklah dipilih berdasarkan keselamatan bahan, prestasi, kebolehpercayaan, ketahanan persekitaran, risiko pencemaran air dan kebolehurusan semasa penyelenggaraan serta penyahtaraan.

Teknologi modul yang boleh dipertimbangkan termasuk modul berasaskan silikon seperti monocrystalline silicon dan polycrystalline silicon, serta teknologi lain seperti Copper Indium Gallium Selenide (CIGS), tertakluk kepada bukti keselamatan bahan, prestasi, pensijilan, ujian larut lesap dan penerimaan agensi teknikal berkaitan.

Penggunaan teknologi panel solar yang berisiko melepaskan bahan berbahaya kepada badan air, termasuk teknologi yang mengandungi kadmium, arsenik atau bahan toksik lain seperti *Cadmium Telluride* (CdTe) dan *Gallium Arsenide* (GaAs), hendaklah tertakluk kepada syarat tambahan yang ketat. Teknologi tersebut hanya boleh dipertimbangkan sekiranya pemaju membuktikan bahawa risiko pencemaran air adalah terkawal melalui pensijilan bahan, reka bentuk perlindungan, ujian larut lesap, pelan kecemasan, pelan pengurusan sisa dan persetujuan bertulis daripada pemilik badan air, operator air serta agensi teknikal berkaitan.

Bagi badan air bekalan air minuman atau badan air yang mempunyai tahap sensitiviti tinggi, penggunaan teknologi panel yang mempunyai risiko bahan toksik yang tinggi adalah tidak digalakkan melainkan dibuktikan selamat melalui penilaian risiko terperinci serta mendapat kelulusan bertulis daripada pemilik badan air, operator air, SPAN, PBN dan agensi teknikal berkaitan.

6.4.2 Reka Bentuk Modul Panel Solar

Reka bentuk modul panel solar hendaklah mengambil kira bahan modul, saiz maksimum setiap modul, berat modul, kaedah pemasangan, sudut kecondongan, jarak antara modul, akses penyelenggaraan, keperluan keselamatan elektrik, risiko silau, risiko kerosakan akibat angin, gelombang, hujan lebat, objek hanyut serta keperluan perlindungan kualiti air.

Modul panel solar yang digunakan bagi pembangunan FPV di badan air hendaklah mematuhi piawaian prestasi dan keselamatan yang berkaitan seperti IEC 61215, IEC 61730, IEC 61701, IEC 62716 atau piawaian setara yang diterima oleh agensi teknikal.

Penggunaan modul kaca berganda (*double glass module*) hendaklah diberi keutamaan bagi semua pembangunan FPV dan hendaklah diwajibkan bagi badan air bekalan air minuman atau badan air sensitif, khususnya bagi permukaan panel atau konfigurasi pemasangan yang berdekatan dengan permukaan air. Keperluan ini bertujuan mengurangkan risiko pelepasan bahan dalaman panel sekiranya berlaku kerosakan, bencana, hentaman, kebakaran atau kegagalan struktur.

Sekiranya modul selain kaca berganda dicadangkan, pemohon hendaklah mengemukakan justifikasi teknikal, penilaian risiko bahan, bukti pensijilan, pelan pengurusan kerosakan panel dan persetujuan pemilik badan air serta agensi teknikal berkaitan.

Saiz maksimum setiap modul hendaklah ditentukan berdasarkan keupayaan struktur platform, beban angin, kestabilan sistem apungan, kemudahan pemasangan,

keselamatan penyelenggaraan dan spesifikasi pengeluar. Modul bersaiz besar hanya boleh digunakan sekiranya analisis struktur dan keselamatan membuktikan bahawa sistem apungan serta sistem penambatan mampu menanggung beban tambahan dengan selamat.

Sudut kecondongan panel hendaklah ditentukan berdasarkan prestasi tenaga, beban angin, kestabilan platform, risiko silau, kemudahan penyelenggaraan dan kesesuaian tapak. Sudut kecondongan yang dipilih hendaklah dibuktikan melalui analisis reka bentuk dan tidak menjejaskan kestabilan sistem apungan.

6.5 Sistem Penambat

Sistem penambat (*mooring/anchoring*) merupakan komponen kritikal bagi memastikan struktur FPV kekal stabil pada kedudukan yang ditetapkan tanpa menjejaskan operasi hidrologi, keselamatan badan air dan fungsi infrastruktur berkaitan.

6.5.1 Reka Bentuk Sistem Penambatan

Reka bentuk sistem penambatan hendaklah berdasarkan keadaan batimetri, jenis dasar badan air, sedimentasi, kedalaman, keluasan permukaan air, turun naik paras air, beban angin, arus, gelombang, laluan operasi serta keperluan penyelenggaraan. Setiap reka bentuk sistem penambatan hendaklah disemak dan disahkan oleh Jurutera Profesional dengan Perakuan Amalan (PEPC) atau pihak profesional yang berkelayakan.

Konfigurasi sistem penambatan yang boleh digunakan termasuk:

1. Tambatan tebing (*shore anchoring*), sesuai bagi badan air bersaiz kecil hingga sederhana atau tapak yang mempunyai keadaan tebing yang stabil.
2. Tambatan dasar (*bottom anchoring*), sesuai bagi sistem bersaiz besar atau badan air yang mempunyai keadaan dasar yang sesuai.
3. Tambatan hibrid (*hybrid anchoring*), iaitu gabungan tambatan tebing dan tambatan dasar bagi meningkatkan kestabilan sistem.
4. Tambatan cerucuk (*piling anchoring*), sesuai bagi badan air cetek hingga sederhana, tertakluk kepada keadaan dasar, kesan terhadap ekologi dan kelulusan pemilik badan air.

Pemilihan konfigurasi penambatan hendaklah dibuktikan melalui kajian batimetri, kajian geoteknik atau penilaian dasar badan air, analisis beban alam sekitar, analisis pergerakan platform dan penilaian risiko terhadap kabel, struktur serta operasi badan air.

6.5.2 Komponen Sistem Penambat

Komponen utama sistem penambat termasuk sauh, tali penambat, buoy, connector, shackles, chain, rope, tensioner dan komponen sokongan lain yang berkaitan.

Bahan komponen sistem penambat hendaklah tahan terhadap hakisan, degradasi UV, tekanan mekanikal, perubahan paras air, beban dinamik, *bio-fouling* dan keadaan cuaca jangka panjang.

Komponen yang berpotensi bersentuhan dengan air hendaklah dipilih supaya tidak mencemarkan badan air dan hendaklah tertakluk kepada keperluan ujian bahan, larut lesap atau pemantauan.

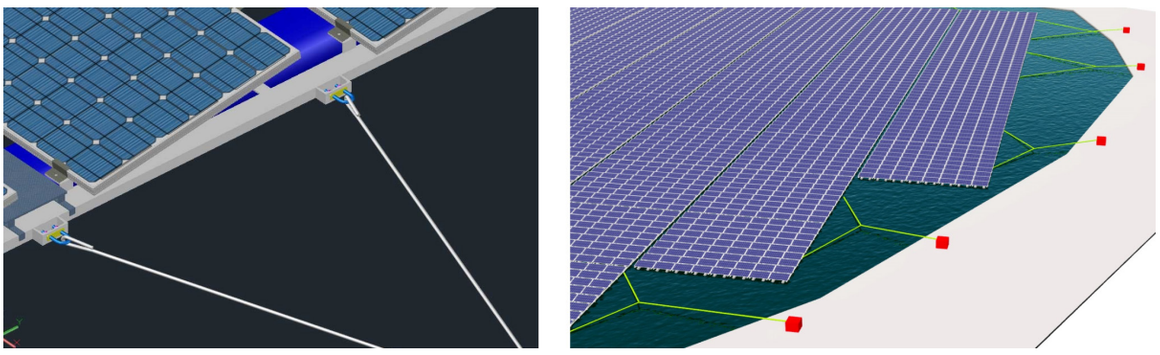
6.5.3 Penilaian dan Ujian

Ujian beban tegangan (*tension load test*) hendaklah dilaksanakan sebelum pemasangan kekal bagi mengesahkan kapasiti dan prestasi sistem penambat. Sistem penambat hendaklah direka bentuk untuk menahan kelajuan angin maksimum berdasarkan rekod meteorologi tempatan sekurang-kurangnya tiga puluh (30) tahun berdasarkan kajian literatur. Sekiranya rekod tempatan tidak mencukupi, data hendaklah disokong dengan sumber meteorologi jangka panjang yang diiktiraf, pemodelan angin, faktor keselamatan yang sesuai dan pengesahan oleh Jurutera Profesional.

Reka bentuk sistem penambat hendaklah diselaraskan dengan IEC 62908, DNV-RP-0584 atau piawaian setara yang bersesuaian bagi keperluan reka bentuk struktur. Pemeriksaan integriti struktur dan sistem penambat hendaklah turut mengambil kira beban reka bentuk dengan tempoh ulangan lima puluh (50) tahun atau nilai yang lebih ketat sebagaimana ditetapkan oleh agensi teknikal.

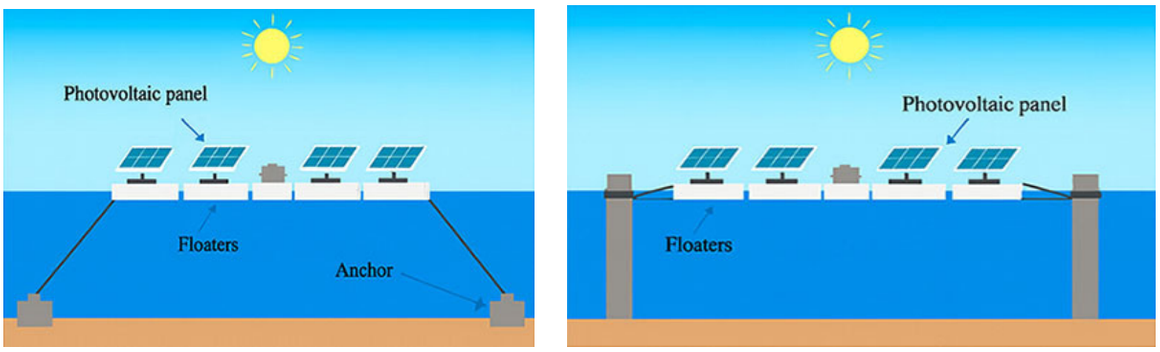
Sistem penambat hendaklah membenarkan pergerakan platform secara terkawal akibat perubahan paras air tanpa menyebabkan tegangan berlebihan terhadap kabel, kerosakan struktur, pergerakan luar kawalan atau gangguan kepada fungsi badan air.

Rajah 6.2: Contoh diagram *Shore Anchoring* platform solar terapung



(Sumber: http://www.floating-solar.com/technologies.html)

Rajah 6.4: Contoh diagram *Piling Anchoring technique* (kiri) dan *Bottom Anchoring technique* (kanan)



(Sumber: https://www.mbt-energy.com/news/industry/2106181.html)

Rajah 6.3: *Shore anchoring technique* yang diaplikasikan di Ladang SOlar Terapung WD Solar Sdn Bhd, Bukit Changgang, Dengkil, Selangor (Photo: NAHRIM, Malaysia)



6.6 Sistem Sambungan Elektrik: Solar, Inverter dan Grid

Reka bentuk sambungan elektrik hendaklah mengambil kira faktor keselamatan air, kelembapan, kakisan, kestabilan platform, risiko banjir, risiko kilat, akses penyelenggaraan, keselamatan pekerja, perlindungan sumber air dan pematuhan kepada keperluan utiliti.

Output arus terus (*Direct Current*, DC) daripada modul PV hendaklah disalurkan ke DC *junction box* atau *floating combiner box* sebelum dihantar ke inverter melalui kabel terapung, kabel atas air atau kabel dasar yang direka bentuk khusus untuk persekitaran badan air.

Inverter dan transformer hendaklah ditempatkan di kawasan daratan sejauh yang praktikal bagi mengurangkan risiko air, memudahkan penyelenggaraan dan meningkatkan keselamatan operasi. Bagi kawasan berisiko banjir, inverter, transformer dan peralatan elektrik utama hendaklah ditempatkan di atas platform bertingkat atau pada aras yang selamat daripada paras banjir reka bentuk.

Sekiranya *floating inverter platform* digunakan, reka bentuk hendaklah menyediakan perlindungan tambahan terhadap kemasukan air, hakisan, pergerakan platform, keselamatan elektrik, pembumian ke daratan, akses penyelenggaraan dan pelan tindak balas kecemasan.

Output arus ulang alik (*Alternating Current*, AC) daripada inverter hendaklah dihantar ke AC *Distribution Board* (ACDB), transformer station atau pencawang sebelum penyambungan ke grid.

Pembangunan Sistem Penyimpanan Tenaga Bateri (*Battery Energy Storage System*, BESS), sekiranya dicadangkan berhampiran badan air, hendaklah tertakluk kepada penilaian risiko kebakaran, keselamatan elektrik, risiko banjir, pengurusan bahan kimia, akses kecemasan dan keperluan Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia (JBPM), ST, PBT serta agensi teknikal berkaitan.

6.7 Pembangunan Sistem Penyimpanan Tenaga Bateri (*Battery Energy Storage System*, BESS)

Pembangunan Sistem Penyimpanan Tenaga Bateri atau *Battery Energy Storage System* (BESS), sekiranya dicadangkan sebagai sebahagian daripada pembangunan FPV, hendaklah dirancang dan direka bentuk secara bersepadu dengan sistem penjanaan solar, sistem sambungan elektrik, keperluan grid, keselamatan kebakaran, keselamatan elektrik, perlindungan badan air serta operasi dan penyelenggaraan projek.

BESS hendaklah ditempatkan di kawasan daratan yang selamat, stabil dan mudah diakses bagi tujuan operasi, penyelenggaraan, pemeriksaan keselamatan serta tindak balas kecemasan. Penempatan BESS di atas platform terapung adalah tidak digalakkan, kecuali dibuktikan selamat melalui penilaian risiko terperinci, reka bentuk kejuruteraan khas dan kelulusan bertulis daripada pihak berkuasa serta agensi teknikal berkaitan.

Rajah 6.5: Lightning arrester yang di pasang di Ladang solar terapung milik WD Solar Sdn Bhd (Photo: NAHRIM, Malaysia)



Bagi pembangunan BESS berhampiran badan air, reka bentuk hendaklah memastikan tiada risiko pencemaran kepada badan air akibat kebocoran bahan kimia, air larian tercemar, sisa pemadaman kebakaran, kerosakan bateri, pelepasan elektrolit atau kegagalan sistem keselamatan.

6.7.1 Komponen Utama BESS

Komponen utama BESS hendaklah dikenal pasti dan diperincikan dalam dokumen reka bentuk.

Komponen tersebut sekurang-kurangnya merangkumi:

1. Modul bateri atau *battery cells/modules*.
2. Rak bateri atau *battery racks*.
3. *Battery Management System* (BMS) bagi pemantauan voltan, arus, suhu, State of Charge (SoC), State of Health (SoH), imbangan sel dan pengesanan anomali.
4. *Power Conversion System* (PCS) atau *bi-directional* inverter bagi proses pengecasan dan nyahcas tenaga.
5. Transformer, *switchgear*, AC/DC *protection system* dan sistem sambungan grid.
6. *Energy Management System* (EMS) bagi kawalan operasi BESS, integrasi dengan sistem FPV dan pengoptimuman penghantaran tenaga.

7. Sistem penyejukan, pengudaraan atau kawalan suhu.
8. Sistem pengesanan asap, haba, gas dan kebakaran.
9. Sistem pemadaman atau kawalan kebakaran yang sesuai dengan jenis teknologi bateri.
10. Sistem pembumian, perlindungan kilat dan Surge Protection Device (SPD).
11. Sistem pemantauan masa nyata, data logger dan integrasi SCADA.
12. Sistem kawalan akses, CCTV, pencahayaan keselamatan dan papan tanda amaran.
13. Kemudahan tadahan, containment atau kawalan air larian bagi mengelakkan pencemaran badan air.

6.7.2 Keperluan Lokasi dan Susun Atur BESS

Lokasi BESS hendaklah dipilih berdasarkan prinsip mengelakkan risiko kepada badan air, komuniti, pekerja, aset utiliti dan operasi kecemasan. Penempatan BESS hendaklah mengambil kira jarak selamat daripada tebing badan air, muka sauk air mentah, kawasan banjir, kawasan cerun tidak stabil, kawasan awam, laluan kecemasan, pencawang, bangunan kawalan dan struktur kritikal empangan.

BESS hendaklah ditempatkan di atas kawasan yang mempunyai aras platform melebihi paras banjir reka bentuk atau paras air maksimum yang ditetapkan oleh pemilik atau pengendali badan air. Bagi kawasan yang mempunyai risiko banjir, platform bertingkat, sistem saliran tapak, flood barrier atau langkah perlindungan lain hendaklah disediakan.

Susun atur BESS hendaklah menyediakan jarak pemisahan yang mencukupi antara kontena atau kabinet bateri, ruang akses JBPM, laluan kenderaan kecemasan, zon pemindahan, kawasan kerja penyelenggaraan dan kawasan penempatan peralatan sokongan.

BESS tidak boleh ditempatkan di kawasan yang boleh menyebabkan air larian tercemar memasuki badan air secara langsung. Sistem saliran, bunding, sump, oil trap atau containment hendaklah disediakan sekiranya terdapat risiko pencemaran daripada air pemadaman kebakaran, bahan kimia atau sisa operasi.

6.7.3 Keperluan Reka Bentuk dan Keselamatan BESS

Reka bentuk BESS hendaklah mematuhi Akta Bekalan Elektrik 1990 [Akta 447], Peraturan-Peraturan Elektrik 1994, keperluan Suruhanjaya Tenaga (ST), keperluan utiliti, Kod Grid, Kod Pengagihan serta garis panduan keselamatan BESS yang berkuat kuasa.

Reka bentuk BESS hendaklah mengambil kira piawaian atau rujukan teknikal berkaitan seperti IEC 62933, IEC 62619, IEC 62485, IEC 62109, IEC 62446, NFPA 855, UL 9540, UL 9540A atau piawaian setara yang diterima oleh ST, JBPM dan agensi teknikal berkaitan.

Setiap BESS hendaklah dilengkapi dengan Battery Management System (BMS) yang berfungsi secara automatik untuk mengesan keadaan luar biasa seperti suhu berlebihan, voltan tidak normal, arus berlebihan, ketidakseimbangan sel, kegagalan penyejukan, risiko thermal runaway dan kerosakan modul bateri.

BESS hendaklah mempunyai sistem pengasingan automatik dan manual yang membolehkan pemutusan bekalan secara selamat semasa kecemasan, penyelenggaraan, kebakaran, banjir atau kegagalan sistem.

Reka bentuk hendaklah menyediakan perlindungan terhadap lebihan arus, litar pintas, arus bocor, surge, kilat, kegagalan pembumian, pemanasan melampau dan kemasukan air atau habuk. Tahap perlindungan IP bagi kabinet, kontena dan komponen elektrik hendaklah bersesuaian dengan lokasi pemasangan dan risiko pendedahan.

Sistem penyejukan BESS hendaklah direka bentuk bagi memastikan suhu operasi bateri kekal dalam julat selamat yang ditetapkan oleh pengeluar. Kegagalan sistem penyejukan hendaklah mencetuskan amaran, tindakan kawalan automatik dan prosedur penutupan selamat sekiranya perlu.

6.7.4 Keselamatan Kebakaran dan Tindak Balas Kecemasan

BESS hendaklah dilengkapi dengan sistem pengesanan awal kebakaran, haba, asap dan gas yang sesuai dengan teknologi bateri yang digunakan. Sistem pengesanan hendaklah diintegrasikan dengan sistem amaran, SCADA, BMS dan pelan tindak balas kecemasan tapak.

Sistem kawalan atau pemadaman kebakaran hendaklah direka bentuk berdasarkan jenis bateri, kapasiti tenaga, konfigurasi kontena, hasil penilaian risiko kebakaran serta keperluan JBPM. Reka bentuk hendaklah mengambil kira risiko thermal runaway, pelepasan gas mudah terbakar, penyebaran kebakaran antara modul, serta keperluan penyejukan atau pengasingan semasa kecemasan.

Pelan tindak balas kecemasan BESS hendaklah disediakan dan diselaraskan dengan JBPM, ST, PBT, pemilik atau pengendali badan air, operator air dan agensi berkaitan. Pelan tersebut hendaklah merangkumi prosedur pengesanan awal, pengasingan sistem, pengungsian kawasan, kawalan akses, pemadaman kebakaran, kawalan air larian tercemar dan pemulihan selepas insiden.

Pemaju hendaklah menyediakan latihan kecemasan secara berkala kepada pasukan operasi dan penyelenggaraan, termasuk simulasi kebakaran, kegagalan bateri, banjir, kebocoran bahan kimia dan pemutusan bekalan elektrik.

Laluan akses kecemasan ke kawasan BESS hendaklah disediakan dan sentiasa boleh digunakan oleh jentera penyelamat. Kawasan BESS hendaklah dilengkapi papan

tanda amaran, maklumat kapasiti tenaga, jenis bateri, nombor kecemasan, pelan lokasi suis pengasingan dan maklumat bahan berbahaya yang berkaitan.

6.7.5 Perlindungan Badan Air dan Alam Sekitar

Bagi BESS yang dibangunkan berhampiran badan air, reka bentuk tapak hendaklah memasukkan langkah perlindungan alam sekitar bagi mengelakkan pencemaran air permukaan, air tanah dan badan air.

Langkah perlindungan hendaklah merangkumi sistem containment, saliran terkawal, bunding, sump, pemisah minyak atau bahan kimia, sistem kawalan air larian dan prosedur pengurusan sisa yang bersesuaian. Air larian daripada kawasan BESS tidak boleh dilepaskan terus ke badan air tanpa rawatan atau kawalan yang diluluskan.

Sebarang bateri rosak, modul bateri tamat hayat, elektrolit, komponen elektronik, bahan tercemar atau sisa operasi hendaklah diuruskan sebagai sisa yang sesuai mengikut peraturan alam sekitar dan keperluan pihak berkuasa berkaitan. Pelan pengurusan sisa BESS hendaklah disediakan sebelum operasi dimulakan.

Bagi badan air bekalan air minuman, pemaju hendaklah menyediakan prosedur tambahan bagi kawalan pencemaran, termasuk pelan pemberhentian operasi sementara, notifikasi segera kepada operator air, pensampelan kualiti air selepas insiden dan tindakan pemulihan.

6.7.6 Operasi, Pemantauan dan Penyelenggaraan BESS

BESS hendaklah dipantau secara masa nyata melalui BMS, EMS dan/atau SCADA. Parameter yang hendaklah dipantau sekurang-kurangnya merangkumi suhu bateri, voltan, arus, SoC, SoH, status penyejukan, status pengudaraan, amaran gas, status sistem kebakaran, status pengasingan, kuasa masuk dan keluar serta status sambungan grid.

Data operasi BESS hendaklah direkodkan dan disimpan bagi tujuan audit, penyelenggaraan, siasatan insiden, pemantauan prestasi dan pelaporan kepada pihak berkuasa sekiranya diperlukan.

Penyelenggaraan berkala hendaklah dilaksanakan berdasarkan arahan pengeluar, piawaian berkaitan dan pelan O&M projek. Pemeriksaan hendaklah meliputi integriti bateri, sistem penyejukan, sistem kebakaran, pembumian, sambungan elektrik, containment, saliran, sistem pemantauan dan keadaan fizikal tapak.

Sebarang kejadian abnormal seperti suhu berlebihan, amaran gas, kegagalan penyejukan, kebocoran, banjir, kebakaran kecil, kegagalan BMS atau pemutusan luar jangka hendaklah direkodkan, disiasat dan dilaporkan kepada pihak berkaitan mengikut tahap risiko.

6.7.7 Penyahtaraan dan Pengurusan Tamat Hayat BESS

Reka bentuk BESS hendaklah mengambil kira keperluan penyahtaraan sejak peringkat awal projek. Pelan penyahtaraan hendaklah merangkumi nyahcas selamat, pengasingan elektrik, pembongkaran, pengangkutan, kitar semula, pelupusan, pemulihan tapak dan pengurusan risiko pencemaran.

Bateri tamat hayat, bateri rosak dan komponen elektronik hendaklah diuruskan melalui fasiliti atau kontraktor yang berlesen dan mempunyai keupayaan mengendalikan sisa bateri serta sisa elektrik dan elektronik secara selamat.

Bon penyahtaraan atau jaminan kewangan hendaklah dipertimbangkan bagi memastikan kos pembongkaran, pengangkutan, kitar semula, pelupusan dan pemulihan tapak dapat ditanggung sekiranya pemaju gagal melaksanakan tanggungjawab penyahtaraan.

6.8 Pengurusan Kabel di Atas Air

Pengurusan kabel merupakan aspek penting bagi menjamin keselamatan sistem elektrik, kemudahan penyelenggaraan dan ketahanan jangka panjang.

6.8.1 Jenis Kabel

Kabel yang digunakan hendaklah sesuai untuk sistem PV dan persekitaran badan air, termasuk kabel PV marin, kabel bawah air atau kabel lain yang mempunyai tahap perlindungan terhadap kelembapan, sinaran UV, kakisan, bahan kimia, geseran dan pergerakan mekanikal.

Kabel hendaklah mempunyai perlindungan berganda (*double insulation*) dan spesifikasi yang sesuai dengan beban elektrik, lokasi pemasangan, pergerakan platform serta risiko pendedahan kepada air.

6.8.2 Laluan Kabel Atas Air

Kabel hendaklah disusun dalam tray terapung, saluran fleksibel *flex conduit)* atau sistem sokongan kabel yang direka bentuk bagi mengelakkan kabel tergantung bebas di atas air.

Laluan kabel hendaklah mengambil kira perubahan paras air, gelombang, arus, pergerakan platform, laluan bot, kawasan penyelenggaraan dan zon keselamatan.

Laluan kabel hendaklah ditandakan dengan penanda keselamatan yang jelas bagi memudahkan pemeriksaan, penyelenggaraan dan tindakan kecemasan.

6.8.3 Sambungan Kabel ke Daratan

Titik sambungan antara kabel terapung dan kabel daratan hendaklah dilindungi dalam kotak sambungan kalis air (waterproof junction box) atau sistem perlindungan yang setara.

Titik peralihan kabel hendaklah direka bentuk untuk menahan perubahan paras air, kesan gelombang, pergerakan platform, beban tegangan, risiko banjir dan kerosakan mekanikal.

6.9 Keselamatan Elektrik

Keselamatan elektrik merupakan komponen utama dalam reka bentuk dan operasi sistem FPV bagi memastikan perlindungan terhadap manusia, peralatan, aset awam dan sumber air. Sistem FPV hendaklah direka bentuk, dipasang, diuji, ditauliahkan dan disenggara mengikut piawaian keselamatan yang diiktiraf bagi mengelakkan risiko kejutan elektrik, litar pintas, kebakaran, kebocoran arus, kerosakan peralatan atau pencemaran air.

Dalam konteks pemasangan di atas badan air, risiko tambahan seperti kelembapan tinggi, kemasukan air, hakisan, sambaran kilat, pergerakan platform dan interaksi dengan air tawar hendaklah diberi perhatian khusus.

Semua peralatan elektrik termasuk modul, inverter, kabel, combiner box, junction box, ACDB dan peralatan sokongan hendaklah mempunyai tahap perlindungan kemasukan air dan habuk yang sesuai, contohnya IP67 atau lebih tinggi bagi komponen yang terdedah kepada persekitaran lembap atau berisiko terendam, berdasarkan IEC 60529: Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code).

Sistem hendaklah dilengkapi dengan perlindungan arus bocor, perlindungan lebihan arus, suis pengasingan, suis kecemasan, sistem pembumian, perlindungan kilat, Surge Protection Device (SPD) dan label keselamatan yang jelas.

Semua struktur logam, peralatan elektrik dan komponen sokongan hendaklah dibumikan dengan betul mengikut *MS IEC 60364: Low Voltage Electrical Installations*, Akta Bekalan Elektrik 1990 [Akta 447], Peraturan-Peraturan Elektrik 1994 dan kehendak Suruhanjaya Tenaga.

Pematuhan kepada piawaian seperti *IEC 62109: Safety of Power Converters for Use in Photovoltaic Power Systems* dan *IEC 62446: Photovoltaic (PV) Systems – Requirements for Testing, Documentation and Maintenance* atau piawaian setara hendaklah dipastikan bagi menjamin keselamatan, dokumentasi, pengujian dan penyelenggaraan sistem PV tersambung grid.

6.10 Rekabentuk Pepasangan

Cadangan rekabentuk pepasangan seperti Jadual 6.1

Jadual 6.1 Perincian maklumat rekabentuk

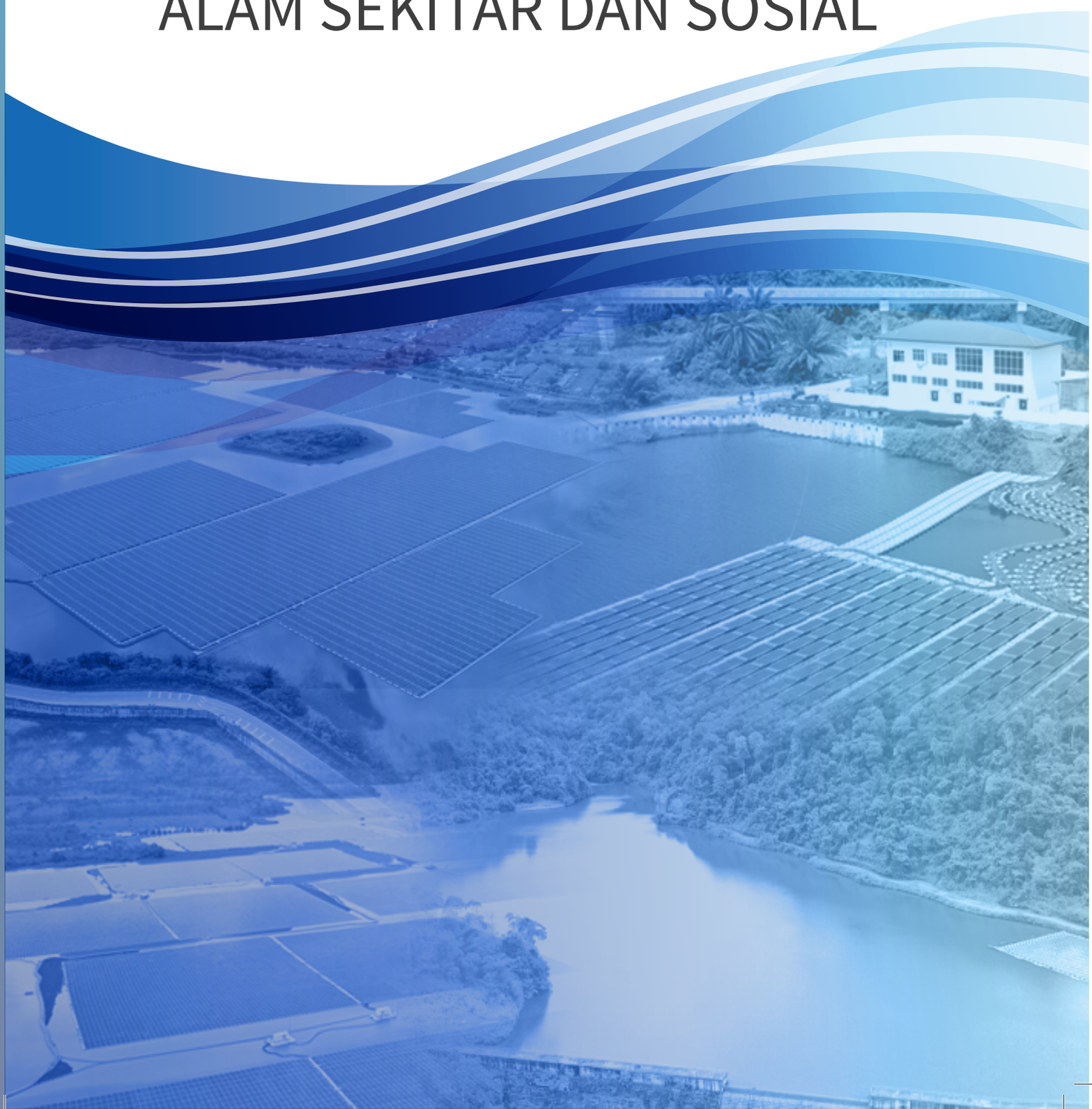
Bil.	Komponen	Keperluan Rekabentuk
1	Solar panel / tatasusunan FPV	Sistem boleh direka bentuk sebagai satu pulau atau beberapa pulau berasingan, tertakluk kepada had liputan, zon penampan, koridor bot, akses operasi dan fungsi badan air. Setiap pulau berasingan hendaklah mempunyai sistem pembumian dan perlindungan elektrik yang sesuai.
2	Had liputan tatasusunan FPV	Had liputan maksimum tidak melebihi 60% bagi badan air umum atau nilai yang lebih rendah bagi badan air bekalan air minuman, badan air cetek, badan air sensitif atau sebagaimana ditetapkan oleh PBN, pemilik badan air dan agensi teknikal.
3	Modul PV	Modul PV hendaklah memenuhi piawaian prestasi dan keselamatan yang berkaitan, termasuk IEC 61215, IEC 61730, IEC 61701, IEC 62716 atau piawaian setara yang diterima oleh agensi teknikal. Spesifikasi bahan, saiz, berat, kaedah pemasangan, sudut kecondongan, jarak antara modul dan keperluan penyelenggaraan hendaklah dinyatakan dengan jelas dalam dokumen reka bentuk.
4	Modul kaca berganda	Penggunaan modul kaca berganda (double glass module) hendaklah diberi keutamaan bagi semua pembangunan FPV dan diwajibkan bagi badan air bekalan air minuman atau badan air sensitif, khususnya bagi permukaan panel atau konfigurasi pemasangan yang berdekatan dengan permukaan air. Keperluan ini bertujuan mengurangkan risiko pelepasan bahan dalaman panel sekiranya berlaku kerosakan, bencana, hentaman, kebakaran atau kegagalan struktur.
5	Teknologi panel solar	Teknologi berasaskan silikon seperti monocrystalline silicon dan polycrystalline silicon serta teknologi lain yang terbukti selamat seperti CIGS boleh dipertimbangkan. Teknologi yang mengandungi bahan berisiko seperti CdTe atau GaAs hendaklah tertakluk kepada penilaian risiko, ujian larut lesap, kawalan pencemaran, pelan pengurusan sisa dan kelulusan agensi berkaitan. Bagi badan air bekalan air minuman atau badan air sensitif, teknologi berisiko tinggi adalah tidak digalakkan melainkan dibuktikan selamat.
6	Struktur platform terapung	Platform hendaklah menggunakan bahan yang sesuai untuk persekitaran badan air seperti HDPE atau bahan komposit lain yang tahan UV, kakisan, biofouling, perubahan suhu, gelombang dan degradasi jangka panjang. Bagi badan air bekalan air minuman, bahan yang bersentuhan atau berpotensi bersentuhan dengan air hendaklah menggunakan bahan gred makanan atau piawaian setara yang diterima oleh operator air dan agensi teknikal.
7	Sistem Penambat	Sistem penambatan hendaklah direka bentuk berdasarkan batimetri, jenis dasar badan air, sedimentasi, kedalaman, turun naik paras air, beban angin, arus, gelombang dan keperluan penyelenggaraan. Reka bentuk hendaklah disemak dan disahkan oleh Jurutera Profesional dengan Perakuan Amalan (PEPC) atau pihak profesional yang berkelayakan.

Bil.	Komponen	Keperluan Rekabentuk
8	Inverter dan transformer	Lokasi pemasangan hendaklah di kawasan daratan sejauh yang praktikal bagi mengurangkan risiko air dan memudahkan penyelenggaraan. Bagi kawasan risiko banjir, peralatan hendaklah ditempatkan di atas platform bertingkat atau aras selamat. Sekiranya dipasang di atas platform terapung, pembumian ke daratan, akses penyelenggaraan, perlindungan air, perlindungan kakisan dan keselamatan elektrik tambahan hendaklah disediakan.
9	Kawasan daratan sokongan	Penggunaan kawasan daratan hendaklah diminimumkan tanpa menjejaskan keselamatan dan operasi. Keperluan daratan hendaklah ditentukan berdasarkan reka bentuk sebenar, sambungan grid, akses operasi, status tanah, risiko banjir, topografi dan kelulusan PBN/PBT.
10	Sistem Penyimpanan Tenaga Bateri (BESS)	Reka bentuk BESS hendaklah mematuhi keperluan ST, JBPM, PBT, operator utiliti, Kod Grid, Kod Pengagihan dan agensi teknikal berkaitan. Reka bentuk hendaklah mengambil kira piawaian atau rujukan teknikal seperti IEC 62933, IEC 62619, IEC 62485, IEC 62109, IEC 62446, NFPA 855, UL 9540, UL 9540A atau piawaian setara yang diterima oleh agensi teknikal.
11	Sistem penyejukan dan perlindungan peralatan	Inverter, transformer, kabinet elektrik dan BESS hendaklah mempunyai sistem penyejukan atau pengudaraan yang mencukupi serta tahap perlindungan IP yang bersesuaian, seperti IP65/IP67 atau lebih tinggi mengikut lokasi, risiko pendedahan, kelembapan, banjir dan kemungkinan kemasukan air atau habuk.
12	Sistem pemantauan prestasi / SCADA	Sistem SCADA atau data logger hendaklah dipasang bagi mengumpul data prestasi panel, data elektrik, data meteorologi, status BESS dan parameter operasi secara masa nyata. Bagi BESS, parameter minimum hendaklah merangkumi suhu bateri, voltan, arus, State of Charge (SoC), State of Health (SoH), status penyejukan, amaran gas, status sistem kebakaran, status pengasingan dan kuasa masuk/keluar.
13	Sistem perlindungan petir dan surge	Surge Protection Device (SPD), lightning arrester dan sistem perlindungan kilat hendaklah dipasang pada panel, inverter, BESS, PCS, MCC panel, ACDB dan peralatan berkaitan. Sistem pembumian hendaklah disambungkan dengan selamat ke daratan dan mematuhi Akta Bekalan Elektrik 1990 serta Peraturan-Peraturan Elektrik 1994.
14	Pematuhan grid	Penyambungan grid hendaklah mematuhi Kod Grid, Kod Pengagihan, syarat utiliti, keperluan Suruhanjaya Tenaga dan MS 1837:2018 Installation of Grid-Connected Photovoltaic (PV) System atau piawaian setara. Integrasi BESS dengan FPV hendaklah tidak menjejaskan kestabilan grid, kualiti kuasa, kawalan voltan, frekuensi dan perlindungan sistem.



BAB 7

PERTIMBANGAN ALAM SEKITAR DAN SOSIAL



7.1 Pengenalan

Sebelum pembangunan projek FPV dilaksanakan, pertimbangan alam sekitar dan sosial perlu diambil kira secara menyeluruh. Langkah ini memastikan projek dirancang dengan meminimumkan risiko terhadap kualiti air, biodiversiti, keselamatan awam, serta kesejahteraan komuniti setempat. Pendekatan pencegahan ini adalah selaras dengan prinsip pembangunan lestari dan penggunaan sumber air negara secara berhemah.

7.2 Impak Alam Sekitar

Penilaian impak alam sekitar bagi projek FPV hendaklah mengambil kira kesan sebelum pembangunan, semasa pembinaan, semasa operasi dan semasa penyahtaraan projek. Penilaian ini hendaklah merangkumi aspek kualiti air, hidrologi, batimetri, biodiversiti, keselamatan awam, risiko sosial, perubahan iklim, operasi badan air dan ketahanan struktur.

7.2.1 Sebelum Pembangunan (Pra-Pembinaan)

1. Kualiti Air, Hidrologi dan Batimetri

   Pemasangan sistem FPV boleh memberi kesan terhadap kualiti air dan dinamik hidrologi badan air. Sehubungan itu, penilaian awal terhadap hidrologi, batimetri dan parameter fizikal badan air hendaklah dilaksanakan sebelum pembangunan dijalankan.

   Kajian hidrologi dan batimetri hendaklah menentukan:

   i. Kedalaman dan profil dasar badan air.
   ii. Corak aliran air, arus dan kadar pertukaran air.
   iii. Kapasiti simpanan air serta perubahan paras air bermusim.
   iv. Lokasi sesuai bagi pemasangan tatasusunan FPV tanpa mengganggu fungsi operasi badan air.
   v. Zon operasi kritikal seperti muka sauk, spillway, outlet, laluan penyelenggaraan, laluan bot dan kawasan sedimentasi.

   Maklumat ini hendaklah digunakan bagi memastikan tatasusunan FPV, sistem penambatan, laluan kabel dan kemudahan sokongan tidak menghalang aliran semula jadi, operasi pelepasan air, kerja desilting atau desludging, serta akses kepada struktur operasi kritikal badan air.

2. Biodiversiti dan Ekologi

   Kajian ekologi awal hendaklah menilai flora, fauna, habitat akuatik, kawasan riparian, kawasan tebing, habitat sensitif dan spesies dilindungi. Risiko kehilangan habitat, degradasi habitat, pemecahan habitat, gangguan kepada spesies terancam, spesies invasif, perubahan hidrologi, pencemaran dan kesan perubahan iklim hendaklah dikenal pasti dan dilaporkan.

Penentuan tahap penilaian biodiversiti tidak boleh hanya berdasarkan status pewartaan kawasan. Penilaian hendaklah turut mengambil kira jenis ekosistem, kehadiran spesies dilindungi, sensitiviti hidupan liar, tapak berkepentingan biodiversiti, kawasan pembiakan, laluan migrasi dan maklum balas pihak berkepentingan.

3. Kesan Perubahan Iklim
   Penilaian Risiko Iklim (*Climate Risk Assessment*) hendaklah dijalankan bagi menilai kesan peningkatan suhu, perubahan corak hujan, paras air, kemarau, banjir dan ribut terhadap reka bentuk struktur, sistem penambatan, keselamatan elektrik, operasi badan air dan ketahanan sistem FPV.

7.2.2 Semasa Pembangunan (Fasa Pembinaan)

1. Kualiti Air, Hidrologi dan Batimetri
   Aktiviti pembinaan dan pemasangan boleh menyebabkan peningkatan kelodak, pelepasan minyak pelincir, habuk, serpihan bahan dan gangguan fizikal terhadap dasar atau tebing badan air. Langkah mitigasi seperti kaedah kerja rendah gangguan, penapis kelodak, kawalan hakisan, sistem saliran mesra alam, pengurusan sisa dan kawalan tumpahan hendaklah dilaksanakan.

   Pemaju hendaklah menyediakan pelan pengurusan bahan dan komponen yang menyenaraikan jenis bahan, kuantiti, lokasi penggunaan, potensi pendedahan kepada air, jangka hayat bahan, laluan degradasi, risiko larut lesap dan kaedah pengurusan semasa pemasangan, operasi, penyelenggaraan dan penyahtaraan.

2. Bunyi dan Kualiti Udara
   Kawalan terhadap bunyi, habuk terampai (*Particulate Matter*, PM10), pelepasan kenderaan dan gangguan tapak hendaklah dilaksanakan secara berkala bagi mengurangkan kesan kepada komuniti, hidupan liar dan pengguna badan air.

3. Keselamatan dan Akses Awam
   Reka bentuk zon larangan hendaklah minimum, beralasan dan ditandakan dengan jelas. Laluan bot komuniti hendaklah dikekalkan sejauh yang praktikal, manakala prosedur keselamatan semasa cuaca buruk, komunikasi risiko kepada penduduk dan kawalan akses hendaklah dilaksanakan. Sekiranya penutupan sementara diperlukan, pemaju hendaklah menyediakan notis awal, laluan alternatif, tempoh penutupan yang terhad, papan tanda yang jelas dan mekanisme aduan yang mudah diakses oleh komuniti.

7.2.3 Selepas Pembangunan (Operasi dan Penamatan)

1. Pemantauan Alam Sekitar
   Pemantauan alam sekitar hendaklah dilaksanakan secara berkala terhadap

kualiti air, biodiversiti, suhu mikro, oksigen terlarut, parameter hidrologi, keselamatan awam dan indikator sosial.

Pemantauan kualiti air hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya empat (4) kali setahun bagi semua tapak FPV. Bagi badan air bekalan air minuman, pemantauan bulanan pada tahun pertama operasi hendaklah dipertimbangkan sebelum dikurangkan kepada suku tahunan, tertakluk kepada keputusan pemantauan serta persetujuan operator air dan pihak berkuasa berkaitan.

Ambang tindakan hendaklah ditetapkan bagi sebarang perubahan ketara terhadap kualiti air, profil terma, oksigen terlarut, nutrien, mikrosistin, mikroplastik, biodiversiti dan indikator sosial.

2. Kesan Sosial dan Ekonomi
   Projek FPV hendaklah mengekalkan akses awam dan rekreasi yang munasabah serta memberi peluang pekerjaan kepada komuniti tempatan. Gangguan terhadap aktiviti ekonomi sedia ada seperti perikanan, akuakultur, pelancongan, rekreasi dan perniagaan mikro hendaklah diminimumkan.

3. Kesan Perubahan Iklim dan Ketahanan Struktur
   Pemanasan global, perubahan hujan, banjir, ribut ekstrem dan kemarau boleh mempercepat degradasi bahan apungan serta mengubah dinamik ekologi badan air. Pelan adaptasi dan pelan tindak balas bencana hendaklah disediakan bagi menghadapi risiko tersebut.

4. Penyahtaraan dan Pemulihan
   Pelan penyahtaraan hendaklah menjelaskan kaedah pembongkaran, pelupusan panel solar, pengurusan sisa elektrik dan elektronik, pengurusan BESS sekiranya berkaitan, pemulihan habitat serta pemulihan tapak kepada keadaan asal atau lebih baik daripada sebelum pembangunan.

7.3 Pengurusan Kesan Khusus Pembangunan FPV

7.3.1 Kualiti Air

Bagi memastikan pembangunan dan operasi FPV tidak memberi kesan negatif terhadap badan air, penilaian dan pengurusan kualiti air hendaklah dilaksanakan secara menyeluruh. Penilaian asas kualiti air atau kajian garis dasar hendaklah dijalankan sebelum sebarang pemasangan bagi menentukan status semasa kualiti air di lokasi cadangan.

Pemantauan kualiti air hendaklah meliputi parameter dalam Jadual 1: Kualiti Air Mentah yang Disyorkan oleh Kementerian Kesihatan Malaysia *(Recommended Raw Water Quality Criteria)* serta parameter tambahan seperti mikroplastik, mikrosistin, indikator sianobakteria, logam dan metaloid yang berkaitan dengan komponen FPV.

Parameter pemantauan hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya suhu, pH, oksigen terlarut, kekonduksian, kekeruhan, jumlah pepejal terampai, nutrien, BOD, COD, klorofil-a, merkuri, kadmium, plumbum, arsenik, kromium, kuprum, perak, antimoni, mikroplastik, mikrosistin dan parameter lain berdasarkan penilaian risiko tapak.

1. Reka Bentuk Persampelan
   Lokasi persampelan hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya empat (4) lokasi, iaitu :
   i. kawasan aliran masuk atau hulu.
   ii. kawasan di bawah atau berhampiran tatasusunan FPV.
   iii. kawasan aliran keluar atau hilir.
   iv. lokasi kawalan yang tidak dipengaruhi oleh FPV.
   v. Bagi badan air bekalan air minuman, lokasi muka sauk air mentah hendaklah dimasukkan sekiranya berkaitan.

   Persampelan hendaklah dilaksanakan pada kedalaman berbeza, termasuk permukaan, pertengahan dan berhampiran dasar, tertakluk kepada kedalaman dan stratifikasi badan air. Bagi badan air bekalan air minuman dan badan air cetek, tinjauan bentik hendaklah diwajibkan bagi mengesan sianobakteria bentik, perubahan makrofit, alga bentik dan keadaan dasar yang mungkin tidak dapat dikesan melalui persampelan lajur air. Mikrosistin hendaklah dijadikan parameter mandatori bagi badan air bekalan air minuman, badan air cetek atau badan air yang berisiko mengalami eutrofikasi.

2. Protokol Profil Terma dan Limnologi
   Bagi projek FPV yang mempunyai liputan melebihi 15% di badan air berstrata atau badan air bekalan air minuman, kajian limnologi hendaklah dilaksanakan. Kajian tersebut hendaklah merangkumi suhu, oksigen terlarut, pH, nutrien, klorofil-a, kekeruhan, kedalaman secchi dan parameter berkaitan stratifikasi.

   Pengukuran profil menegak hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya pada tiga (3) kedalaman, iaitu permukaan, tengah lajur air dan berhampiran dasar, di stesen garis dasar dan stesen pemantauan operasi.

   Ambang sisihan daripada profil terma garis dasar hendaklah ditetapkan bagi mencetuskan tindakan pembetulan. Sebagai panduan, perubahan suhu melebihi 2°C berbanding lokasi kawalan pada kedalaman yang sama, penurunan oksigen terlarut melebihi 20% daripada garis dasar atau perubahan stratifikasi yang berterusan hendaklah mencetuskan siasatan punca dan langkah mitigasi.

3. *Lake Impact Assessment* (LIA)
   Bagi projek yang melibatkan badan air sensitif, badan air bekalan air minuman, badan air berstrata, badan air cetek atau projek dengan liputan FPV yang signifikan, Lake Impact Assessment (LIA) hendaklah dilaksanakan sebagai penilaian khusus

bagi menilai potensi perubahan terhadap keseimbangan limnologi, kualiti air, stratifikasi terma, kapasiti tampung beban nutrien, biodiversiti akuatik, ekologi bentik dan kestabilan hidrologi badan air.

Skop LIA hendaklah sekurang-kurangnya merangkumi profil terma, oksigen terlarut, pH, nutrien, klorofil-a, kedalaman secchi, mikrosistin, mikroplastik, ekologi bentik, biodiversiti akuatik, corak pencampuran air, hidrodinamik, risiko eutrofikasi dan impak terhadap operasi rawatan air.

LIA hendaklah dilaksanakan oleh pengamal atau perunding yang mempunyai kepakaran dalam limnologi, kualiti air, hidrodinamik atau bidang berkaitan. Data hendaklah dianalisis menggunakan kaedah yang diiktiraf dan disokong oleh makmal bertauliah.

Pengesahan data kualiti air hendaklah dilaksanakan melalui makmal bertauliah dan semakan oleh agensi teknikal berkaitan. NAHRIM boleh dirujuk bagi tujuan semakan teknikal, audit metodologi, pembangunan pangkalan data atau pengesahan khusus sekiranya ditetapkan oleh PBN, pemilik badan air, operator air atau agensi berkaitan, tertakluk kepada kapasiti, tatacara dan mekanisme yang ditetapkan.

4. Kesan Elektrokimia terhadap Air
   Reka bentuk sistem elektrik FPV hendaklah mengambil kira potensi kesan elektrokimia terhadap air, termasuk risiko arus sesat, medan elektromagnet, potensi elektrik setempat, kakisan elektrokimia dan pelepasan logam daripada komponen sistem.

   Penilaian hendaklah merangkumi semakan reka bentuk elektrik, keberkesanan pembumian, perlindungan arus bocor, risiko kakisan, potensi perubahan interaksi ion, risiko pembentukan skala, pemendakan, kompleksasi bahan terlarut dan potensi kesan terhadap proses koagulasi atau flokulasi bagi badan air yang digunakan untuk bekalan air minuman.

   Bagi badan air bekalan air minuman, ujian kimia air tambahan hendaklah dipertimbangkan sekiranya reka bentuk melibatkan komponen konduktif berhampiran air, kabel dasar, struktur logam atau sistem pembumian yang berpotensi mempengaruhi kimia air.

5. Bahan Tidak Toksik, Degradasi dan Mikroplastik
   Pemaju hendaklah mengemukakan maklumat lengkap mengenai komponen dan bahan yang digunakan, jumlah bahan, lokasi penggunaan, tempoh hayat reka bentuk, laluan degradasi, hasil sampingan degradasi dan potensi pelepasan mikroplastik atau bahan larut lesap. Penilaian hendaklah disokong oleh laporan

ujian makmal bertauliah yang mematuhi piawaian antarabangsa seperti ISO 17025, serta merujuk kepada piawaian bahan dan keselamatan seperti ISO 14001 (pengurusan alam sekitar), ISO 10993 (biokompatibiliti bahan), ASTM D543 (ketahanan bahan terhadap bahan kimia), ASTM D638 (sifat mekanikal plastik) dan garis panduan WHO atau USEPA berkaitan bahan yang bersentuhan dengan air.

Bahan apungan, kabel, salutan, pelindung, pengikat, buoy, connector dan komponen lain yang terdedah kepada air hendaklah tertakluk kepada penilaian kestabilan bahan, ujian larut lesap, pemeriksaan degradasi UV, kesan penuaan, tekanan mekanikal dan pendedahan berpanjangan kepada air. Ujian hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya ujian penuaan dipercepat (accelerated aging), ujian ketahanan UV mengikut ASTM G154 atau setara, ujian larut lesap logam berat dan bahan organik mengikut piawaian USEPA atau WHO, serta penilaian pelepasan mikroplastik berdasarkan metodologi yang diiktiraf. Semua keputusan ujian hendaklah dibandingkan dengan ambang kualiti air yang ditetapkan oleh Kementerian Kesihatan Malaysia, NAHRIM atau piawaian antarabangsa yang setara bagi memastikan tiada kesan negatif terhadap kualiti air dan keselamatan pengguna.

7.3.2 Biodiversiti Badan Air

Sekiranya tapak projek terletak berhampiran Kawasan Sensitif Alam Sekitar atau kawasan perlindungan, penilaian terperinci hendaklah dilaksanakan terhadap ekologi dan biodiversiti. Pengenalpastian potensi kesan ke atas biodiversiti hendaklah mengambil kira faktor kehilangan habitat, degradasi dan pemecahan habitat, spesies asing invasif, eksploitasi berlebihan, perubahan hidrologi, kapasiti tampung beban nutrien, pencemaran dan unjuran kesan perubahan iklim. Penentuan tahap penilaian biodiversiti hendaklah mengambil kira jenis ekosistem, spesies dilindungi, sensitiviti hidupan liar, kawasan biodiversiti utama, habitat kritikal, kawasan pembiakan, laluan migrasi dan input pakar. Bagi penentuan maklumat garis dasar akuatik, status habitat dan biodiversiti akuatik hendaklah ditentukan sebelum pemasangan.

Parameter yang perlu diberi penekanan termasuk:

1. Parameter biologi dalam *National Lake Water Quality Criteria and Standards* oleh NAHRIM seperti klorofil-a, jumlah fosforus dan kedalaman secchi.
2. Maklumat flora dan fauna akuatik seperti ikan, fitoplankton, zooplankton, makroinvertebrata dan makrofit.
3. Maklumat hidupan liar termasuk memerang, burung air, reptilia dan spesies dilindungi.
4. Maklumat ekologi bentik, termasuk sianobakteria bentik dan perubahan komuniti dasar bagi badan air bekalan air minuman atau badan air cetek.

Frekuensi pengukuran maklumat garis dasar biodiversiti hendaklah sekurang-kurangnya dua (2) kali, meliputi musim basah dan musim kering. Lokasi pengukuran hendaklah meliputi kawasan tapak cadangan, kawasan bernilai biodiversiti, kawasan tebing badan air dan lokasi kawalan.

Indeks trofik dan indeks kepelbagaian spesies seperti Indeks Shannon-Wiener dan Indeks Simpson hendaklah ditentukan mengikut komuniti flora dan fauna yang relevan. Penilaian habitat kritikal dan komprehensif hendaklah diwajibkan bagi projek yang terletak di dalam atau berhampiran kawasan yang diiktiraf di peringkat antarabangsa, kawasan bernilai biodiversiti tinggi, habitat sensitif atau kawasan yang mempunyai spesies dilindungi.

7.3.3 Akses Risiko Awam & Rekreasi

Bagi peringkat pra-pembinaan, reka bentuk dan pelaksanaan hendaklah mengambil kira keselamatan pengguna badan air serta mengekalkan akses rekreasi awam yang munasabah sepanjang tempoh kerja. Prinsip utama ialah akses diutamakan, meminimumkan gangguan, keselamatan diperkukuh dan komunikasi dilaksanakan secara telus.

1. Reka Bentuk Akses dan Zon Operasi

Susun atur hendaklah mengekalkan sekurang-kurangnya satu koridor pergerakan bot yang berterusan antara jeti atau laluan sedia ada dengan kawasan badan air terbuka. Lebar koridor hendaklah ditentukan berdasarkan jenis bot lazim, halaju, arus, keadaan angin dan keperluan keselamatan.

Zon larangan hendaklah ditetapkan pada skala minimum dan dihadkan kepada kawasan kerja aktif, peralatan berisiko, perimeter tatasusunan FPV dan kawasan keselamatan elektrik. Sempadan zon hendaklah ditandakan menggunakan pelampung penanda, boom terapung, elemen pemantul atau pencahayaan, serta dipetakan dalam pelan pengurusan tapak.

2. Pengurusan Masa dan Penutupan Sementara

Jadual kerja hendaklah mengelakkan tempoh puncak penggunaan komuniti seperti hujung minggu, cuti umum dan acara rekreasi. Sekiranya penutupan sementara tidak dapat dielakkan, pemohon hendaklah memberi notis awam bertulis lebih awal dalam tempoh munasabah, menyediakan laluan alternatif dan melaksanakan pembukaan semula secara berperingkat.

3. Keperluan Keselamatan Awam

Di kawasan kerja air, penghadang terapung hendaklah disediakan pada perimeter risiko. Papan tanda amaran dwibahasa sekurang-kurangnya Bahasa Melayu dan Bahasa Inggeris hendaklah dipasang, selain had laju bot, peralatan menyelamat, bot keselamatan bersiap siaga dan prosedur kerja semasa cuaca buruk.

4. Komunikasi Risiko, Aduan dan Ketelusan
Pemohon hendaklah menyediakan pelan komunikasi awam yang mudah diakses, termasuk papan makluman tapak, nombor hotline, e-mel rasmi dan saluran digital seperti laman sesawang atau kod QR. Mekanisme aduan hendaklah menetapkan masa maklum balas sasaran, tatacara penyelesaian serta rekod aduan dan tindakan pembetulan.

5. Pengurusan Konflik Guna dan Acara Komuniti
Reka bentuk dan jadual kerja hendaklah menyatakan cara mengelakkan pertindihan dengan aktiviti sah (rekreasi, perikanan) dan menyelaras acara komuniti berkala (pertandingan memancing, karnival air) melalui kelulusan/penjadualan bersama pemilik/ operator badan air. Prinsipnya: fungsi komuniti dikekalkan dan gangguan diminimumkan melalui zon sosial (koridor bot, kawasan tumpuan rekreasi, zon kerja aktif) yang jelas dan dikuatkuasakan.

7.3.4 Pertimbangan Sosio-ekonomi Sekitar

Pertimbangan sosio-ekonomi hendaklah membuktikan bahawa projek Solar Panel Terapung (FPV) sesuai dengan guna semasa badan air dan persekitarannya serta memelihara kesejahteraan komuniti. Keutamaan diberikan kepada hak akses awam yang munasabah, keselamatan pengguna, keadilan sosial dan manfaat ekonomi setempat.

Keperluan berikut hendaklah diperincikan dalam dokumen reka bentuk, kaedah kerja dan pelan pengurusan:

1. Libat Urus Bermaklumat dan Keterangkuman Sosial
Pemaju hendaklah mengemukakan Pelan Libat Urus yang menyatakan pihak berkepentingan utama, jadual sesi, kaedah konsultasi dan bahan komunikasi dalam Bahasa Melayu serta bahasa tempatan yang relevan. Perhatian khusus hendaklah diberi kepada kumpulan rentan, termasuk kanak-kanak, warga emas, Orang Kelainan Upaya (OKU), nelayan kecil, pemancing rekreasi dan komuniti Orang Asli sekiranya berkaitan.

2. Akses Awam, Rekreasi dan Jadual Kerja
Susun atur dan jadual kerja hendaklah mengekalkan akses rekreasi yang munasabah, termasuk laluan pejalan kaki, jeti dan koridor bot. Zon larangan hendaklah minimum, beralasan dan ditanda dengan jelas.

3. Keselamatan Awam dan Pengurusan Risiko
Pelan keselamatan hendaklah meliputi penghadang terapung, had laju bot, peralatan menyelamat, bot keselamatan, penandaan malam, laluan pejalan kaki yang diasingkan, amaran bahaya elektrik dan prosedur cuaca buruk.

4. Perlindungan Mata Pencarian dan Perkhidmatan Awam

Reka bentuk dan jadual kerja hendaklah tidak menjejaskan fungsi badan air seperti bekalan air, pengurusan banjir, pengairan dan utiliti lain yang sah. Gangguan kepada aktiviti ekonomi sedia ada seperti perikanan kecil, akuakultur, sewaan bot, pelancongan dan perniagaan mikro hendaklah diminimumkan.

Bagi badan air yang mempunyai aktiviti perikanan berlesen atau komuniti yang bergantung kepada hasil perikanan, pemohon hendaklah menyediakan protokol perlindungan mata pencarian yang merangkumi:

i. Senarai nelayan berlesen, pengusaha akuakultur atau pengguna ekonomi utama dalam lingkungan sekurang-kurangnya dua (2) kilometer dari tapak, berdasarkan data Jabatan Perikanan Malaysia, Persatuan Nelayan Kawasan (PNK), koperasi nelayan atau pihak berkuasa berkaitan.
ii. Perundingan formal dengan PNK, koperasi nelayan, Jabatan Perikanan Malaysia atau wakil komuniti berkaitan sebelum kelulusan KM.
iii. Kajian hasil tangkapan garis dasar sekurang-kurangnya dua belas (12) bulan bagi projek di badan air yang mempunyai perikanan berlesen atau aktiviti perikanan yang signifikan.
iv. Pemantauan hasil tangkapan semasa operasi sekurang-kurangnya tiga (3) tahun bagi menilai perubahan produktiviti perikanan.
v. Mekanisme pampasan atau pemulihan mata pencarian sekiranya kehilangan pendapatan atau gangguan ekonomi melebihi sepuluh peratus (10%) daripada garis dasar pendapatan atau hasil tangkapan yang telah disahkan.

5. Manfaat Komuniti yang Boleh Diukur

Pemaju hendaklah menyertakan pernyataan manfaat setempat yang munasabah, termasuk peluang pekerjaan semasa pembinaan dan operasi, latihan asas operasi dan penyelenggaraan, peluang vendor tempatan serta cadangan menaik taraf kemudahan tebing atau akses. Bagi projek berskala besar, sasaran pengambilan pekerja tempatan sekurang-kurangnya tiga puluh peratus (30%) bagi pekerjaan tidak mahir hendaklah dipertimbangkan, tertakluk kepada ketersediaan tenaga kerja tempatan, keperluan keselamatan dan kelayakan kerja.

6. Warisan, Budaya, Pelancongan dan Landskap

Sekiranya terdapat elemen warisan, landskap budaya atau kawasan pelancongan, langkah perlindungan hendaklah disediakan. Prosedur Penemuan Tidak Sengaja hendaklah diwujudkan bagi menangani penemuan warisan semasa pembinaan.

Bagi projek FPV melebihi sepuluh (10) hektar di badan air yang mempunyai nilai pelancongan, rekreasi utama, warisan atau landskap sensitif, penilaian impak visual hendaklah dilaksanakan menggunakan Zon Pengaruh Visual (*Zone of Visual Influence*).

Pemaju hendaklah melaksanakan perundingan formal dengan agensi pelancongan negeri, pihak berkuasa pembangunan wilayah atau agensi pengurusan badan air berkaitan sekiranya tapak berada di kawasan pelancongan atau rekreasi utama. Bagi Tapak Warisan Kebangsaan atau kawasan berhampiran tapak warisan, perundingan awal dengan Jabatan Warisan Negara hendaklah dilaksanakan sebelum kerja tapak dimulakan.

Reka bentuk hendaklah mengambil kira jarak anjakan daripada kawasan pandangan utama, pemilihan warna apungan yang rendah impak visual, susun atur yang tidak mendominasi landskap, kawalan silau dan pengekalan kawasan pandangan awam.

7. Komunikasi Risiko dan Mekanisme Aduan
Saluran komunikasi rasmi hendaklah disediakan, termasuk papan makluman tapak, nombor hotline, e-mel dan kod QR. Mekanisme aduan hendaklah menetapkan pengesahan penerimaan dalam satu (1) hari bekerja dan sasaran penyelesaian dalam sepuluh (10) hari bekerja bagi aduan biasa.

8. Indikator Sosial, Ambang Tindakan dan Pelaporan
Indikator minimum hendaklah merangkumi tahap akses awam terpelihara, ketersediaan koridor bot, kadar insiden keselamatan, masa respons, masa maklum balas aduan, kadar penyelesaian aduan dan penyertaan vendor atau pekerja tempatan.

9. Tadbir urus dan pematuhan
Pemohon hendaklah melantik Pegawai Perhubungan Komuniti (*Community Liaison Officer*, CLO) sebagai rujukan tunggal bagi masyarakat. Kod tatasusila pekerja hendaklah disediakan dan dikuatkuasakan.

Bagi projek yang melibatkan lebih daripada lima puluh (50) pekerja atau projek berskala besar, Pelan Pengurusan Tenaga Kerja (*Workforce Management Plan*, WMP) hendaklah disediakan. WMP hendaklah mengambil kira prinsip amalan antarabangsa seperti IFC Performance Standard 2 berkaitan keadaan buruh dan pekerjaan, World Bank Environmental and Social Standard 2 serta keperluan perundangan buruh dan keselamatan pekerjaan yang berkuat kuasa di Malaysia.

7.3.5 Penyelenggaraan Badan Air

Pembangunan FPV tidak boleh menjejaskan kerja-kerja penyelenggaraan badan air seperti *desilting*, *desludging*, pembersihan sedimen dan kelodak, penyelenggaraan empangan, operasi bot penyelenggaraan atau kerja kecemasan badan air.

Pemaju hendaklah mendapatkan maklumat berkaitan kekerapan, kaedah dan kawasan kerja *desilting* atau *desludging* daripada pemilik atau pengendali badan air sebelum reka bentuk tatasusunan dimuktamadkan.

Susun atur FPV hendaklah menyediakan koridor akses yang mencukupi bagi bot penyelenggaraan, peralatan korekan, *dredging equipment*, laluan kerja dan ruang *manuver*. Sekiranya kerja *desilting* berskala besar diperlukan, pelan kontingensi hendaklah disediakan, termasuk kaedah pengalihan sementara, pembukaan semula atau konfigurasi semula modul PV.

7.4 Langkah Mitigasi dan Indikator Pemantauan

Jadual 7.1: Perincian langkah mitigasi dan indikator pemantauan

Aspek	Langkah Mitigasi	Indikator Pemantauan
Kualiti Air	Kawal aktiviti pembinaan bagi mengurangkan sedimen, tumpahan minyak, bahan kimia dan serpihan bahan. Gunakan kaedah penambatan yang meminimumkan gangguan dasar badan air. Semua bahan yang digunakan hendaklah disokong dengan maklumat komponen, jumlah bahan, jangka hayat, bukti kestabilan, ujian larut lesap dan risiko degradasi.	Pemantauan sekurang-kurangnya empat (4) kali setahun. Parameter termasuk suhu, pH, DO, kekeruhan, nutrien, BOD, COD, klorofil-a, mikroplastik, mikrosistin, logam dan metaloid. Lokasi hendaklah merangkumi hulu / aliran masuk, kawasan tatasusunan FPV, hilir / aliran keluar, lokasi kawalan dan muka sauk sekiranya berkaitan.
Profil Terma dan Limnologi	Laksanakan profil menegak suhu, DO, pH dan parameter limnologi pada minimum tiga kedalaman. Wajibkan kajian limnologi bagi liputan FPV melebihi 15% di badan air berstrata atau badan air bekalan air minuman.	Perubahan suhu melebihi 2°C berbanding lokasi kawalan, penurunan DO melebihi 20% daripada garis dasar atau perubahan stratifikasi berterusan hendaklah mencetuskan siasatan dan tindakan pembetulan.
Biodiversiti Akuatik	Elakkan penempatan panel di habitat kritikal, kawasan pembiakan, kawasan litoral sensitif dan laluan migrasi. Jadualkan kerja di luar musim pembiakan hidupan liar. Laksanakan tinjauan bentik bagi badan air bekalan air minuman dan badan air cetek.	Survei biodiversiti asas sekurang-kurangnya dua (2) kali meliputi musim basah dan musim kering. Indikator termasuk indeks kepelbagaian, klorofil-a, kedalaman secchi, makrofit, fitoplankton, zooplankton, makroinvertebrata, sianobakteria bentik dan mikrosistin.
Akses Awam dan Keselamatan	Kekalkan sekurang-kurangnya satu koridor bot yang selamat. Hadkan zon larangan kepada kawasan minimum. Sediakan penghadang terapung, papan tanda, pencahayaan, peralatan menyelamat dan bot keselamatan.	Pemantauan harian semasa pembinaan. Indikator termasuk ketersediaan koridor bot, bilangan insiden keselamatan, masa respons, keadaan papan tanda dan keberkesanan zon keselamatan.

Aspek	Langkah Mitigasi	Indikator Pemantauan
Sosio-ekonomi Komuniti	Laksanakan Pelan Libat Urus, mekanisme aduan, perlindungan akses dan manfaat komuniti.	Aduan disahkan dalam satu (1) hari bekerja dan diselesaikan dalam tempoh sasaran. Indikator termasuk peratus aduan selesai, bilangan pekerja/vendor tempatan, perubahan hasil tangkapan, jam akses awam terpelihara dan status pampasan jika gangguan melebihi ambang 10%.
Warisan, Pelancongan dan Landskap	Laksanakan penilaian impak visual bagi projek melebihi 10 hektar di kawasan pelancongan, rekreasi utama atau warisan. Selaraskan dengan agensi pelancongan negeri, pihak berkuasa pembangunan wilayah dan Jabatan Warisan Negara jika berkaitan.	Indikator termasuk bilangan titik pandangan utama terjejas, aduan visual, keberkesanan jarak anjakan, kawalan silau dan pematuhan syarat agensi warisan atau pelancongan.
Tenaga Kerja	Sediakan WMP bagi projek yang melibatkan lebih 50 pekerja. Laksanakan pengurusan penginapan, sanitasi, kesihatan, sisa, lalu lintas, kod tatasusila dan mekanisme aduan pekerja.	Indikator termasuk bilangan aduan pekerja, aduan komuniti berkaitan pekerja, pematuhan penginapan, insiden kesihatan dan keselamatan, serta peratus pekerja tempatan bagi pekerjaan tidak mahir.
Penyelenggaraan Badan Air	Sediakan koridor akses bagi bot penyelenggaraan dan peralatan desilting. Sediakan pelan kontingensi bagi pengalihan sementara atau konfigurasi semula modul semasa kerja sedimentasi besar.	Indikator termasuk ketersediaan koridor penyelenggaraan, bilangan gangguan terhadap kerja desilting, masa tindak balas dan pematuhan kepada pelan penyelenggaraan badan air.



BAB 8

PERTIMBANGAN KESELAMATAN



8.1 Pengenalan

Pertimbangan keselamatan adalah penting sebelum pembangunan FPV dimulakan, serta sepanjang tempoh pembinaan, operasi, penyelenggaraan dan penyahtaraan. Langkah ini bertujuan memastikan projek dirancang dan dilaksanakan dengan meminimumkan risiko terhadap keselamatan awam, pekerja, kualiti air, biodiversiti, aset badan air, infrastruktur utiliti dan komuniti setempat.

Pendekatan pencegahan hendaklah dilaksanakan melalui prinsip *safety by design* yang menyeluruh bagi semua pepasangan FPV di atas badan air. Pertimbangan keselamatan hendaklah merangkumi keselamatan elektrik, keselamatan pekerjaan, keselamatan struktur, keselamatan operasi, keselamatan empangan atau sistem takungan sedia ada, keselamatan alam sekitar, keselamatan bekalan air, keselamatan komuniti dan tindak balas kecemasan.

Semua pembangunan FPV hendaklah mematuhi piawaian, peraturan, garis panduan dan syarat teknikal yang ditetapkan oleh agensi berkaitan. Bagi memastikan aspek keselamatan dipantau secara berterusan, pemaju hendaklah melantik pegawai keselamatan dan kesihatan yang berkelayakan serta pegawai bertanggungjawab bagi penyelarasan keselamatan tapak, kawalan risiko, latihan pekerja, pemeriksaan berkala dan pelaporan insiden.

Bagi projek yang melibatkan risiko tinggi, badan air bekalan air minuman, empangan, kawasan larangan, kawasan sensitif atau komponen kritikal seperti Battery Energy Storage System (BESS), keperluan pegawai keselamatan, pegawai alam sekitar, pegawai pematuhan, orang kompeten elektrik dan pasukan tindak balas kecemasan hendaklah ditentukan berdasarkan skala projek dan syarat pihak berkuasa.

Pertimbangan keselamatan adalah penting untuk diambilkira sebelum bermula pembangunan ladang solar terapung dan sepanjang tempoh semasa dan selepas operasi ladang solar terapung. Langkah ini memastikan projek dirancang dengan meminimumkan risiko terhadap kualiti air, biodiversiti, keselamatan awam, serta kesejahteraan komuniti setempat. Pendekatan pencegahan perlu dilaksanakan menerusi prinsip *safety by design* yang menyeluruh bagi sesuatu pepasangan solar terapung di atas tasik dan takungan empangan. Semua pembangunan projek solar terapung perlu patuh kepada piawaian / peraturan / garis panduan agensi teknikal berkaitan yang diselia oleh Suruhanjaya Tenaga, Jabatan Pengairan Saliran, Suruhanjaya Pengurusan Air Negara, Jabatan Alam Sekitar. Senarai piawaian / peraturan / garis panduan dijelaskan di dalam Bab 3.

Bagi memastikan aspek keselamatan dititikberatkan, sesuatu projek solar terapung perlu melantik pegawai keselamatan dan kesihatan (*Safety and Health Officer)* bagi memastikan aspek keselamatan dipantau sepanjang tempoh hayat projek. Berikut digariskan beberapa jenis keselamatan yang melibatkan solar terapung.

8.2 Jenis-jenis Keselamatan Melibatkan FPV

8.2.1 Keselamatan dan Kesihatan Awam

Pemasangan FPV di atas badan air, khususnya empangan atau takungan air, boleh melibatkan isu keselamatan awam dan sekuriti kerana sebahagian empangan di Malaysia dikategorikan sebagai Kawasan Larangan, Tempat Larangan atau Sasaran Penting Negara.

Perkara ini tertakluk kepada perundangan dan arahan keselamatan berkaitan seperti:

i. Akta Kawasan Larangan dan Tempat Larangan 1959.
ii. Keperluan Pejabat Ketua Pegawai Keselamatan Kerajaan Malaysia (CGSO).
iii. Arahan Keselamatan Jawatankuasa Pusat Sasaran Penting Bil. 1 Tahun 2008.
iv. Arahan keselamatan berkaitan pembinaan infrastruktur berhampiran Sasaran Penting, Kawasan Larangan dan Tempat Larangan.

Pemaju hendaklah mendapatkan pengesahan status keselamatan tapak daripada pihak berkuasa berkaitan sebelum kerja tapak dimulakan. Sekiranya tapak terletak dalam atau berhampiran kawasan larangan, tempat larangan, infrastruktur strategik atau aset bekalan air kritikal, pelan kawalan akses, pemeriksaan keselamatan, kawalan pekerja, kawalan bahan, kawalan peralatan dan prosedur kecemasan hendaklah disediakan.

8.2.2 Keselamatan Elektrik

Pemasangan FPV terapung berpotensi lebih terdedah kepada bahaya keselamatan elektrik kerana sistem dipasang di atas atau berhampiran badan air. Voltan arus terus (DC) akan terhasil sebaik sahaja panel solar terdedah kepada cahaya matahari. Setiap panel secara purata menghasilkan sekitar 40 volt, manakala sambungan secara rentetan boleh menghasilkan voltan tinggi dalam julat kira-kira 400 volt hingga 1500 volt bergantung kepada jenis penyongsang solar dan panjang rentetan.

Voltan tinggi dan arus elektrik dalam sistem fotovoltaik boleh menimbulkan risiko kepada pekerja, pemasang sistem, pengguna badan air dan pihak awam, termasuk risiko renjatan elektrik, litar pintas, kebakaran, lecuran haba dan bahaya arka elektrik. Risiko ini menjadi lebih kritikal kerana air dan kelembapan boleh meningkatkan kebarangkalian laluan arus bocor memandangkan air merupakan konduktor elektrik yang baik, terutamanya sekiranya sistem tidak direka bentuk, dipasang dan disenggara dengan baik.

Reka bentuk keselamatan elektrik hendaklah mengambil kira potensi arus sesat, kecerunan voltan dalam air, arus bocor, kegagalan pembumian, kerosakan penebat kabel, litar pintas, kerosakan inverter, sambaran kilat, kegagalan peranti perlindungan dan risiko penyebaran kesan elektrik kepada kawasan sekitar.

Pemaju hendaklah menyediakan kajian keselamatan elektrik bagi menentukan jarak selamat untuk pekerja penyelenggaraan, bot pemeriksaan, pengguna badan air, struktur berhampiran dan infrastruktur kritikal semasa operasi normal serta semasa keadaan kecemasan atau kerosakan sistem.

Langkah keselamatan elektrik hendaklah merangkumi:

i. Penggunaan kabel PV bertebat dua lapis.
ii. Penggunaan peralatan elektrik yang mempunyai tahap perlindungan IP yang sesuai.
iii. Pemasangan perlindungan kilat dan *surge protection device*.
iv. Sistem pembumian yang lengkap dan diuji secara berkala.
v. Perlindungan arus bocor dan lebihan arus.
vi. Suis pengasingan, suis kecemasan dan prosedur nyahcas selamat.
vii. Label keselamatan pada semua peralatan elektrik.
viii. Pemeriksaan berkala terhadap kakisan, kebocoran arus, kerosakan kabel dan kerosakan komponen.
ix. Penggunaan orang kompeten elektrik bagi kerja pemasangan, pengujian, pentauliahan dan penyelenggaraan.

Peraturan di bawah Akta Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan 1994 (Akta 514) [OSHA] mewajibkan langkah keselamatan yang komprehensif termasuk langkah berjaga-jaga untuk mengurangkan risiko seperti mencegah litar pintas dan meminimumkan risiko terkena renjatan elektrik. Ciri keselamatan perlu diintegrasikan dalam rekabentuk kejuruteraan dan polisi keselamatan untuk melindungi manusia, aset dan persekitaran ekosistem. Bagi memastikan keselamatan elektrikal, terdapat keperluan penggunaan kabel PV bertebat dua lapis, *lightning arrester*, pembumian lengkap dan pemeriksaan berkala. Rujuk AKKP 1994, International Electrotechnical Commission (IEC) 60364.

Pemakaian permit kerja (*Permit to Work*, PTW), Analisis Keselamatan Kerja (*Job Safety Analysis*, JSA), ujian ketiadaan voltan, kawalan akses dan penggunaan peralatan pelindung diri (PPE) hendaklah diwajibkan bagi kerja elektrik. PPE yang sesuai termasuk sarung tangan bertebat, kasut keselamatan berpenebat, pelindung muka, pakaian berkadar arka, jaket keselamatan bagi kerja di atas air dan peralatan menyelamat yang sesuai.

Jadual 8.1: Langkah Keselamatan Berkaitan Sistem FPV

Sistem	Langkah Keselamatan
Sistem melibatkan voltan DC	Label keselamatan pada peranti
	Perlindungan kilat dan arus bocor (lightning arrester)
	Peranti perlindungan lonjakan (surge)atau lebihan arus, dan suis pengasingan
	Penggunaan Kabel gred-PV bertebat dua kali
	Pembumian yang selamat
	Pemeriksaan berkala terhadap sistem elektrik bagi mengenal pasti tanda-tanda hakisan, kebocoran arus atau kerosakan komponen.

Sistem	Langkah Keselamatan
Sistem melibatkan Voltan AC	Penggunaan Kabel PV bertebat dua lapis
	Papan tanda keselamatan
	Perlindungan lebihan arus
	Pembumian yang selamat
	Suis pengasingan
	Pemeriksaan berkala dan pengendalian oleh orang kompeten
Keseluruhan	Penyediaan lampu keselamatan
	Penyediaan zon penampan dengan laluan awam dan struktur empangan
	Pemakaian Permit Kerja (*permit to work*, PTW), Analisis Keselamatan Kerja (*Job Safety Analysis*, JSA) dan penyediaan SOP kerja air.
	Penyediaan pelan Tindak Balas Kecemasan (*Emergency Respond Plan*, ERP) dan Pelan Risiko
	Latihan keselamatan dan pemeriksaan berkala
Zon keselamatan elektrik	Zon keselamatan hendaklah ditentukan berdasarkan kajian risiko elektrik khusus tapak, termasuk tahap voltan, arus kerosakan, pembumian, kekonduksian air, kedalaman air, lokasi akses awam dan jarak kepada infrastruktur kritikal.
BESS (sekiranya berkaitan)	Mempunyai *Battery Management System* (BMS)
	Sistem pengesanan kebakaran
	Sistem pengasingan
	Perlindungan arus
	Pembumian yang selamat
	Sistem penyejukan
	Kawalan air larian tercemar
	Pelan kecemasan dan *containment.*

8.2.3 Keselamatan Pekerjaan

Keselamatan dan kesihatan pekerjaan meliputi pengenalpastian bahaya, penilaian risiko, kawalan risiko dan pemantauan keselamatan bagi pekerja yang terlibat dalam pembinaan, operasi, penyelenggaraan dan penyahtaraan sistem FPV. Penilaian risiko hendaklah dimulakan dengan pengenalpastian bahaya, iaitu proses mengenal pasti potensi bahaya di tempat kerja, termasuk peralatan, ruang kerja, proses, prosedur, keadaan cuaca, badan air, bot, peralatan elektrik, sistem penambatan dan struktur platform.

Hazard Identification, Pengenalpastian Bahaya, Penilaian Risiko, dan Kawalan Risiko (*Risk Assessment and Risk Control*, HIRARC), Analisis Keselamatan Kerja (*Job Safety*

Analysis, JSA), Permit Kerja (*Permit to Work*, PTW), SOP kerja air dan pelan tindak balas kecemasan hendaklah disediakan dan dilaksanakan bagi semua aktiviti berisiko. Kajian Bahaya dan Kebolehoperasian (*Hazard and Operability Study*, HAZOP) hendaklah dilaksanakan bagi sistem FPV yang kompleks, berskala besar, melibatkan BESS, badan air bekalan air minuman, empangan atau sistem yang mempunyai risiko operasi tinggi.

Pengenalpastian bahaya boleh dilaksanakan melalui:

i. Pemerhatian visual.
ii. Analisis Keselamatan Kerja (JSA).
iii. Pemeriksaan tapak dan audit keselamatan.
iv. Perbincangan kumpulan atau temu bual.
v. Helaian Data Keselamatan Bahan (*Material Safety Data Sheet*, MSDS).
vi. Rekod insiden dan hampir cemas.
vii. Semakan reka bentuk serta prosedur kerja.

Selain pemantauan kualiti air rutin, pemaju dan pemilik badan air hendaklah melaksanakan langkah perlindungan proaktif bagi melindungi kualiti air mentah, khususnya bagi kemudahan rawatan air di hilir atau berhampiran tapak. Langkah ini merangkumi sistem amaran awal, pemantauan masa nyata, penutupan sementara aktiviti berisiko, pelan henti tugas, pensampelan tambahan di muka sauk, boom kawalan tumpahan, bahan penyerap tumpahan, prosedur notifikasi segera kepada operator air dan pelan kecemasan sekiranya berlaku pencemaran.

8.2.4 Keselamatan Struktur

Keselamatan struktur merujuk kepada keupayaan sistem FPV, struktur platform, sistem penambatan, kabel, komponen elektrik, kemudahan daratan dan infrastruktur sokongan untuk kekal stabil, selamat dan berfungsi dalam keadaan operasi normal, cuaca ekstrem, banjir, perubahan paras air dan kecemasan. Dalam konteks empangan atau takungan air, keselamatan struktur turut merangkumi perlindungan terhadap struktur utama empangan, empangan pelana, alur limpah, menara kawalan, outlet, intake, muka sauk, rumah pam, laluan operasi dan kemudahan kritikal lain.

Reka bentuk FPV tidak boleh menjejaskan keselamatan empangan, kapasiti operasi badan air, laluan pelepasan air, kerja penyelenggaraan, kerja desilting, operasi kecemasan atau akses kepada struktur kritikal.

8.2.5 Keselamatan Empangan atau Sistem Takungan Sedia Ada

Empangan ialah struktur penghadang yang dibina untuk menakung air bagi tujuan bekalan air, pengairan, penjanaan tenaga elektrik, kawalan banjir, rekreasi atau fungsi lain. Keselamatan empangan merujuk kepada langkah pemantauan, pemeriksaan dan kawalan berterusan bagi memastikan empangan serta struktur berkaitan tidak mengalami kerosakan atau kegagalan.

Jadual 8.2: Potensi Bahaya, Risiko dan Langkah Mitigasi Aktiviti Sekeliling FPV

Aktiviti	Bahaya	Risiko	Langkah mitigasi
Bekerja berhampiran sistem FPV	Pemasangan elektrik tidak selamat, litar pintas, kabel rosak atau penebat terjejas	Renjatan elektrik, lecuran, kemalangan maut	PPE sesuai, PTW, JSA, LOTO, orang kompeten, latihan keselamatan elektrik, pemeriksaan kabel dan peranti perlindungan.
Bekerja berhampiran sistem elektrik	Litar pintas, *overheating*, arka elektrik	Kebakaran, lecuran, sedutan asap	PTW, JSA, PPE, sistem pengasingan, pengudaraan mencukupi, alat pemadam sesuai, kawalan akses dan latihan kecemasan.
Bekerja dalam keadaan cuaca buruk	Kilat, angin kencang, hujan lebat, permukaan licin	Jatuh ke dalam badan air, lemas, renjatan elektrik, kecederaan	Pemantauan cuaca masa nyata, had pemberhentian kerja, SOP kerja air, latihan ERP, pasukan penyelamat air dan kawalan kerja semasa ribut.
Bekerja di atas bot	Ketidakstabilan bot, arus, angin, ombak	Jatuh ke dalam air, lemas, kecederaan	Jaket keselamatan, had laju bot, operator bot terlatih, pemantauan cuaca dan paras air, PTW, JSA dan SOP kerja air.
Aktiviti penyelenggaraan atau pemeriksaan di atas air	Permukaan licin, peralatan rosak, akses tidak stabil	Lemas, terjatuh, renjatan elektrik	Laluan kerja selamat, papan tanda, boya kawasan berbahaya, jaket keselamatan, bot penyelamat dan latihan penyelamat air berkala.
Kerja berhampiran badan air bekalan air minuman	Tumpahan minyak, bahan kimia, serpihan bahan atau pencemaran mikrobiologi	Kemerosotan kualiti air dan gangguan rawatan air	Kawalan tumpahan, larangan pelepasan terus, pemantauan kualiti air, notifikasi operator air, boom kawalan dan pelan kecemasan pencemaran.
Penyelenggaraan di kawasan tumbuhan akuatik	Tumbuhan invasif atau tumbuhan terapung tersangkut pada bot/ peralatan	Lemas, kerosakan peralatan, gangguan operasi	Kawalan tumbuhan, laluan bot yang jelas, pemeriksaan kawasan kerja dan penggunaan jaket keselamatan.
Aktiviti melibatkan BESS	*Thermal runaway*, pelepasan gas mudah terbakar, litar pintas, kebakaran bateri	Kebakaran, letupan, pencemaran air larian, kecederaan pekerja	BMS, sistem pengesanan gas/asap/haba, sistem pengasingan, sistem kawalan kebakaran, containment, latihan kecemasan dan akses JBPM.

Merujuk kepada Arahan NADMA No.1: Dasar dan Mekanisme Pengurusan Bencana Negara, salah satu aspek keselamatan melibatkan empangan adalah bencana akibat kejadian empangan atau takungan air pecah yang melibatkan kawasan berkepadatan penduduk tinggi serta memberi impak besar kepada alam sekitar. Hampir kesemua empangan di Malaysia terletak di kawasan tadahan di bahagian hulu sungai, manakala kawasan hilir sungai lazimnya merupakan kawasan penempatan. Oleh itu, sebarang kegagalan empangan berpotensi memberi kesan yang signifikan kepada keselamatan awam dan kesejahteraan komuniti.

Kegagalan struktur empangan boleh menyebabkan bencana besar seperti banjir, kehilangan nyawa, kerosakan harta benda, gangguan bekalan air dan impak alam sekitar. Oleh itu, pembangunan FPV di empangan atau takungan air hendaklah dilaksanakan secara berhati-hati dan berpandukan syarat pemilik atau pengendali badan air serta agensi teknikal berkaitan. Reka bentuk FPV hendaklah mengambil kira impak pepasangan FPV termasuk sistem penambatan terhadap keselamatan struktur empangan, kestabilan operasi dan integriti keseluruhan sistem takungan.

Langkah pengurusan keselamatan empangan hendaklah merangkumi:

i. Semakan keserasian reka bentuk FPV dengan SOP operasi empangan atau badan air.
ii. Pengawasan berkala dan pemeriksaan struktur empangan.
iii. Penyediaan Dam Monitoring Plan, sekiranya ditetapkan oleh pemilik atau pengendali badan air, serta merujuk kepada Dam Safety Guidelines (JPS).
iv. Pelaksanaan PTW bersama jurutera empangan atau wakil teknikal yang diberi kuasa bagi kerja berhampiran struktur kritikal.
v. Larangan aktiviti awam dalam kawasan larangan dan zon operasi kritikal.
vi. Penyediaan akses kecemasan kepada struktur empangan, *outlet, spillway, intake* dan muka sauk.
vii. Pengasingan tatasusunan FPV daripada struktur utama empangan dan kemudahan operasi berdasarkan kajian risiko, keperluan operasi dan syarat keselamatan empangan.

8.2.6 Keselamatan Sistem dan Operasi

Keselamatan sistem dan operasi merujuk kepada bahaya yang boleh menjejaskan pepasangan FPV akibat cuaca, kegagalan teknikal, perbuatan manusia, vandalisme, kecuaian, bencana atau perubahan operasi badan air.

Sistem FPV boleh rosak akibat angin kencang, gelombang tinggi, ribut, hujan lebat, arus kuat, perubahan paras air, objek hanyut, kegagalan sistem penambatan, litar pintas, kebakaran atau kegagalan komponen. Sebagai contoh, kejadian angin taufan dengan kelajuan angin purata 41 m/s dan tiupan maksimum 57.5 m/s (bersamaan 207 km/j) telah menyebabkan kebakaran sistem solar terapung di Empangan Yamakura, Jepun pada tahun 2019, di mana kira-kira dua pertiga ladang solar mengalami kerosakan

teruk. Selain itu, kelajuan angin sekitar 50 km/j telah mengakibatkan kerosakan besar kepada sistem solar terapung di Empangan Omkareshwar, India pada tahun 2024. Kerosakan kepada sistem penambatan juga boleh berlaku apabila sambungan kabel terputus atau sauh (anchor) teranjak akibat arus air yang kuat.

Dalam konteks Malaysia dan kawasan tropika, risiko berkaitan iklim hendaklah dinilai berdasarkan keadaan setempat seperti ribut petir, hujan lebat, angin kencang, banjir, perubahan paras air, kelembapan tinggi, suhu tinggi dan sambaran kilat. Sekiranya data insiden tempatan yang khusus kepada FPV masih terhad, penilaian risiko hendaklah menggunakan gabungan rekod meteorologi tempatan, rekod ribut dan banjir, pengalaman projek solar atau infrastruktur terapung, data operasi tapak serta insiden antarabangsa yang relevan sebagai asas saringan risiko.

Pemaju hendaklah menyediakan daftar risiko iklim dan operasi yang mengandungi kebarangkalian kejadian, tahap impak, langkah kawalan, ambang pemberhentian kerja, ambang pemberhentian operasi, prosedur pemeriksaan selepas kejadian dan keperluan pelaporan kepada pihak berkuasa.

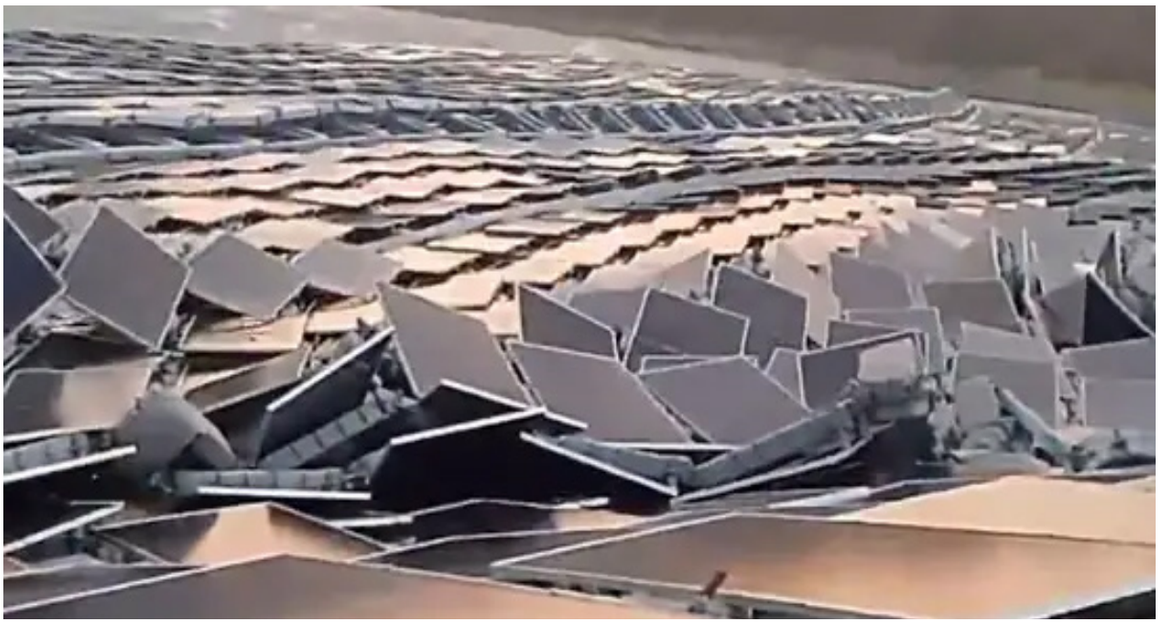
Bagi tujuan kawalan aset, setiap modul panel, inverter, floating combiner box, komponen utama sistem penambatan, BESS dan peralatan elektrik kritikal hendaklah didaftarkan menggunakan nombor siri atau kaedah pengenalan aset yang bersesuaian bagi tujuan pemasangan, pemeriksaan, penyelenggaraan, penggantian, pelupusan dan penyahtaraan.

Rajah 8.1. Sistem solar terapung terbakar akibat taufan di Empangan Yamakura, Jepun



(sumber: METI, Jepun)

Rajah 8.2. Sistem solar terapung yang rosak akibat ribut di Empangan Omkareshwar, India



(sumber:timesofindia)

8.2.7 Keselamatan Alam Sekitar

Keselamatan alam sekitar merujuk kepada bahaya yang boleh menjejaskan alam sekitar, badan air, ekosistem akuatik, biodiversiti, komuniti setempat dan keselamatan bekalan air akibat pembangunan FPV.

Bagi badan air yang digunakan sebagai sumber air mentah, bahaya kepada sistem bekalan air boleh merangkumi agen fizikal, biologi, kimia atau radiologi yang berpotensi menjejaskan kesihatan awam, selaras dengan takrifan bahaya oleh Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN). Oleh itu, pembangunan FPV hendaklah mengambil pendekatan langkah berjaga-jaga, khususnya kerana teknologi ini masih relatif baharu dan kesan jangka panjang mungkin hanya dapat dikenal pasti selepas tempoh operasi yang panjang.

Bahaya keselamatan alam sekitar hendaklah dikenal pasti berdasarkan tiga kategori utama, iaitu aspek fizikal dan persekitaran, aspek kimia serta aspek biologi. Bagi badan air bekalan air minuman, bahaya yang dikenal pasti hendaklah dimasukkan dalam pelan pengurusan risiko keselamatan air oleh operator air, termasuk prosedur pemantauan, amaran awal, pemberhentian operasi sementara dan tindakan kecemasan.

8.2.8 Aspek Fizikal dan Persekitaran

Bahaya fizikal dan persekitaran merangkumi risiko yang boleh menjejaskan struktur badan air, fungsi takungan, keselamatan awam, kestabilan FPV dan operasi badan air.

Jadual 8.3: Jenis bahaya fizikal daripada pembangunan FPV

Bil.	Definisi dan Contoh Bahaya	Langkah Keselamatan
1.	Gangguan infrastruktur bekalan air akibat kerosakan, kebakaran, renjatan elektrik atau kegagalan sistem FPV.	Pemantauan fizikal berkala, kawalan akses, pemeriksaan struktur, pemeriksaan elektrik, ERP dan koordinasi dengan operator air.
2.	Risiko kejadian empangan atau takungan air pecah yang memberi impak kepada kawasan hilir dan alam sekitar.	Pemantauan masa nyata (SCADA), audit keselamatan berkala, pelan ERP, akses kecemasan dan pematuhan SOP operasi badan air.
3.	Mendapan dan pengurangan kapasiti simpanan akibat sistem penambatan atau gangguan dasar.	Pemantauan sedimentasi, batimetri berkala, kawalan kawasan penambatan dan penyediaan koridor kerja penyelenggaraan.
4.	Hakisan tebing akibat perubahan laluan air, gelombang atau aktiviti bot.	Kawalan laluan bot, had laju, zon penampan berasaskan risiko, pemeriksaan tebing dan langkah penstabilan tebing.
5.	Pembuangan sampah oleh pekerja atau kontraktor ke dalam badan air atau kawasan sekeliling.	Larangan pembuangan sampah, pengurusan sisa tapak, pemeriksaan berkala, latihan pekerja dan tindakan penguatkuasaan kontrak.
6.	Gangguan kerja desilting, desludging, pembersihan sedimen atau penyelenggaraan badan air.	Sediakan koridor akses penyelenggaraan, pelan kontingensi pengalihan modul dan penyelarasan dengan pemilik atau pengendali badan air.
7.	Air larian tercemar daripada kawasan daratan sokongan, BESS, kawasan penyelenggaraan atau kawasan penyimpanan sementara.	Sediakan sistem saliran terkawal, containment, sump, oil trap, bunding dan prosedur kecemasan tumpahan.

8.2.9 Aspek Kimia

Aspek kimia merujuk kepada risiko bahan kimia, logam, mikroplastik, bahan pembersih, minyak, gris, elektrolit, bahan larut lesap atau bahan cemar lain yang boleh menjejaskan kualiti air dan keselamatan bekalan air. Dapatan literatur, menunjukkan pemasangan panel solar berkemungkinan akan menyebabkan pengeluaran agen kimia seperti logam berat dan mikroplastik daripada sistem panel. Bahaya kimia dari apa-apa agen kimia yang boleh membahayakan keselamatan air.

Aktiviti pembersihan panel solar hendaklah mengutamakan penggunaan air tanpa bahan kimia. Penggunaan detergen, disinfektan, bahan pencuci khas atau bahan kimia lain adalah tidak digalakkan, khususnya bagi badan air bekalan air minuman. Sekiranya bahan pembersih diperlukan, bahan tersebut hendaklah dibuktikan selamat, mudah terurai, tidak toksik kepada hidupan akuatik dan mendapat persetujuan pemilik atau pengendali badan air, operator air dan agensi teknikal berkaitan. Air daripada badan air tidak boleh diabstrak secara langsung untuk aktiviti pembersihan panel tanpa kebenaran pemilik atau pengendali badan air

dan pihak berkuasa berkaitan. Air basuhan, air larian atau sisa pembersihan tidak boleh dilepaskan terus ke badan air tanpa kawalan. Kaedah pembersihan hendaklah disertakan dengan prosedur pengumpulan, containment, rawatan atau pelupusan air sisa sekiranya terdapat risiko pencemaran.

Penyimpanan bahan kimia, minyak, gris, pelincir, bahan pencuci, bahan api atau bendalir penyelenggaraan di atas platform terapung adalah tidak dibenarkan. Penyimpanan di kawasan tebing atau daratan sokongan hendaklah diminimumkan kepada kuantiti kerja harian atau kuantiti yang diluluskan sahaja, disimpan dalam bekas sekunder, berlabel, berbumbung, berkunci dan jauh daripada laluan air larian ke badan air. Saiz bekas penyelenggaraan yang dibawa menggunakan bot hendaklah dihadkan kepada kuantiti minimum yang diperlukan bagi kerja harian. Setiap pemindahan bahan menggunakan bot hendaklah disertakan dengan dulang tadahan, bahan penyerap tumpahan, kit tumpahan, MSDS dan prosedur kecemasan.

Jadual 8.4 : Jenis bahaya kimia daripada pembangunan FPV

Bil.	Isu dan Cabaran	Langkah Keselamatan
1.	Risiko pelepasan logam berat, metaloid, mikroplastik dan bahan larut lesap daripada modul, kabel, apungan, salutan, pengikat atau komponen FPV.	Laksanakan ujian larut lesap awal dan berkala, pemantauan mikroplastik tahunan, pemeriksaan degradasi bahan dan pemantauan logam seperti merkuri, kadmium, plumbum, arsenik, kromium, kuprum, perak dan antimoni.
2.	Bahan kimia daripada aktiviti pembersihan panel solar, termasuk detergen, bahan pencuci atau bahan pembersih khas sekiranya digunakan.	Utamakan pembersihan tanpa bahan kimia. Sekiranya bahan pembersih digunakan, bahan hendaklah diluluskan, tidak toksik, mudah terurai dan air basuhan hendaklah dikawal, dikumpul atau dirawat supaya tidak memasuki badan air secara langsung.
3.	Pelepasan minyak, gris atau bahan api semasa pembinaan, operasi, pembersihan atau penyelenggaraan.	Penggunaan bot elektrik atau enjin rendah pelepasan jika praktikal, larang pertukaran minyak di atas air, sediakan kit tumpahan, containment, SOP tumpahan dan notifikasi segera kepada pemilik badan air serta operator air. Rujuk **Putrajaya Lake Navigation Masterplan (Part D)**
4.	Kebocoran bahan kimia atau elektrolit daripada BESS, bateri rosak atau komponen elektrik.	Tempatkan BESS di daratan yang selamat, sediakan containment, saliran terkawal, sistem pengesanan kebakaran dan prosedur pengurusan bateri rosak.
5.	Penyimpanan bahan kimia, minyak atau pelincir di tapak.	Tiada penyimpanan bahan kimia atau minyak dibenarkan di atas platform terapung. Penyimpanan daratan hendaklah minimum, berlabel, berbumbung, berkunci, mempunyai bekas sekunder dan jauh daripada laluan air larian.

8.2.10 Ujian Bahan, Larut Lesap dan Mikroplastik

Bahan apungan, kabel, salutan, pelindung, pengikat, buoy, connector dan komponen lain yang terdedah kepada air hendaklah tertakluk kepada ujian bahan bagi menilai risiko larut lesap, degradasi, pelepasan mikroplastik dan pelepasan logam atau bahan organik.

Ujian larut lesap hendaklah dilaksanakan sebelum pemasangan dan secara berkala sekurang-kurangnya sekali setiap lima (5) tahun sepanjang tempoh operasi menggunakan kaedah piawai seperti EN 12457, *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) atau kaedah setara yang diterima oleh agensi teknikal.

Pengukuran garis dasar mikroplastik hendaklah dilaksanakan sebelum pemasangan, diikuti pemantauan sekurang-kurangnya sekali setahun selepas operasi bermula. Kaedah pensampelan, analisis makmal, had pengesanan dan pelaporan mikroplastik hendaklah dinyatakan dengan jelas dalam pelan pemantauan.

Bagi bahan apungan berasaskan polietilena berketumpatan tinggi (HDPE), jangka hayat reka bentuk hendaklah dinyatakan oleh pengeluar. Ujian integriti bahan hendaklah dilaksanakan pada pertengahan hayat reka bentuk atau selewat-lewatnya pada tahun ke-10 operasi, yang mana lebih awal.

Kriteria penerimaan hendaklah mengambil kira standard kualiti air mentah, standard air minuman, syarat operator air dan penilaian risiko tapak. Sekiranya tiada had piawai khusus bagi sesuatu parameter seperti mikroplastik, ketiadaan had tersebut tidak boleh ditafsirkan sebagai kebenaran pelepasan tanpa kawalan.

8.2.11 Aspek Biologi

Bahaya biologi merujuk kepada agen mikrobiologi dan biologi seperti bakteria, virus, patogen, alga, sianobakteria, toksin, bahan buangan hidupan liar dan organisma invasif yang boleh menjejaskan keselamatan air serta kesihatan awam.

Pembangunan FPV boleh mengubah ciri fizikal badan air melalui perubahan teduhan, suhu, oksigen terlarut, pencampuran air dan habitat akuatik. Perubahan ini boleh mempengaruhi komuniti alga, risiko eutrofikasi, ledakan alga, pembentukan toksin dan keseimbangan ekosistem.

Jadual 8.5 : Jenis bahaya biologi daripada pembangunan FPV

Bil.	Isu dan Cabaran	Langkah Keselamatan
1.	Patogen daripada bahan buangan burung, haiwan liar atau aktiviti penyelenggaraan.	Pemantauan biodiversiti, kawalan akses, pembersihan terkawal, pengurusan sisa dan kawalan aktiviti manusia di kawasan badan air.
2.	Bakteria, alga, sianobakteria dan toksin seperti mikrosistin.	Pemantauan klorofil-a, sianobakteria, mikrosistin, oksigen terlarut, suhu dan nutrien; tindakan pembetulan sekiranya berlaku peningkatan risiko eutrofikasi.
3.	Penyakit berjangkit, zoonosis atau wabak yang dibawa oleh pekerja dan merebak kepada komuniti.	Kawalan kesihatan pekerja, sanitasi, pengurusan penginapan, pelan pengurusan tenaga kerja dan prosedur kesihatan awam.
4.	Tumbuhan invasif atau makrofit berlebihan.	Kawalan tumbuhan invasif, pemeriksaan laluan bot, penyelenggaraan berkala dan pelan pengurusan ekologi.
5.	Sianobakteria bentik atau perubahan komuniti dasar di badan air cetek atau badan air bekalan air minuman.	Tinjauan bentik berkala, pemantauan mikrosistin, pemantauan oksigen terlarut berhampiran dasar dan tindakan mitigasi berasaskan ambang tindakan.

Bagi apa-apa pemasangan panel solar terapung di atas takungan air mentah untuk tujuan bekalan air minum perlu mengguna pakai Garis Panduan Pelan Keselamatan Air yang dikeluarkan oleh SPAN. Bahaya yang mungkin timbul kepada sistem bekalan air akibat pemasangan sistem solar perlu dimasukkan di dalam Pelan Keselamatan Air oleh operator air untuk infrastruktur tersebut. Pemantauan kualiti air dan kawalan aktiviti manusia di kawasan takungan adalah penting bagi memastikan keselamatan bekalan air dan keseimbangan ekosistem.

8.3 Keperluan Pelan dan Prosedur Menangani Kecemasan dan Keselamatan

8.3.1 Zon Penampan dan Kawalan

Zon penampan dan kawalan hendaklah ditentukan berdasarkan fungsi badan air, tahap risiko, kedudukan struktur kritikal, kedalaman, arus, gelombang, laluan bot, kawasan rekreasi, muka sauk, kawasan pemuliharaan, akses kecemasan dan syarat agensi teknikal.

Jarak penampan tidak boleh ditetapkan secara sewenang-wenangnya tanpa justifikasi teknikal. Penetapan zon penampan hendaklah mengambil kira pemodelan hidraulik atau hidrodinamik, pengangkutan sedimen, julat ombak, keselamatan empangan, operasi badan air, risiko elektrik, risiko pencemaran, aktiviti komuniti dan keperluan akses penyelenggaraan.

Jarak penampan berikut boleh digunakan tertakluk kepada pengesahan kajian khusus tapak:

i. Jarak 200 meter dari tebing bagi badan air sensitif atau kawasan yang mempunyai risiko konflik guna, tertakluk kepada justifikasi teknikal.
ii. Jarak sekurang-kurangnya 300 meter daripada struktur utama empangan, alur pelepasan, limpahan, intake, outlet, menara kawalan dan kemudahan operasi kritikal.
iii. Jarak 300 meter daripada muka sauk air mentah sebagai nilai saringan awal, dengan jarak sebenar ditentukan melalui pemodelan hidraulik atau hidrodinamik.
iv. Jarak lebih besar hendaklah dikenakan bagi kawasan hutan simpan, kawasan tadahan air, habitat kritikal, santuari, kawasan pembiakan atau kawasan pemuliharaan sekiranya ditetapkan oleh agensi berkaitan.
v. Kawalan Khusus: Elakkan kawasan dalam lingkungan 500 meter dari laluan grid nasional TNB serta pastikan jarak selamat dari kawasan ketenteraan dan laluan udara.
vi. Jarak tambahan bagi kawalan eutrofikasi, laluan bot, kawasan rekreasi atau perlindungan habitat hendaklah ditentukan berdasarkan penilaian khusus tapak dan bukan berdasarkan nilai tetap semata-mata.

Sekiranya garis panduan negeri, pemilik badan air, operator air, JPS, agensi keselamatan empangan atau agensi teknikal menetapkan jarak yang lebih besar, jarak yang lebih besar hendaklah diguna pakai. Pengurangan jarak hanya boleh dipertimbangkan berdasarkan kajian khusus tapak, analisis risiko dan kelulusan bertulis agensi berkaitan.

8.3.2 Pelan Tindak Balas Kecemasan (*Emergency Response Plan,* ERP) dan Pelan Risiko

Setiap projek FPV hendaklah menyediakan Pelan Tindak Balas Kecemasan (ERP) dan pelan risiko yang merangkumi senario kecemasan khusus kepada pembangunan FPV di atas badan air.

ERP hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya senario berikut:
i. Angin kencang (>100km/j), ribut atau cuaca ekstrem.
ii. Banjir, paras air melampau atau pelepasan air luar biasa.
iii. Tumpahan minyak, gris, bahan kimia atau bahan pembersih.
iv. Kerosakan struktur platform atau sistem penambatan.
v. Kerosakan kabel, litar pintas, renjatan elektrik atau kegagalan pembumian.
vi. Kebakaran FPV, kebakaran inverter, kebakaran kabel atau kebakaran BESS.
vii. Risiko larut lesap (*leaching*) daripada panel, apungan, kabel, salutan, bateri atau komponen lain.
viii. Kerosakan atau hanyutan tatasusunan FPV akibat kegagalan penambatan.
ix. Pencemaran badan air atau gangguan kepada muka sauk air mentah.
x. Insiden bot, lemas atau kecederaan pekerja di atas air.
xi. Vandalisme, pencerobohan atau ancaman keselamatan.
xii. Penamatan operasi sementara akibat risiko kepada badan air atau keselamatan awam.

ERP hendaklah menetapkan struktur arahan kecemasan, senarai pihak yang perlu dimaklumkan, nombor kecemasan, laluan evakuasi, titik berkumpul, lokasi peralatan kecemasan, lokasi suis pengasingan, prosedur penutupan selamat, prosedur kawalan tumpahan, prosedur kawalan kebakaran, prosedur kawalan air larian tercemar dan prosedur pemulihan selepas insiden.

Simulasi kecemasan hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya sekali setahun dan melibatkan pasukan operasi, kontraktor penyelenggaraan, pemilik atau pengendali badan air serta agensi kecemasan yang berkaitan mengikut tahap risiko projek. Bagi badan air bekalan air minuman, simulasi hendaklah turut mengambil kira prosedur notifikasi kepada operator air dan tindakan perlindungan muka sauk.

Pelaporan insiden hendaklah dikemukakan kepada pihak berkuasa berkaitan mengikut jenis insiden dan syarat kelulusan, termasuk JAS bagi insiden pencemaran, ST bagi insiden elektrik, JKKP bagi kemalangan pekerjaan, JBPM bagi kebakaran, PBT/PBN bagi insiden tapak, pemilik atau pengendali badan air bagi gangguan operasi badan air, dan operator air atau SPAN bagi insiden yang berpotensi menjejaskan bekalan air.

ISO 22301 berkaitan keselamatan dan daya tahan organisasi boleh digunakan sebagai panduan bagi kesinambungan operasi, namun ERP hendaklah disesuaikan dengan risiko sebenar tapak, fungsi badan air dan keperluan agensi tempatan.

8.3.3 Kawalan Bahan Kimia, Minyak dan Bendalir Penyelenggaraan di Tapak

Pembangunan FPV hendaklah mengamalkan prinsip meminimumkan penggunaan dan penyimpanan bahan kimia, minyak, gris, bahan api, pelincir dan bendalir penyelenggaraan di tapak. Penyimpanan bahan tersebut di atas platform terapung adalah tidak dibenarkan.

Sekiranya bahan kimia, minyak atau bendalir penyelenggaraan perlu disimpan sementara di kawasan daratan sokongan, penyimpanan hendaklah memenuhi syarat berikut:

i. Kuantiti hendaklah dihadkan kepada keperluan minimum kerja harian atau kuantiti yang diluluskan.
ii. Bahan hendaklah disimpan dalam kawasan berbumbung, berkunci, berlabel dan mempunyai pengudaraan yang sesuai.
iii. Bekas sekunder atau bunding hendaklah disediakan dengan kapasiti yang mencukupi.
iv. Lokasi penyimpanan hendaklah berada jauh daripada tebing badan air, longkang yang mengalir ke badan air, muka sauk dan kawasan banjir.
v. *Material Safety Data Sheet* (MSDS) hendaklah tersedia di tapak.
vi. Kit tumpahan hendaklah disediakan di lokasi penyimpanan, bot penyelenggaraan dan kawasan kerja.

vii. Pekerja hendaklah dilatih mengenai pengendalian bahan dan prosedur tumpahan.
viii. Rekod penggunaan, pemindahan dan pelupusan bahan hendaklah disimpan.

Bagi kerja penyelenggaraan menggunakan bot, saiz bekas bahan kimia, minyak atau bendalir hendaklah dihadkan bagi mengurangkan risiko tumpahan semasa pengangkutan. Pertukaran minyak, pengisian bahan api atau pencucian peralatan yang boleh menghasilkan air tercemar tidak dibenarkan dilakukan di atas badan air.

8.3.4 Langkah Perlindungan Tambahan bagi Operator Air

Bagi badan air yang berfungsi sebagai sumber air mentah atau menyalurkan air mentah secara langsung ke loji rawatan air, operator air hendaklah mempunyai langkah perlindungan tambahan selain pemantauan rutin. Langkah ini bertujuan memastikan risiko kepada kemudahan rawatan air hilir dapat dikenal pasti, dikawal dan ditangani dengan segera.

Langkah perlindungan tambahan boleh merangkumi:

i. Sistem amaran awal berasaskan pemantauan masa nyata bagi parameter kritikal seperti kekeruhan, pH, oksigen terlarut, kekonduksian, suhu dan hidrokarbon, sekiranya berkaitan.
ii. Pensampelan tambahan di muka sauk dan kawasan tatasusunan FPV selepas hujan lebat, tumpahan, kebakaran, kerosakan panel atau insiden penambatan.
iii. Prosedur pemberhentian sementara aktiviti pembersihan, penyelenggaraan atau kerja air sekiranya terdapat risiko pencemaran.
iv. Prosedur notifikasi segera kepada operator air, pemilik badan air, PBN, SPAN dan agensi teknikal berkaitan.
v. Pemasangan boom kawalan tumpahan atau peralatan kawalan pencemaran di lokasi strategik.
vi. Pelan perlindungan muka sauk termasuk penilaian masa perjalanan air, arah arus dan risiko pencemaran.
vii. Stok bahan penyerap tumpahan dan peralatan kecemasan pencemaran.
viii. Prosedur peningkatan rawatan sementara di loji rawatan air sekiranya parameter air mentah berubah.
ix. Audit berkala terhadap keberkesanan langkah perlindungan air mentah.

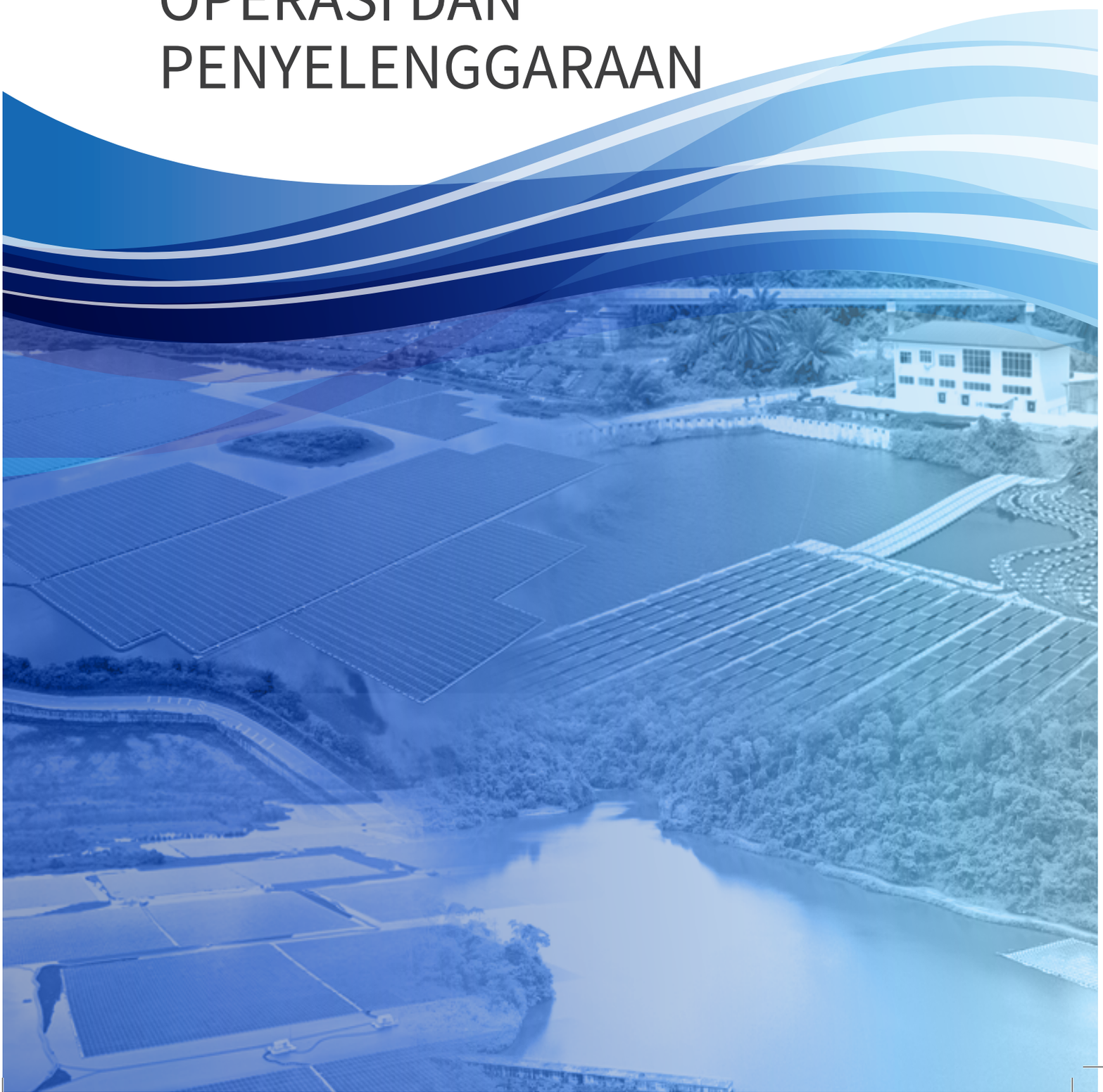
8.4 Ringkasan Keperluan Keselamatan dan Indikator Pemantauan

Jadual 8.6: Ringkasan Keperluan Keselamatan dan Indikator Pemantauan

Aspek	Keperluan Keselamatan	Indikator Pemantauan
Keselamatan elektrik	Kabel bertebat dua lapis, pembumian, perlindungan kilat, perlindungan arus bocor, SPD, suis pengasingan, LOTO, orang kompeten dan zon keselamatan elektrik berasaskan kajian risiko.	Rekod pemeriksaan elektrik, ujian pembumian, ujian arus bocor, bilangan insiden elektrik, status peranti perlindungan dan pematuhan PTW/JSA.
Keselamatan pekerjaan	HIRARC, JSA, PTW, SOP kerja air, PPE, latihan pekerja, orang kompeten, pasukan penyelamat air dan kawalan kerja cuaca buruk.	Rekod latihan, permit kerja, audit keselamatan, bilangan insiden, hampir cemas, latihan ERP dan pemeriksaan PPE.
Keselamatan struktur	Reka bentuk platform dan sistem penambatan berdasarkan batimetri, angin, arus, gelombang, paras air, sedimentasi dan keselamatan empangan.	Rekod pemeriksaan struktur, pemeriksaan sistem penambatan, kedudukan tatasusunan, kerosakan komponen, integriti sauh dan keadaan selepas ribut.
Keselamatan empangan dan operasi badan air	Tidak mengganggu spillway, outlet, intake, muka sauk, laluan pelepasan air, kerja desilting, laluan operasi dan akses kecemasan.	Rekod koordinasi dengan pemilik badan air, audit akses, pemeriksaan zon operasi kritikal dan rekod gangguan operasi.
Keselamatan kimia	Kawalan bahan kimia pembersihan, larangan penyimpanan bahan kimia/minyak di platform terapung, containment, MSDS, kit tumpahan dan kawalan air larian.	Rekod inventori bahan, rekod penggunaan, pemeriksaan stor, insiden tumpahan, status kit tumpahan dan rekod pelupusan.
Ujian bahan dan mikroplastik	Ujian larut lesap awal dan setiap lima (5) tahun, garis dasar mikroplastik, pemantauan tahunan dan ujian integriti HDPE pada pertengahan hayat reka bentuk atau selewat-lewatnya tahun ke-10.	Keputusan ujian larut lesap, keputusan mikroplastik, status integriti bahan, rekod degradasi dan tindakan pembetulan.
Keselamatan biologi	Pemantauan alga, sianobakteria, mikrosistin, patogen, fauna, tumbuhan invasif dan bahan buangan hidupan liar.	Data klorofil-a, mikrosistin, sianobakteria, DO, suhu, aduan bau/warna air, rekod kawalan tumbuhan dan survei biodiversiti.
BESS	Penempatan di daratan selamat, containment, BMS, pengesanan gas/asap/haba, kawalan kebakaran, sistem pengasingan, akses JBPM dan prosedur kecemasan.	Status BMS, suhu bateri, amaran gas, sistem kebakaran, rekod pemeriksaan containment, latihan kecemasan dan insiden bateri.
ERP dan pelan risiko	ERP bagi senario ribut, banjir, tumpahan, kebakaran FPV/BESS, litar pintas, leaching, pencemaran air, hanyutan tatasusunan, kecederaan dan vandalisme.	Simulasi sekurang-kurangnya sekali setahun, rekod latihan, masa tindak balas, laporan insiden, tindakan pembetulan dan audit ERP.
Zon penampan	Zon penampan berdasarkan kajian khusus tapak, hidrodinamik, keselamatan empangan, risiko elektrik, kualiti air, ekologi dan akses.	Pelan zon penampan, pematuhan jarak, keadaan penanda sempadan, rekod pencerobohan dan keberkesanan kawalan akses.

BAB 9

OPERASI DAN PENYELENGGARAAN



9.1 Pengenalan

Fasa operasi dan penyelenggaraan (Operation and Maintenance, O&M) bagi sistem Panel Solar Terapung (Floating Photovoltaic, FPV) memainkan peranan penting dalam memastikan kecekapan penjanaan tenaga, keselamatan infrastruktur, perlindungan kualiti air, keselamatan pekerja, keselamatan awam dan pemeliharaan ekosistem badan air.

Aktiviti O&M hendaklah dilaksanakan secara berjadual, berpandukan prosedur operasi standard, syarat kelulusan pihak berkuasa, arahan pengeluar peralatan dan keperluan teknikal yang berkuat kuasa. Penekanan hendaklah diberikan kepada keselamatan kerja di atas air, pemantauan prestasi sistem, kawalan impak alam sekitar, pengurusan risiko sosial, keselamatan elektrik, integriti struktur terapung dan kebolehoperasian sistem dalam jangka panjang.

Bagi badan air bekalan air minuman, operasi dan penyelenggaraan FPV hendaklah menggunakan pendekatan langkah berjaga-jaga. Aktiviti penyelenggaraan yang berpotensi menyebabkan pencemaran seperti pembersihan panel, pembaikan kabel, penggantian modul, kerja bot, penggunaan bendalir penyelenggaraan, pengendalian BESS dan pembaikan sistem penambatan hendaklah dikawal melalui SOP khusus, pelan kawalan tumpahan, pemantauan kualiti air dan notifikasi kepada operator air sekiranya berlaku insiden.

9.2 Pengoperasian dan Penyelenggaraan sistem solar terapung

Bagi fasa operasi, penyediaan prosedur operasi dan penyelenggaraan adalah diwajibkan. Prosedur tersebut hendaklah merangkumi kawalan operasi harian, pemeriksaan berkala, penyelenggaraan berjadual, tindakan pembetulan, pengurusan insiden, rekod penyelenggaraan, pelaporan prestasi dan pelan kecemasan.

Jadual 9.1: Pengurusan Sistem FPV Semasa Peringkat Operasi dan Penyelenggaraan

Bil.	Perkara	Cadangan Pengurusan dan Penyelenggaraan
1.	Pemantauan Sistem	Sistem pemantauan jarak jauh hendaklah digunakan bagi memantau prestasi modul solar, inverter, sambungan grid, BESS sekiranya ada, suhu, voltan, arus, kecekapan output, stesen cuaca, paras air, status sistem penambatan dan kedudukan tatasusunan FPV.
2.	Pemeriksaan Struktur Panel, Modul dan Pelampung	Pemeriksaan berkala hendaklah meliputi kekuatan struktur FPV, keadaan pelampung, sambungan panel, rak penyokong, laluan kerja, keretakan, kebocoran, ketidakseimbangan dan kesan degradasi bahan. Pemeriksaan visual, drone, kamera termal atau kaedah pemeriksaan lain boleh digunakan mengikut kesesuaian tapak.
3.	Sistem Penambatan dan Kestabilan Tatasusunan	Pemeriksaan hendaklah meliputi tegangan tali penambat, kedudukan sauh, pergerakan tatasusunan, kestabilan tebing bagi tambatan tebing, kesan perubahan paras air, biofouling dan keadaan selepas ribut atau banjir.

Bil.	Perkara	Cadangan Pengurusan dan Penyelenggaraan
4.	Peralatan Elektrik dan Sambungan Grid	Pemeriksaan berkala hendaklah meliputi sistem pembumian, perlindungan kilat, DC/AC, inverter, transformer, kabel, sambungan grid, kebocoran voltan, pemanasan melampau, kakisan, kerosakan penebat dan status peranti perlindungan.
5.	Kawalan Keselamatan Tapak	Kawalan akses hendaklah dilaksanakan bagi kawasan daratan, kawasan atas air, bangunan kawalan, inverter, transformer, BESS, jeti dan laluan penyelenggaraan. Sistem CCTV, papan tanda, pagar, boya penanda dan rondaan keselamatan boleh digunakan mengikut tahap risiko.
6.	Latihan Staf O&M	Latihan berkala hendaklah merangkumi kerja atas air, keselamatan bot, PPE, kerja elektrik, PTW, JSA, ERP, pengurusan tumpahan, kawalan pencemaran, penyelamatan air dan prosedur kecemasan.
7.	Audit Prestasi dan Keselamatan	Audit teknikal dan keselamatan hendaklah dilaksanakan secara berkala bagi menilai prestasi sistem, integriti struktur, pematuhan O&M, keselamatan elektrik, status alam sekitar dan keberkesanan langkah mitigasi.

9.3 Kualiti Air

Pemantauan kualiti air semasa fasa operasi hendaklah dilaksanakan bagi memastikan sistem FPV tidak memberi kesan negatif terhadap fungsi ekologi badan air, keselamatan sumber air mentah, operasi loji rawatan air dan kegunaan sah badan air.

Bagi kesinambungan daripada penilaian garis dasar dan analisis *Lake Impact Assessment* (LIA) yang telah dilaksanakan semasa peringkat pra-pemasangan, pemantauan kualiti air semasa fasa operasi adalah penting bagi memastikan sistem solar panel terapung tidak memberi kesan negatif terhadap fungsi ekologi tasik dan kualiti sumber air mentah bagi loji rawatan.

Pemantauan hendaklah dilaksanakan secara berkala dan berterusan mengikut pelan pemantauan alam sekitar yang diluluskan oleh pihak berkuasa, merangkumi lokasi, parameter, kaedah persampelan, kekerapan, ambang tindakan dan mekanisme pelaporan seperti yang telah ditetapkan pada fasa penentuan garis dasar.

Aktiviti pemantauan ini perlu mematuhi piawaian dan panduan teknikal seperti :

i. *Water Quality – Sampling – Guidance on Sampling of Surface Waters (ISO 5667–4).*
ii. *National Lake Water Quality Standards (NLWQS)* oleh Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM).
iii. *Recommended Raw Water Quality Criteria and Frequency of Monitoring* oleh Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM).

Parameter pemantauan hendaklah merangkumi parameter fizikal, kimia dan biologi yang bersesuaian, termasuk suhu, pH, oksigen terlarut, kekonduksian, kekeruhan, jumlah pepejal terampai, nutrien, BOD, COD, klorofil-a, logam berat, mikroplastik, mikrosistin, biofilm, sianobakteria dan parameter tambahan berdasarkan penilaian risiko tapak.

Kekerapan pemantauan kualiti air hendaklah sekurang-kurangnya empat (4) kali setahun atau secara suku tahunan. Bagi badan air bekalan air minuman, badan air cetek, badan air berstrata atau tapak yang menunjukkan perubahan kualiti air, kekerapan pemantauan hendaklah ditingkatkan mengikut tahap risiko, termasuk pemantauan bulanan pada tahun pertama operasi sekiranya diperlukan.

Pemantauan hendaklah merangkumi lokasi aliran masuk atau hulu, kawasan tatasusunan FPV, kawasan hilir atau aliran keluar, lokasi kawalan yang tidak dipengaruhi oleh FPV dan muka sauk air mentah sekiranya berkaitan. Persampelan menegak hendaklah dilaksanakan pada permukaan, pertengahan lajur air dan berhampiran dasar bagi badan air yang mempunyai kedalaman mencukupi atau menunjukkan stratifikasi.

Sekiranya keputusan pemantauan menunjukkan kemerosotan kualiti air berbanding nilai asas atau piawaian yang ditetapkan, langkah mitigasi segera perlu dilaksanakan bagi meminimumkan kesan terhadap badan air. Antara langkah mitigasi yang disyorkan termasuk pembersihan berkala terhadap permukaan panel solar dan pelampung untuk mengelakkan pengumpulan biofilm, alga atau bahan organik, pelarasan kedudukan atau orientasi modul terapung bagi mengoptimumkan peredaran air, pemasangan sistem kawalan limpahan dan perangkap sedimen di kawasan tebing, peningkatan sistem rawatan awal bagi air larian permukaan, pemeriksaan dan penyelenggaraan berkala terhadap struktur sokongan serta kabel elektrik terapung, serta pelaksanaan audit teknikal dan semakan semula pelan pemantauan sekiranya trend kemerosotan berterusan.

Kesemua hasil pemantauan dan tindakan mitigasi yang dilaksanakan hendaklah direkodkan dan dilaporkan secara berkala kepada pemilik badan air bagi tujuan pengesahan pematuhan serta pemantauan berterusan terhadap status kualiti air badan air tersebut.

9.3.1 Kawalan Air Larian dan Rawatan Awal

Kawasan yang berpotensi menjadi punca pencemaran air larian hendaklah dikenal pasti dan dikawal, termasuk kawasan inverter dan transformer, BESS, stor penyelenggaraan, kawasan parkir, jeti kerja, kawasan pemunggahan peralatan, laluan kenderaan, kawasan pembersihan panel, kawasan pengumpulan sisa dan kawasan tebing yang terdedah kepada hakisan.

Kaedah kawalan air larian hendaklah merangkumi sistem saliran terkawal, perangkap sedimen, *oil trap, sump, bunding, containment, vegetated swale, silt curtain*, kolam takungan sementara, sistem rawatan awal dan pemeriksaan selepas hujan lebat.

Strategi pemantauan bagi mengenal pasti kawasan terjejas hendaklah merangkumi pemeriksaan visual selepas hujan, pensampelan di titik pelepasan air larian,

pemantauan kekeruhan, hidrokarbon, minyak dan gris, pH, kekonduksian, pepejal terampai serta pemeriksaan rekod aktiviti penyelenggaraan.

9.3.2 Kawalan Biofilm tanpa Disinfektan

Pembentukan biofilm pada pelampung, kabel, struktur sokongan dan permukaan berhampiran air hendaklah dikawal melalui kaedah fizikal atau mekanikal tanpa penggunaan disinfektan. Kaedah yang boleh dipertimbangkan termasuk pembersihan manual terkawal, berus lembut, pad bukan kasar, pembersihan tekanan rendah, sistem robotik tanpa bahan kimia, pengeringan komponen semasa penyelenggaraan, penambahbaikan reka bentuk bagi mengurangkan permukaan perangkap biofilm dan pemeriksaan berkala kawasan berisiko.

Penggunaan disinfektan, biocide, bahan antialga atau bahan kimia kawalan biofilm adalah tidak dibenarkan di atas badan air bekalan air minuman melainkan mendapat kelulusan bertulis daripada pihak berkuasa berkaitan dan dibuktikan tidak menjejaskan kualiti air serta hidupan akuatik.

9.3.3 Kualiti Air Semasa Aktiviti Penyelenggaraan

Aktiviti penyelenggaraan yang melibatkan pembersihan panel, pembaikan kabel, kerja bot, penggantian modul, pembaikan inverter, pengurusan BESS atau penggunaan bendalir penyelenggaraan hendaklah dinilai dari segi potensi perubahan kualiti air sebelum, semasa dan selepas aktiviti dijalankan.

Bagi aktiviti berisiko, pensampelan tambahan hendaklah dilaksanakan sebelum dan selepas penyelenggaraan bagi parameter seperti kekeruhan, pH, kekonduksian, minyak dan gris, hidrokarbon, logam, mikroplastik dan bahan lain berdasarkan jenis kerja.

Semua hasil pemantauan dan tindakan mitigasi hendaklah direkodkan dan dilaporkan secara berkala kepada pemilik badan air. Pelaporan kepada JAS hendaklah dilaksanakan bagi projek yang tertakluk kepada EIA atau sekiranya berlaku insiden pencemaran yang memerlukan tindakan JAS.

9.4 Biodiversiti Badan Air

Pemantauan biodiversiti badan air hendaklah dilaksanakan secara berterusan bagi memastikan impak sistem FPV terhadap hidupan akuatik, hidupan liar dan ekosistem sekitar berada pada tahap minimum. Pembangunan FPV boleh mewujudkan interaksi dengan hidupan liar seperti burung, siput, ikan, memerang, serangga, alga, makrofit dan organisma akuatik lain. Konflik seperti kotoran burung pada panel, telur siput pada pelampung atau kabel, pertumbuhan biofilm, tumbuhan invasif dan ledakan alga hendaklah diuruskan melalui pendekatan penyelenggaraan berkala dan kawalan bukan kimia.

Pemantauan biodiversiti hendaklah merangkumi rekod visual dan kuantitatif bagi tumbuhan akuatik, makrofit, alga, fitoplankton, zooplankton, makroinvertebrata,

ikan, burung air, mamalia akuatik, reptilia, siput dan spesies invasif. Sekiranya terdapat gangguan hidupan liar, konflik biodiversiti atau kehadiran spesies dilindungi, maklumat hendaklah disalurkan kepada agensi berkaitan seperti PERHILITAN, Jabatan Perikanan Malaysia, pemilik atau pengendali badan air dan PBT mengikut bidang kuasa masing-masing.

Rajah 9.1: Kotoran burung (kiri) dan telur siput (kanan) atas pelampung dan kabel FPV



9.4.1 Kawalan Alga dan Tumbuhan Akuatik

Kawalan alga dan tumbuhan akuatik hendaklah mengutamakan kaedah pencegahan, fizikal dan mekanikal. Kaedah kawalan biologi hanya boleh dipertimbangkan berdasarkan kajian khusus tapak, kelulusan agensi berkaitan dan bukti bahawa kaedah tersebut tidak memperkenalkan spesies asing invasif, tidak mengganggu ekologi tempatan dan tidak menjejaskan kualiti air.

Sebarang cadangan menggunakan ikan, organisma akuatik atau kaedah biologi lain bagi mengawal alga atau tumbuhan akuatik hendaklah mendapatkan pandangan Jabatan Perikanan Malaysia dan agensi teknikal berkaitan. Penggunaan spesies bukan natif atau spesies berisiko invasif adalah tidak dibenarkan.

9.4.2 Pemantauan Ikan sebagai Bioindikator

Pemantauan ikan boleh dipertimbangkan sebagai bioindikator jangka panjang bagi menilai potensi pencemaran, bioakumulasi dan perubahan ekosistem akuatik. Pemantauan ini hendaklah dilaksanakan secara terkawal melalui kaedah yang diluluskan oleh Jabatan Perikanan Malaysia dan tidak boleh menjejaskan populasi ikan tempatan.

Kaedah yang boleh dipertimbangkan termasuk pemerhatian komuniti ikan, rekod hasil tangkapan, pensampelan tisu ikan bagi parameter tertentu, pemantauan kesihatan ikan dan pemantauan spesies sensitif. Bagi badan air bekalan air minuman,

kaedah ini hendaklah digunakan sebagai sokongan kepada pemantauan kualiti air dan bukan sebagai pengganti pemantauan makmal.

Jadual 9.2: Pengurusan ekosistem

Bil.	Jenis	Langkah Pengurusan dan Penyelenggaraan
1.	Tumbuhan air invasif	Pemeriksaan berkala, penuaian mekanikal secara terkawal, pembersihan laluan bot dan larangan penggunaan *herbisid* tanpa kelulusan.
2.	Alga dan biofilm	Kawalan nutrien, pemeriksaan visual, pembersihan mekanikal, pengurangan bahan organik, pemantauan klorofil-a, oksigen terlarut dan mikrosistin.
3.	Siput dan organisma melekat	Pembersihan berkala pada pelampung, kabel dan struktur sokongan menggunakan kaedah bukan kimia.
4.	Burung dan hidupan liar	Kawalan bukan memudaratkan, pengurusan kotoran burung, pemeriksaan panel dan pelaporan kepada agensi berkaitan sekiranya melibatkan spesies dilindungi.
5.	Ikan dan bioindikator	Pemantauan komuniti ikan, rekod hasil tangkapan dan pensampelan tambahan sekiranya terdapat risiko bioakumulasi atau pencemaran.

9.5 Pertimbangan Sosial

Pertimbangan sosio-ekonomi hendaklah dipenuhi sepanjang fasa pembinaan, operasi awal dan operasi berterusan bagi memastikan projek FPV sesuai dengan guna semasa badan air serta memelihara kesejahteraan komuniti.

Prinsip utama ialah akses awam yang munasabah dikekalkan, keselamatan pengguna diperkukuh, komunikasi dilaksanakan secara telus, manfaat setempat direalisasikan dan prestasi sosial dibuktikan melalui pemantauan serta pelaporan yang boleh diaudit.

9.5.1 Tahap Perkhidmatan Sosial

Pemaju hendaklah menyatakan secara jelas komitmen minimum berikut di dalam dokumen kelulusan/kontrak:

i. Penyelenggaraan akses rekreasi awam yang munasabah (laluan pejalan kaki, jeti dan koridor bot).
ii. Langkah keselamatan awam di darat dan di air yang sepadan dengan risiko.
iii. Ketelusan komunikasi termasuk notis kerja/penutupan dan saluran aduan berfungsi.
iv. Manfaat setempat yang munasabah (peluang kerja / latihan asas O&M dan perolehan vendor tempatan yang sesuai).

9.5.2 Penunjuk Prestasi Sosio-ekonomi

KPI sosio-ekonomi hendaklah merangkumi tahap akses awam terpelihara, ketersediaan koridor bot, masa respons aduan, kadar penyelesaian aduan, bilangan insiden keselamatan pengguna air, kemaskini maklumat awam, kadar pengambilan pekerja tempatan, pelaksanaan latihan O&M dan peratus perolehan vendor tempatan bagi kategori yang sesuai.

9.5.3 Ambang Tindakan dan Prosedur Pembetulan

Ambang tindakan hendaklah ditetapkan bagi insiden keselamatan serius, kegagalan komunikasi kecemasan, halangan koridor bot, aduan berulang, penurunan akses awam, gangguan mata pencarian atau konflik komuniti. Tindakan pembetulan hendaklah meliputi siasatan punca, penambahbaikan penandaan, pengawasan tambahan, pelarasan jadual kerja, kemas kini SOP, latihan semula dan pelaporan kepada pihak berkuasa berkaitan.

9.5.4 Verifikasi, Audit dan Pelaporan

Semakan dalaman hendaklah dilaksanakan secara berkala. Audit berkala hendaklah menilai pematuhan KPI sosial, rekod aduan, keselamatan pengguna, akses awam, manfaat komuniti dan tindakan pembetulan. Laporan sosial hendaklah dikemukakan secara berkala kepada pemilik badan air mengikut syarat kelulusan. Sesi libat urus berkala diadakan untuk membentangkan prestasi sosial dan menerima maklum balas. Ringkasan mesra komuniti hendaklah dipamerkan melalui papan makluman tapak, portal projek atau saluran komunikasi lain yang mudah diakses.

9.6 Penyelenggaraan

Operasi dan penyelenggaraan sistem FPV di atas badan air adalah penting bagi memastikan prestasi optimum, keselamatan, jangka hayat sistem dan perlindungan kualiti air. Disebabkan sistem berada di atas air, penyelenggaraan FPV mempunyai cabaran unik berbanding sistem solar di daratan, termasuk kelembapan tinggi, kakisan, biofouling, perubahan paras air, risiko bot, akses terhad, cuaca tropika dan keperluan perlindungan badan air.

9.6.1 Pemeriksaan Berkala

Pemeriksaan berkala hendaklah dilaksanakan mengikut saiz projek, sensitiviti badan air, keadaan cuaca, sejarah kerosakan dan keperluan pengeluar. Pemeriksaan minimum hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya satu kali dalam tempoh satu tahun, manakala pemeriksaan lebih kerap hendaklah dilaksanakan bagi tapak berskala besar, badan air bekalan air minuman, kawasan berisiko ribut, kawasan berbiofouling tinggi atau selepas kejadian cuaca ekstrem.

Jadual 9.3: Cadangan Komponen dan Jenis Pemeriksaan

Bil.	Komponen	Jenis Pemeriksaan
1.	Modul PV	Kerosakan fizikal, retak, hot spot, kotoran, najis burung, alga, biofilm, penurunan prestasi dan keperluan penggantian modul.
2.	Struktur Terapung	Kebocoran, ketidakseimbangan, retakan, kemasukan air, degradasi UV, biofouling dan kestabilan laluan kerja.
3.	Sistem Penambat	Tegangan tali, hakisan, kedudukan sauh, pergerakan luar biasa, biofouling dan kesan perubahan paras air.

Bil.	Komponen	Jenis Pemeriksaan
4.	Kabel dan Sambungan Elektrik	Hakisan, haus, kerosakan fizikal, kerosakan akibat air atau UV, penebat terjejas, sambungan longgar dan risiko arus bocor.
5.	Inverter dan peralatan elektrik	Fungsi normal, bunyi luar biasa, sistem penyejukan, sistem penggera, status komunikasi, perlindungan elektrik dan prestasi operasi.
6.	BESS	Status BMS, suhu bateri, penggera gas, sistem penyejukan, sistem kebakaran, containment, sambungan elektrik dan rekod amaran.
7.	Kawasan daratan sokongan	Saliran, oil trap, sump, bunding, stor penyelenggaraan, akses kecemasan, laluan bot dan risiko air larian tercemar.

9.6.2 Pembersihan Modul PV

Pembersihan panel solar hendaklah dilaksanakan berdasarkan tahap kekotoran, penurunan prestasi, kewujudan najis burung, debu, biofilm, alga atau keadaan tapak. Kekerapan pembersihan hendaklah ditentukan melalui pemantauan prestasi dan pemeriksaan visual.

Kaedah pembersihan yang dibenarkan ialah:

i. Guna air bersih tanpa bahan kimia.
ii. Gunakan berus lembut, span atau alat bukan kasar bagi mengelakkan calar.
iii. Gunakan sistem robotik atau peralatan automatik tanpa bahan kimia bagi sistem berskala besar.
iv. Elakkan pembersihan semasa panel terlalu panas bagi mengurangkan risiko keretakan terma.
v. Pastikan air basuhan, serpihan bahan atau sisa pembersihan tidak dilepaskan secara tidak terkawal ke badan air.

Penggunaan bahan kimia, detergen kuat, surfaktan, disinfektan, salutan kimia atau bahan pencuci khas adalah tidak dibenarkan kecuali mendapat kelulusan bertulis daripada pihak berkuasa berkaitan serta dibuktikan tidak memberi kesan kepada kualiti air dan ekosistem akuatik. Jenis, kuantiti, kaedah penggunaan, kaedah pengumpulan air basuhan dan kaedah pelupusan hendaklah dinyatakan sekiranya sebarang bahan selain air bersih dicadangkan.

Modul PV yang rosak, retak, terbakar, pecah, menunjukkan hot spot kritikal atau berisiko melepaskan bahan dalaman hendaklah diganti di bawah prosedur kerja terkawal. Penggantian modul PV hendaklah dilaksanakan dengan langkah kawalan serpihan, larangan pelepasan sisa ke badan air, pembungkusan selamat, pelabelan, rekod nombor siri dan pelupusan atau kitar semula melalui kontraktor yang dibenarkan.

9.6.3 Penyelenggaraan Struktur Terapung

Penyelenggaraan struktur terapung hendaklah merangkumi pemeriksaan pelampung HDPE, sambungan antara pelampung, laluan kerja, rak penyokong, bolt, pin, connector dan komponen sokongan lain. Pemeriksaan hendaklah memastikan pelampung tidak retak, tidak bocor, tidak tenggelam, tidak mengalami kemasukan air, tidak mengalami degradasi keterlaluan dan masih berada dalam keadaan seimbang serta stabil.

Semasa penggantian modul PV, struktur terapung hendaklah diperiksa bagi memastikan laluan kerja selamat, kapasiti sokongan mencukupi, sambungan struktur tidak longgar, keseimbangan apungan tidak terjejas dan tiada serpihan komponen jatuh ke dalam badan air. Sekiranya penggantian modul PV melibatkan kerja berat atau kerja berskala besar, pelan kaedah kerja hendaklah disediakan termasuk kawalan beban, kawalan akses, penggunaan bot, pengurusan sisa dan pelan kecemasan.

9.6.4 Penyelenggaraan Sistem Penambatan

Penyelenggaraan sistem penambatan hendaklah meliputi pemeriksaan sauh, tali penambat, tali keluli, rantai, buoy, connector, shackles, tensioner dan komponen berkaitan. Pemeriksaan bagi bertujuan untuk memastikan sauh tidak berganjak, tegangan tali stabil, tiada hakisan keterlaluan, tiada kerosakan mekanikal, tiada biofouling berlebihan dan sistem masih dapat menampung perubahan paras air secara selamat.

Pemeriksaan tambahan hendaklah dilaksanakan selepas ribut, banjir, perubahan paras air luar biasa, hanyutan objek besar atau sebarang insiden yang boleh menjejaskan integriti sistem penambatan.

9.6.5 Pemantauan Prestasi Sistem

Pemantauan prestasi sistem hendaklah dilaksanakan secara berterusan bagi mengesan penurunan output, kegagalan inverter, penurunan voltan, litar pintas, masalah komunikasi, *hot spot*, ketidakseimbangan string dan prestasi BESS sekiranya berkaitan.

Sistem amaran automatik hendaklah disediakan bagi membolehkan tindakan segera diambil sekiranya berlaku kegagalan komponen, penurunan prestasi ketara atau risiko keselamatan.

9.6.6 Penyelenggaraan Elektrik

Penyelenggaraan elektrik hendaklah dilaksanakan oleh orang kompeten dan mematuhi prosedur keselamatan kerja elektrik, termasuk PTW, JSA, PPE, ujian ketiadaan voltan dan kawalan akses.

Jadual 9.4: Perincian Komponen dan Penyelenggaraan Peralatan Elektrik

Bil.	Komponen	Penyelenggaraan
1.	Inverter	Pemeriksaan sistem penyejukan, bersihkan penapis udara, semak firmware, semak penggera, semak prestasi dan periksa tanda pemanasan melampau.
2.	Kabel DC/AC	Pemeriksaan penebat, tahanan kabel, sambungan longgar, kesan UV, hakisan, kerosakan fizikal dan risiko kemasukan air.
3.	Sistem Pembumian	Pastikan sambungan pembumian selamat, tidak terputus dan bacaan masih mematuhi reka bentuk asal.
4.	*Floating combiner box / junction box*	Periksa tahap perlindungan IP, kemasukan air, hakisan, sambungan, suhu dan label keselamatan.
5.	BESS	Periksa BMS, sistem penyejukan, sistem kebakaran, penggera gas, status bateri, containment, sambungan elektrik dan rekod amaran.

9.6.7 Kawalan Alga, Biofilm dan Tumbuhan Air

Pertumbuhan alga, biofilm dan tumbuhan air hendaklah dipantau di sekitar tatasusunan FPV, pelampung, kabel, laluan bot dan kawasan struktur sokongan. Pertumbuhan berlebihan boleh mengganggu keapungan, keselamatan akses, kualiti air dan prestasi sistem.

Kaedah kawalan hendaklah mengutamakan kaedah mekanikal dan fizikal seperti penuaian tumbuhan, pembersihan manual terkawal, pemeriksaan berkala, pengurusan serpihan tumbuhan dan kawalan nutrien dari kawasan tebing.

Penggunaan bahan kimia toksik, herbisid, algisid atau disinfektan adalah tidak dibenarkan tanpa kelulusan bertulis pihak berkuasa berkaitan. Teknologi kawalan seperti ultrasonik, robotik atau kaedah biologi hanya boleh digunakan selepas penilaian risiko tapak, bukti keberkesanan, kawalan kesan sampingan dan kelulusan agensi berkaitan.

9.6.8 Kekerapan Penyelenggaraan dan Jangka Hayat Komponen

Dalam iklim tropika Malaysia, kekerapan penyelenggaraan hendaklah mengambil kira suhu tinggi, kelembapan, sinaran UV, hujan lebat, ribut petir, biofouling dan risiko kakisan. Jadual penyelenggaraan hendaklah disediakan berdasarkan arahan pengeluar, keadaan tapak dan rekod prestasi operasi.

Sebagai panduan awal, pemeriksaan visual boleh dilaksanakan secara bulanan, pemeriksaan elektrik asas secara suku tahunan, pemeriksaan struktur dan penambatan secara separuh tahunan, audit menyeluruh secara tahunan dan pemeriksaan khas selepas ribut, banjir atau insiden operasi.

Jangka hayat komponen hendaklah dinyatakan dalam pelan O&M, termasuk modul solar, pelampung HDPE, sistem penambatan, kabel, inverter, transformer, BESS,

komponen pembumian dan peralatan keselamatan. Pelan penggantian komponen hendaklah disediakan bagi mengelakkan kelewatan penggantian yang boleh menyebabkan degradasi bahan, pelepasan mikroplastik, kebocoran, kegagalan struktur atau pencemaran air.

Jadual 9.5: Panduan Awal Kekerapan Pemeriksaan dan Penggantian Komponen

Bil.	Komponen	Pemeriksaan Minimum	Pertimbangan Penggantian / Tindakan
1.	Modul PV	Bulanan visual, tahunan termografi atau mengikut keperluan	Ganti jika retak, pecah, terbakar, hot spot kritikal atau prestasi merosot melebihi ambang pengeluar.
2.	Pelampung HDPE	Separuh tahunan dan selepas ribut	Ujian integriti pada pertengahan hayat reka bentuk atau selewat-lewatnya tahun ke-10; ganti jika retak, bocor, rapuh atau tidak stabil.
3.	Sistem Penambat	Separuh tahunan dan selepas paras air luar biasa	Laraskan tegangan; ganti tali, rantai atau connector jika haus, kakisan atau deformasi dikesan.
4.	Kabel DC/AC	Suku tahunan visual, tahunan ujian elektrik	Servis penyejukan dan penapis; pertimbangkan penggantian apabila prestasi menurun atau tamat hayat reka bentuk.
5.	Inverter	Suku tahunan atau mengikut pengeluar	Periksa BMS, sistem penyejukan, sistem kebakaran, penggera gas, status bateri, containment, sambungan elektrik dan rekod amaran.
6.	BESS	Pemantauan masa nyata dan pemeriksaan berkala	Ganti modul bateri berdasarkan SoH, amaran BMS, suhu abnormal, kerosakan fizikal atau arahan pengeluar.
7.	Peralatan keselamatan	Bulanan	Ganti serta-merta jika rosak, tamat tempoh, tidak berfungsi atau tidak mencukupi.

9.6.9 Protokol Keselamatan

Audit menyeluruh terhadap sistem elektrik, struktur, penambatan, keselamatan kerja, prestasi sistem, BESS, kawalan tumpahan dan akses kecemasan hendaklah dilaksanakan secara berkala. Protokol keselamatan hendaklah merangkumi laporan kerosakan, cadangan penambahbaikan, ujian termografi, ujian tahanan penebat, ujian pembumian, pemeriksaan kabel, pemeriksaan platform, latihan ERP dan semakan prosedur kerja.

9.6.10 Log Penyelenggaraan

Pemaju atau operator hendaklah menyimpan rekod semua aktiviti O&M secara sistematik.

Rekod hendaklah merangkumi:

i. Tarikh pemeriksaan.
ii. Nama pemeriksa atau kontraktor.
iii. Lokasi dan komponen diperiksa.
iv. Laporan kerosakan.
v. Kerja pembaikan.
vi. Data prestasi.
vii. Penggunaan bahan atau bendalir penyelenggaraan.
viii. Penggantian komponen dan nombor siri.
ix. Kaedah pelupusan atau kitar semula.
x. Keputusan pemantauan kualiti air.
xi. Insiden, aduan dan tindakan pembetulan.
xii. Perubahan dalam sistem atau reka bentuk operasi.

Log penyelenggaraan hendaklah boleh diaudit dan disimpan sepanjang tempoh operasi projek serta untuk tempoh yang ditetapkan selepas penyahtaraan.



BAB 10

PENAMATAN OPERASI (*DECOMMISSIONING*)



10.1 Pengenalan

Fasa penamatan operasi atau *decommissioning* merupakan peringkat terakhir dalam kitar hayat pembangunan FPV. Fasa ini merangkumi proses menghentikan operasi sistem, menanggalkan semua komponen FPV, mengurus pelupusan atau kitar semula bahan, mengeluarkan struktur terapung dan sistem penambatan, serta memulihkan kawasan badan air, khususnya takungan air dan tasik, kepada keadaan yang selamat, stabil dan lestari.

Perancangan penamatan operasi yang teratur adalah penting bagi memastikan tiada kesan negatif terhadap kualiti air, biodiversiti, keselamatan awam, keselamatan pekerja, operasi badan air, struktur empangan, kawasan tebing, sedimen serta ekosistem akuatik.

Pelaksanaan penamatan operasi hendaklah berasaskan prinsip 3R, iaitu mengurangkan sisa (*Reduce*), penggunaan semula (*Reuse*) dan kitar semula (*Recycle*), serta mematuhi syarat pihak berkuasa dan agensi teknikal berkaitan.

Bagi badan air yang berfungsi sebagai sumber air mentah atau menyalurkan air mentah secara langsung ke loji rawatan air, penamatan operasi hendaklah dilaksanakan secara terkawal bagi mengelakkan pencemaran air, pelepasan mikroplastik, serpihan panel, bahan kimia, minyak, gris, sisa bateri, logam berat atau bahan larut lesap ke dalam sistem air.

10.2 Pelan Penamatan Operasi

Pelan Penamatan Operasi hendaklah disediakan oleh pemaju sejak peringkat awal pembangunan FPV bagi memastikan proses penamatan dapat dilaksanakan dengan selamat, sistematik dan berkesan apabila sistem mencapai akhir tempoh hayat reka bentuknya.

Tempoh hayat reka bentuk lazim bagi komponen FPV adalah sekitar dua puluh hingga dua puluh lima tahun, tertakluk kepada spesifikasi pengeluar, keadaan tapak, tahap degradasi bahan, rekod penyelenggaraan, prestasi operasi dan keputusan pemeriksaan berkala. Walau bagaimanapun, penamatan operasi boleh dilaksanakan lebih awal sekiranya sistem tidak lagi selamat, tidak ekonomik, gagal mematuhi syarat kelulusan atau menimbulkan risiko kepada badan air.

Pelan Penamatan Operasi hendaklah dikemukakan kepada pemilik atau pengendali badan air untuk semakan dan pengesahan mengikut bidang kuasa masing-masing. Bagi projek yang tertakluk kepada EIA, pelan dan laporan berkaitan hendaklah turut dikemukakan kepada JAS mengikut syarat kelulusan EIA.

Pelan Penamatan Operasi hendaklah dikemas kini secara berkala, sekurang-kurangnya setiap lima (5) tahun atau apabila terdapat perubahan besar kepada reka bentuk, kapasiti, pemilik projek, teknologi panel, sistem penambatan, BESS, kaedah O&M atau syarat pihak berkuasa.

Pelan ini hendaklah mengandungi sekurang-kurangnya komponen berikut:

i. Inventori Komponen dan Aset.
ii. Jadual Penamatan dan Tanggungjawab.
iii. Penilaian Kesan Penamatan Operasi.
iv. Kaedah Pelupusan Bahan.
v. Kaedah Pemulihan Tapak.
vi. Prosedur Keselamatan dan Pencegahan Pencemaran.

10.2.1 Inventori Komponen dan Aset

Senarai lengkap semua komponen sistem hendaklah disediakan, termasuk modul PV, struktur terapung, pelampung HDPE, kabel, inverter, transformer, sistem penambatan, sauh, tali penambat, buoy, connector, junction box, floating combiner box, BESS sekiranya ada, peralatan keselamatan, jeti, platform kerja dan kemudahan sokongan.

Setiap komponen hendaklah mempunyai maklumat teknikal seperti nombor siri, bahan binaan, berat, kuantiti, lokasi pemasangan, status operasi, tahap kerosakan, potensi guna semula, potensi kitar semula dan kaedah pelupusan.

10.2.2 Jadual Penamatan dan Tanggungjawab

Pemaju hendaklah menyediakan jadual kerja penamatan secara berperingkat yang merangkumi tempoh, kaedah kerja, urutan pembongkaran, laluan akses, peralatan yang digunakan, tenaga kerja, kawalan keselamatan, kawalan pencemaran dan tanggungjawab setiap pihak yang terlibat.

Tanggungjawab pihak berkaitan hendaklah dinyatakan dengan jelas, termasuk pemaju, pemilik projek, kontraktor penyahtaraan, pemilik atau pengendali badan air, operator air, kontraktor pelupusan, kontraktor kitar semula, orang kompeten elektrik, pegawai keselamatan dan pegawai pematuhan alam sekitar.

10.2.3 Penilaian Kesan Penamatan Operasi

Bagi pembangunan FPV berskala besar, pembangunan FPV di badan air bekalan air minuman, pembangunan berhampiran struktur empangan atau pembangunan yang mempunyai risiko alam sekitar tinggi, pemaju hendaklah menyediakan Penilaian Kesan Penamatan Operasi bagi mengenal pasti risiko terhadap kualiti air, sedimen, habitat akuatik, biodiversiti, keselamatan pekerja, keselamatan awam, operasi badan air serta struktur kritikal.

Penilaian Kesan Penamatan Operasi hendaklah sekurang-kurangnya merangkumi risiko serpihan panel, pelepasan mikroplastik, kebocoran minyak atau gris, gangguan sedimen, perubahan kekeruhan, kerosakan struktur penambatan, gangguan hidupan akuatik, risiko BESS, risiko kerja bot, risiko elektrik dan risiko pencemaran air semasa kerja pembongkaran.

10.2.4 Kaedah Pelupusan Bahan

Pelan hendaklah memperincikan kaedah pengasingan, penyimpanan sementara, pengangkutan, guna semula, kitar semula dan pelupusan akhir bagi semua bahan dan komponen FPV.

Komponen yang berpotensi dikategorikan sebagai buangan terjadual hendaklah dikenal pasti lebih awal dan diurus mengikut Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Buangan Terjadual) 2005 yang dikuatkuasakan oleh JAS.

10.2.5 Kaedah Pemulihan Tapak

Pelan hendaklah memperincikan kaedah pemulihan kawasan badan air selepas semua komponen ditanggalkan, termasuk pembersihan permukaan air, pemeriksaan dasar, pemulihan kawasan tebing, pemulihan laluan bot, penstabilan kawasan kerja dan pemantauan kualiti air selepas penamatan.

10.2.6 Prosedur Keselamatan dan Pencegahan Pencemaran

Langkah keselamatan semasa kerja pengalihan komponen hendaklah disediakan bagi mencegah tumpahan minyak, pelepasan serpihan plastik, sisa logam, pecahan kaca, kabel, bahan kimia, bendalir penyelenggaraan atau komponen elektrik ke dalam air.

Segala kerja pengalihan hendaklah dilaksanakan secara sistematik oleh tenaga kerja mahir dan orang kompeten yang berkaitan bagi mengelakkan risiko elektrik, kecederaan pekerja, kebakaran, tumpahan bahan dan pencemaran air. Kawasan kerja hendaklah dikawal supaya tidak mengganggu operasi badan air, struktur empangan, muka sauk, laluan pelepasan air, kerja penyelenggaraan dan fungsi ekologi.

10.3 Jaminan Kewangan Penyahtaraan

Pemaju hendaklah menyediakan jaminan kewangan penyahtaraan sebagai syarat pembangunan FPV bagi memastikan kos penamatan operasi, pembongkaran, pengangkutan, kitar semula, pelupusan, pemulihan tapak dan pemantauan selepas penamatan dapat ditanggung walaupun pemaju atau syarikat projek tidak lagi beroperasi pada akhir tempoh hayat projek.

Jaminan kewangan boleh berbentuk bon prestasi, akaun escrow, polisi insurans, jaminan bank atau mekanisme kewangan lain yang diterima oleh pemilik badan air. Keperluan jaminan kewangan adalah sangat penting bagi pembangunan FPV yang melibatkan infrastruktur bekalan air awam, empangan, takungan air strategik, tasik bekalan air minuman, BESS atau projek berskala besar.

Anggaran kos penyahtaraan hendaklah disediakan oleh pemaju pada peringkat awal projek dan dikemas kini sekurang-kurangnya setiap lima tahun. Anggaran kos hendaklah mengambil kira inflasi, kos tenaga kerja, kos pengangkutan, kos pengurusan buangan terjadual, kos kitar semula, kos pemulihan tapak, kos pemantauan selepas penamatan dan kos kontingensi.

Pelepasan jaminan kewangan hanya boleh dipertimbangkan selepas kerja penamatan operasi, pelupusan, kitar semula, pemulihan kawasan badan air serta pemantauan selepas penamatan disahkan memuaskan oleh pihak yang ditetapkan dalam syarat kelulusan.

10.4 Kaedah Pelupusan Modul dan Komponen FPV

Modul PV yang mencapai akhir hayat atau tidak lagi selamat digunakan hendaklah diurus secara bertanggungjawab bagi mengelakkan pencemaran daripada kaca, logam berat, polimer plastik, kabel, bahan encapsulant, backsheet, bingkai aluminium, silikon, tembaga dan bahan lain.

Kaedah pelupusan hendaklah mematuhi Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974 [Akta 127] dan Peraturan-Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Buangan Terjadual) 2005 yang dikuatkuasakan oleh JAS, sekiranya komponen atau bahan yang dilupuskan dikategorikan sebagai buangan terjadual.

Kaedah pengurusan akhir hayat termasuk:

i. Penggunaan Semula.
ii. Kitar Semula.
iii. Pelupusan Akhir.
iv. Pengurusan Sisa Tambahan.

10.4.1 Penggunaan Semula

Modul PV yang masih berfungsi boleh dipertimbangkan untuk digunakan semula di lokasi lain bagi tujuan yang sesuai, tertakluk kepada ujian prestasi, ujian keselamatan elektrik, pemeriksaan fizikal, rekod nombor siri dan pengesahan bahawa modul tersebut tidak retak, tidak terbakar, tidak tercemar dan tidak berisiko melepaskan bahan berbahaya.

10.4.2 Kitar Semula

Komponen seperti kaca, aluminium, silikon, tembaga, kabel, struktur logam dan bahan tertentu boleh dikitar semula menggunakan kaedah mekanikal, termal atau teknologi kitar semula lain yang sesuai. Komponen seperti kaca, aluminium, silikon, dan tembaga boleh dikitar semula menggunakan teknologi mechanical *recycling* atau *thermal recovery*. Rujuk kepada piawaian antarabangsa seperti *Photovoltaic (PV) Modules – End-of-Life Management* (IRENA (2016)) bagi kaedah kitar semula yang sesuai.

Pemaju hendaklah mengutamakan fasiliti kitar semula berlesen atau fasiliti yang mempunyai keupayaan teknikal untuk mengasingkan bahan panel solar, mengurus komponen elektrik dan mengelakkan pencemaran silang.

10.4.3 Pelupusan Akhir

Modul PV atau komponen yang tidak boleh dikitar semula hendaklah dihantar ke fasiliti pelupusan buangan terjadual yang dilesenkan oleh JAS, sekiranya bahan tersebut dikategorikan sebagai buangan terjadual. Semua buangan terjadual hendaklah

direkodkan dan dilaporkan kepada JAS bagi tujuan pengesanan (*traceability*) mengikut keperluan perundangan yang berkuat kuasa.

Komponen yang tidak dikategorikan sebagai buangan terjadual tetapi masih berpotensi mencemarkan alam sekitar hendaklah diurus melalui fasiliti pelupusan atau kitar semula yang diluluskan oleh pihak berkuasa berkaitan.

10.4.4 Pengurusan Sisa Tambahan

Struktur terapung daripada HDPE, komponen penambatan, kabel, logam, connector, buoy, junction box, inverter, transformer dan komponen sokongan hendaklah diasingkan mengikut jenis bahan sebelum dihantar ke pusat kitar semula, guna semula atau pelupusan yang sesuai. Pelampung HDPE yang masih mempunyai integriti bahan yang baik boleh dipertimbangkan untuk guna semula atau kitar semula. Pelampung yang rapuh, retak, terdegradasi atau berisiko melepaskan mikroplastik hendaklah diurus sebagai sisa yang memerlukan kawalan khas dan tidak boleh ditinggalkan di tapak.

BESS, bateri rosak, modul bateri tamat hayat, elektrolit, sistem penyejukan, kabel bateri dan komponen elektronik berkaitan hendaklah diurus melalui kontraktor atau fasiliti yang berlesen dan mempunyai keupayaan mengendalikan sisa bateri serta sisa elektrik dan elektronik secara selamat.

10.5 Pemulihan Kawasan Badan Air

Selepas semua komponen FPV ditanggalkan, kawasan badan air, khususnya takungan air dan tasik, hendaklah dipulihkan bagi memastikan kestabilan ekologi, kualiti air, keselamatan awam, keselamatan struktur dan fungsi operasi dikekalkan atau dipertingkatkan.

10.5.1 Pembersihan Tapak

Pemeriksaan menyeluruh hendaklah dijalankan bagi memastikan tiada sisa buangan, tali penambat, sauh, kabel, serpihan plastik, pecahan kaca, logam, pelampung, bolt, connector atau bahan lain tertinggal di permukaan air, tebing atau dasar badan air.

Pemeriksaan bawah air (*underwater inspection*) seperti penggunaan penyelam bertauliah, kamera bawah air, sonar atau kaedah lain yang bersesuaian boleh digunakan bagi mengesan sebarang serpihan di dasar takungan air dan tasik yang dalam.

10.5.2 Pemulihan Fizikal dan Hidrologi

Pemulihan fizikal dan hidrologi hendaklah memastikan sistem aliran air semula jadi, kapasiti takungan, laluan pelepasan air, muka sauk, kawasan tebing, laluan bot dan fungsi operasi kekal selamat selepas penamatan.

Sekiranya terdapat gangguan sedimen akibat aktiviti pemasangan, operasi atau penamatan ladang solar terapung, kerja pengurusan sedimen seperti dredging,

pembersihan terpilih atau penstabilan kawasan dasar boleh dipertimbangkan tertakluk kepada kelulusan pemilik badan air serta agensi teknikal berkaitan.

10.5.3 Pemantauan Kualiti Air Selepas Penamatan

Pemantauan kualiti air hendaklah dilaksanakan selepas penamatan operasi bagi memastikan tiada kesan tertinggal terhadap kualiti air, sedimen, ekologi dan keselamatan sumber air.

Tempoh pemantauan selepas penamatan hendaklah dilaksanakan sekurang-kurangnya enam hingga dua puluh empat bulan, tertakluk kepada sensitiviti badan air, fungsi bekalan air, skala pembangunan FPV, hasil pemantauan, risiko pencemaran dan syarat pihak berkuasa. Pemantauan boleh berpandukan *National Lake Water Quality Standards* (NLWQS) atau piawaian lain yang diiktiraf.

Parameter pemantauan hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya suhu, pH, oksigen terlarut, kekonduksian, kekeruhan, jumlah pepejal terampai, nutrien, BOD, COD, klorofil-a, logam berat, mikroplastik, mikrosistin, minyak dan gris serta parameter lain berdasarkan risiko penamatan operasi.

10.5.4 Pemulihan Ekologi dan Biodiversiti

Sekiranya berlaku gangguan habitat, langkah pemulihan ekologi hendaklah dilaksanakan bagi memulihkan keadaan kawasan badan air. Langkah pemulihan boleh merangkumi penanaman semula tumbuhan akuatik tempatan, pemulihan kawasan tebing, kawalan spesies invasif, pemantauan hidupan akuatik dan pemasangan struktur habitat ikan buatan sekiranya sesuai.

Sebarang pemulihan ekologi hendaklah menggunakan spesies tempatan dan tidak boleh memperkenalkan spesies asing invasif. Cadangan pemulihan habitat ikan, tumbuhan akuatik atau biodiversiti hendaklah diselaraskan dengan agensi teknikal berkaitan seperti Jabatan Perikanan Malaysia, PERHILITAN melalui pemilik badan air.

10.5.5 Laporan Penamatan dan Pemulihan

Laporan Penamatan dan Pemulihan hendaklah disediakan selepas kerja penamatan selesai bagi mengesahkan bahawa semua komponen telah ditanggalkan, sisa telah diurus dengan betul, kawasan telah dibersihkan dan langkah pemulihan telah dilaksanakan.

Laporan hendaklah dikemukakan kepada pihak yang ditetapkan dalam syarat kelulusan, termasuk PBN, PBT, pemilik badan air, badan kawal selia air, atau agensi teknikal berkaitan. Bagi projek yang tertakluk kepada EIA atau melibatkan buangan terjadual, laporan berkaitan hendaklah turut dikemukakan kepada JAS mengikut keperluan perundangan dan syarat kelulusan.

Laporan Penamatan dan Pemulihan hendaklah merangkumi:

i. Inventori akhir komponen yang ditanggalkan.
ii. Rekod guna semula, kitar semula dan pelupusan.
iii. Rekod buangan terjadual, sekiranya berkaitan.
iv. Bukti penghantaran ke fasiliti berlesen.
v. Rekod nombor siri panel dan komponen utama.
vi. Gambar sebelum, semasa dan selepas penamatan.
vii. Keputusan pemeriksaan permukaan dan dasar badan air.
viii. Keputusan pemantauan kualiti air selepas penamatan.
ix. Status pemulihan ekologi dan fizikal.
x. Rekod aduan atau insiden.
xi. Pengesahan tindakan pembetulan yang telah dilaksanakan.

10.6 Ringkasan Keperluan Penamatan Operasi dan Pemantauan

Jadual 10.1: Ringkasan Keperluan Penamatan Operasi dan Pemantauan

Bil.	Aspek	Keperluan Penamatan Operasi	Indikator / Rekod Pemantauan
1.	Pelan Penamatan Operasi	Pelan disediakan sejak awal pembangunan FPV dan dikemas kini secara berkala.	Pelan terkini, rekod semakan lima (5) tahun, pengesahan pihak berkaitan.
2.	Inventori aset	Semua modul, pelampung, kabel, penambatan, inverter, BESS dan komponen utama direkodkan.	Senarai aset, nombor siri, berat, bahan, status guna semula / kitar semula / pelupusan.
3.	Jaminan kewangan	Bon, escrow, insurans, jaminan bank atau mekanisme lain disediakan bagi menampung kos penyahtaraan.	Rekod jaminan kewangan, anggaran kos, semakan kos setiap lima (5) tahun.
4.	Pelupusan Modul PV	Panel diguna semula, dikitar semula atau dilupuskan melalui kaedah yang diluluskan.	Rekod kitar semula, rekod pelupusan, bukti fasiliti berlesen, *traceability*.
5.	Buangan terjadual	Komponen yang dikategorikan sebagai buangan terjadual diurus mengikut peraturan berkaitan.	Rekod buangan terjadual, konsainan, laporan kepada JAS, bukti pelupusan.
6.	Pemulihan kawasan badan air	Semua komponen dan serpihan dikeluarkan; kawasan dipulihkan kepada keadaan selamat.	Pemeriksaan permukaan, pemeriksaan bawah air, gambar tapak, laporan pemulihan.
7.	Pemantauan selepas penamatan	Pemantauan kualiti air dilaksanakan enam (6) hingga dua puluh empat (24) bulan atau mengikut syarat.	Data kualiti air, trend parameter, tindakan pembetulan, laporan pemantauan.
8.	Pemulihan biodiversiti	Habitat dan ekosistem dipulihkan sekiranya berlaku gangguan.	Rekod pemulihan habitat, pemantauan ikan, makrofit, alga dan hidupan akuatik.

BAB 11

PEMANTAUAN DAN PELAPORAN



11.1 Fasa Pra-Pembinaan dan Pembinaan

11.1.1 Keperluan Dokumen Pemantauan

Pemaju hendaklah mengemukakan dokumen utama yang diperlukan sebelum dan semasa fasa pra-pembinaan serta pembinaan pembangunan FPV. Dokumen tersebut hendaklah lengkap, terkini, boleh diaudit dan disediakan mengikut syarat pihak berkuasa yang berkaitan.

Dokumen yang perlu dikemukakan hendaklah merangkumi sekurang-kurangnya perkara berikut:

i. Kebenaran Merancang (KM) atau Kebenaran Merancang Terhad Tempoh (KMTT)
ii. Pelan susun atur tapak yang menunjukkan lokasi tatasusunan FPV, kawasan daratan sokongan, laluan bot, jeti, inverter, transformer, BESS sekiranya ada, laluan kabel, sistem penambatan, zon penampan, kawasan kerja dan akses kecemasan.
iii. Pelan kejuruteraan awam, struktur, elektrik dan mekanikal yang disediakan serta disahkan oleh profesional berkelayakan.
iv. Pelan bangunan, permit kerja, permit struktur sementara, permit jeti, permit kerja di atas air, permit kerja tebing atau permit lain yang ditetapkan oleh PBT, PBN, pemilik atau pengendali badan air dan agensi teknikal berkaitan.
v. Pelan Pengurusan Risiko yang merangkumi risiko keselamatan elektrik, kerja di atas air, keselamatan struktur, sistem penambatan, pencemaran air, gangguan operasi badan air, cuaca ekstrem, BESS dan tindak balas kecemasan.
vi. Pelan Tindak Balas Kecemasan (Emergency Response Plan, ERP), termasuk prosedur evakuasi, kawalan tumpahan, kecemasan elektrik, kebakaran, hanyutan tatasusunan FPV, insiden bot, pencemaran air dan gangguan kepada muka sauk air mentah.
vii. Pelan Pengurusan Alam Sekitar atau Environmental Management Plan (EMP), sekiranya projek tertakluk kepada EIA atau ditetapkan dalam syarat kelulusan.
viii. Pelan Pengurusan Sosial atau Social Impact Management Plan (SIMP), sekiranya projek tertakluk kepada SIA atau berpotensi memberi kesan kepada komuniti, akses awam, aktiviti rekreasi, perikanan, akuakultur, pelancongan, laluan bot atau mata pencarian setempat.
ix. Pelan Pengurusan Sisa yang membezakan buangan terjadual, sisa tidak terjadual, sisa pembinaan, bahan kitar semula, sisa panel, kabel, pelampung, komponen elektrik dan sisa BESS sekiranya berkaitan.
x. Pelan Pemantauan Kualiti Air, biodiversiti, keselamatan, sosial dan prestasi sistem.

11.1.2 Kelulusan

Pemaju hendaklah mendapatkan kelulusan bertulis, ulasan teknikal atau pengesahan daripada agensi teknikal yang berkaitan di peringkat Persekutuan, Negeri dan tempatan sebelum kerja pembinaan dimulakan.

Tujuan utama kelulusan ini adalah untuk memastikan pembangunan FPV tidak menjejaskan fungsi asal badan air, keselamatan bekalan air, operasi empangan atau takungan, keselamatan struktur, akses awam, ekologi, keselamatan pekerja dan pelan guna tanah semasa.

11.1.3 Kaedah dan Indikator Pemantauan

Setiap agensi pemantau yang berkaitan hendaklah menyatakan dengan jelas keperluan data, kekerapan pemantauan, format pelaporan, ambang tindakan dan kaedah pengesahan yang perlu disediakan oleh pemaju sepanjang tempoh pra-pembinaan dan pembinaan. Semua aktiviti hendaklah dilaporkan dan dipantau oleh pemilik atau pengendali badan air.

Aktiviti berimpak tinggi seperti pemasangan sistem penambatan, tarikan kabel dasar, kerja di tebing, pembinaan jeti, kerja bot, penyediaan kawasan daratan sokongan, pemasangan inverter, transformer, BESS dan aktiviti berhampiran muka sauk hendaklah dikenal pasti sebagai titik pemantauan utama.

Keperluan pemantauan hendaklah dilaksanakan mengikut prinsip jaminan kualiti dan kawalan kualiti (QA/QC), termasuk:

i. Kalibrasi dan ujian peralatan pemantauan secara berkala.
ii. Pengesanan bacaan luar jangka atau spikes terhadap ambang yang dibenarkan.
iii. Dokumentasi terperinci seperti tarikh, masa, koordinat, cuaca, nama pemeriksa dan bukti visual.
iv. Penyimpanan data digital, borang lapangan, sijil analisis makmal dan laporan bagi tujuan audit.
v. Tindakan pembetulan sekiranya berlaku bacaan luar biasa, aduan berasas, insiden atau ketidakpatuhan.

Indikator minimum semasa fasa pra-pembinaan dan pembinaan hendaklah merangkumi kekeruhan air, jumlah pepejal terampai, minyak dan gris sekiranya berkaitan, keadaan struktur sementara, keselamatan kerja di atas air, gangguan terhadap ekosistem akuatik, status koridor bot, bilangan aduan komuniti, bilangan hampir cemas, bilangan kemalangan tapak, status pengurusan sisa dan keberkesanan kawalan tumpahan.

11.1.4 Pelan Tindakan

Pelan Tindakan merupakan mekanisme tadbir urus bagi memastikan sebarang ketidakpatuhan, risiko berimpak tinggi, aduan berasas atau bacaan melebihi ambang dapat dikawal, dipulih dan dicegah daripada berulang.

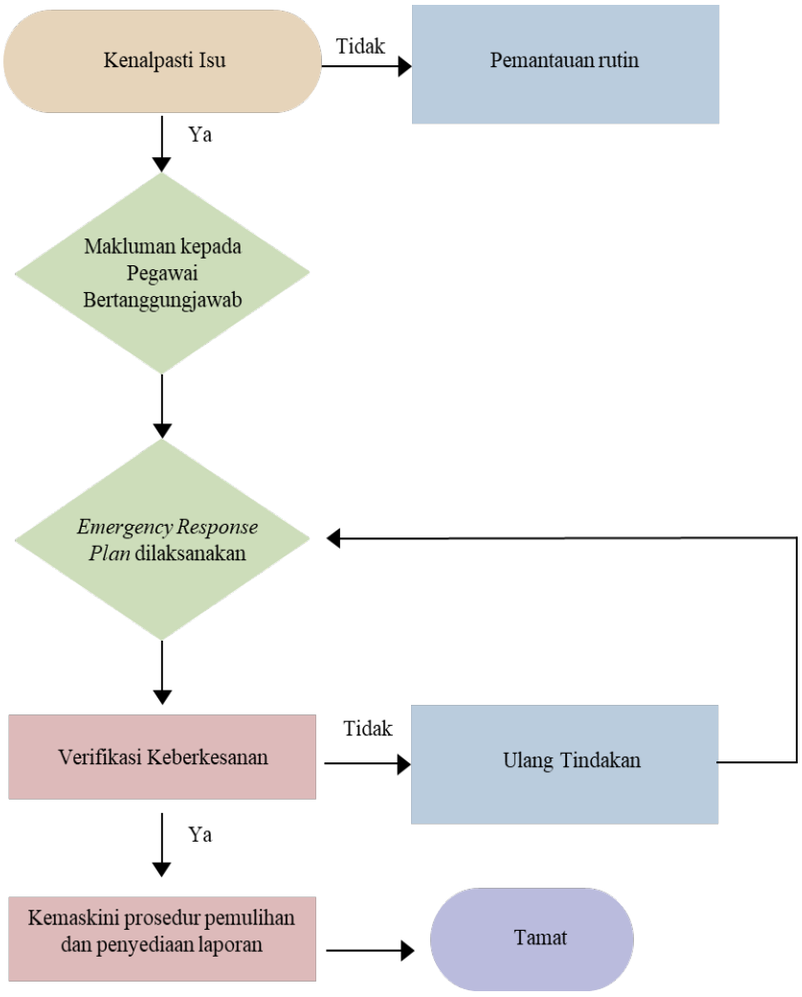
Pelan Tindakan hendaklah diaktifkan serta-merta apabila:

i. Indikator projek mencapai status amaran atau kritikal.
ii. Had perundangan atau syarat kelulusan dilanggar.
iii. Aduan komuniti disahkan berasas.

iv. Berlaku insiden keselamatan, pencemaran, tumpahan, kerosakan struktur atau gangguan operasi badan air.
v. Data pemantauan menunjukkan trend kemerosotan yang ketara.

Pelaksanaan Pelan Tindakan hendaklah merangkumi pemberitahuan kepada pegawai bertanggungjawab, kawalan segera, siasatan punca, tindakan pembetulan, tindakan pencegahan, pengesahan keberkesanan, pengemaskinian SOP, latihan semula dan penutupan rasmi tindakan dengan bukti yang boleh diaudit.

Rajah 11.1: Carta alir Pelan Tindakan bagi fasa pembinaan



11.1.5 Audit Kepatuhan dan Penambahbaikan

Audit kepatuhan hendaklah dilaksanakan secara berkala sepanjang tempoh pra-pembinaan dan pembinaan. Audit boleh dijalankan oleh pihak ketiga yang berkelayakan, pemilik atau pengendali badan air, pemaju, perunding bebas atau agensi teknikal mengikut syarat kelulusan.

Audit hendaklah menilai pematuhan terhadap syarat kelulusan, pelan pemantauan, pelan pengurusan risiko, ERP, Pelan Tindakan, pengurusan sisa, keselamatan kerja, pemantauan kualiti air, kawalan sosial, akses awam dan rekod komunikasi komuniti.

Hasil audit hendaklah didokumenkan dan dikemukakan kepada pihak yang ditetapkan dalam syarat kelulusan berserta syor penambahbaikan, tempoh tindakan, pihak bertanggungjawab dan status penutupan tindakan.

11.2 Fasa Pengoperasian

11.2.1 Keperluan Dokumen Pemantauan

Pemaju hendaklah menyenggara, mengemas kini dan mengemukakan dokumen pemantauan kepada pihak berkuasa, pemilik atau pengendali badan air, operator air dan agensi teknikal berkaitan apabila diminta atau sebagaimana ditetapkan dalam syarat kelulusan.

Dokumen ini hendaklah merangkumi:

i. Manual Operasi dan Penyelenggaraan (O&M) yang memperincikan prosedur pengendalian, jadual servis, penyelenggaraan komponen utama, kerja di atas air, keselamatan elektrik, pengurusan BESS dan pelan kecemasan.
ii. Pelan Pemantauan Prestasi yang merangkumi *Performance Ratio* (PR), kadar ketersediaan sistem, trip inverter, status sambungan grid, output tenaga, tahap pencemaran panel (*soiling*), status sistem penambatan, status SCADA dan prestasi BESS sekiranya ada.
iii. Pelan Pemantauan Alam Sekitar dan Sosial yang memperincikan lokasi stesen pemantauan, koordinat, parameter, kaedah persampelan, kekerapan, ambang tindakan, kaedah QA/QC, format pelaporan, pihak bertanggungjawab, mekanisme aduan, tindakan pembetulan dan agensi penerima laporan.
iv. Bagi projek yang tertakluk kepada EIA, EMP hendaklah disediakan dan dilaksanakan mengikut syarat kelulusan EIA serta dipantau oleh JAS mengikut bidang kuasa yang berkuat kuasa.
v. Bagi projek yang tertakluk kepada SIA, SIMP hendaklah disediakan bagi memperincikan langkah pengurusan impak sosial, indikator sosial, pelan libat urus, mekanisme aduan, pelaporan komuniti dan tindakan pembetulan.
vi. Bagi projek yang tidak tertakluk kepada EIA atau SIA tetapi mempunyai risiko kepada badan air, komuniti atau operasi bekalan air, pelan pemantauan alam sekitar dan sosial hendaklah dipantau oleh pihak yang ditetapkan dalam syarat kelulusan, termasuk PBT, PBN, badan kawal selia air negeri, pemilik atau pengendali badan air, operator air atau agensi teknikal berkaitan.
vii. Prosedur Persampelan dan QA/QC, termasuk rantaian jagaan sampel, jadual kalibrasi, pengendalian *field blanks*, *duplicates*, sijil analisis makmal, borang lapangan dan pengesahan data.

viii. Protokol Pelaporan dan Arkib Data, termasuk data SCADA dalam format digital yang boleh dianalisis seperti CSV atau Excel, metadata lengkap, cap masa, lokasi, status sensor dan rekod gangguan sistem.
ix. Rekod Komunikasi dan Aduan Komuniti, termasuk notis kerja, rekod aduan, masa tindak balas, tindakan pembetulan dan status penutupan aduan.
x. Pelan Pengurusan Sisa, meliputi pengendalian buangan terjadual dan sisa tidak terjadual, bukti lesen kontraktor, rekod pengangkutan, manifest atau konsainan, serta bukti pelupusan atau kitar semula.

11.2.2 Pemantauan Operasi

Pemaju hendaklah memastikan semua lesen, kelulusan dan pengesahan pihak berkuasa berkaitan adalah sah, berkuat kuasa dan dikemas kini mengikut tempoh serta syarat yang ditetapkan.

Keperluan ini merangkumi kelulusan ST bagi aspek keselamatan elektrik, penyelenggaraan dan kerja sistem berkuasa; kelulusan atau kebenaran PBN, Pejabat Tanah atau PBT bagi penggunaan tanah, kawasan rizab, laluan akses atau kawasan daratan sokongan; kelulusan atau ulasan JPS dan badan kawal selia air negeri bagi kerja di badan air, tebing, struktur terapung atau sistem penambatan; pengesahan operator utiliti bagi eksport tenaga dan kerja henti tugas, serta syarat daripada pemilik badan air.

Pelaporan kepada JAS hendaklah dilaksanakan bagi projek yang tertakluk kepada Perintah Kualiti Alam Sekeliling (Aktiviti Yang Ditetapkan) (Penilaian Kesan Kepada Alam Sekeliling) 2015, projek yang mempunyai syarat kelulusan EIA, atau sekiranya berlaku insiden pencemaran yang memerlukan tindakan JAS. Bagi projek yang tidak tertakluk kepada EIA, pelaporan berkala hendaklah dikemukakan kepada pemilik badan air. Semua dokumen kelulusan, lesen, laporan pemantauan, rekod audit, data operasi, Pelan Tindakan dan laporan insiden hendaklah disimpan, tersedia untuk semakan dan dikemukakan atas permintaan pihak berkuasa.

11.2.3 Kaedah dan Indikator Pemantauan

Pemantauan dalam fasa operasi hendaklah dilaksanakan secara berasaskan risiko dan ditingkatkan sekiranya terdapat aduan komuniti, pertukaran peralatan, insiden, aktiviti penyelenggaraan berisiko, anomali sistem atau perubahan kualiti air.

Indikator prestasi yang dipantau hendaklah merangkumi:

1. Prestasi Tenaga
   Data SCADA bagi PR, *availability*, kadar trip, tetapan inverter, status meter, output tenaga, kehilangan sistem, status komunikasi dan prestasi BESS sekiranya ada. Data hendaklah dipantau harian dan dianalisis secara bulanan atau suku tahunan. Pemantauan hendaklah ditingkatkan sekiranya PR jatuh di luar julat reka bentuk atau berlaku trip berulang.

2. Kualiti Air
   Parameter in-situ seperti suhu, oksigen terlarut, pH, kekonduksian dan kekeruhan, serta parameter makmal seperti jumlah pepejal terampai, minyak dan gris, nutrien, logam, mikroplastik, mikrosistin dan parameter tambahan berdasarkan risiko tapak. Pensampelan hendaklah disokong dengan QA/QC, koordinat, masa, bukti visual dan sijil analisis makmal.

3. Biodiversiti
   Pemantauan tumbuhan akuatik, alga, biofilm, makrofit, fitoplankton, zooplankton, makroinvertebrata, ikan, burung air, hidupan liar dan spesies invasif. Pemantauan boleh menggunakan pemerhatian visual, transek, dron, rekod komuniti atau kaedah lain yang bersesuaian.

4. Akses dan Keselamatan
   Pemantauan laluan bot, jeti, penghadang terapung, zon keselamatan, papan tanda, rondaan tapak, insiden, hampir cemas, akses kecemasan dan keberkesanan kawalan awam.

5. Sosial dan Komunikasi
   Rekod notis kerja, daftar aduan, bukti paparan, laporan libat urus, masa respons, kadar penyelesaian aduan, status koridor bot, akses rekreasi dan isu mata pencarian.

6. Pengurusan Sisa
   Inventori sisa, sisa panel, sisa kabel, sisa penyelenggaraan, sisa BESS, rekod pelupusan, kawalan tumpahan, status stor, dan bukti kontraktor berlesen.

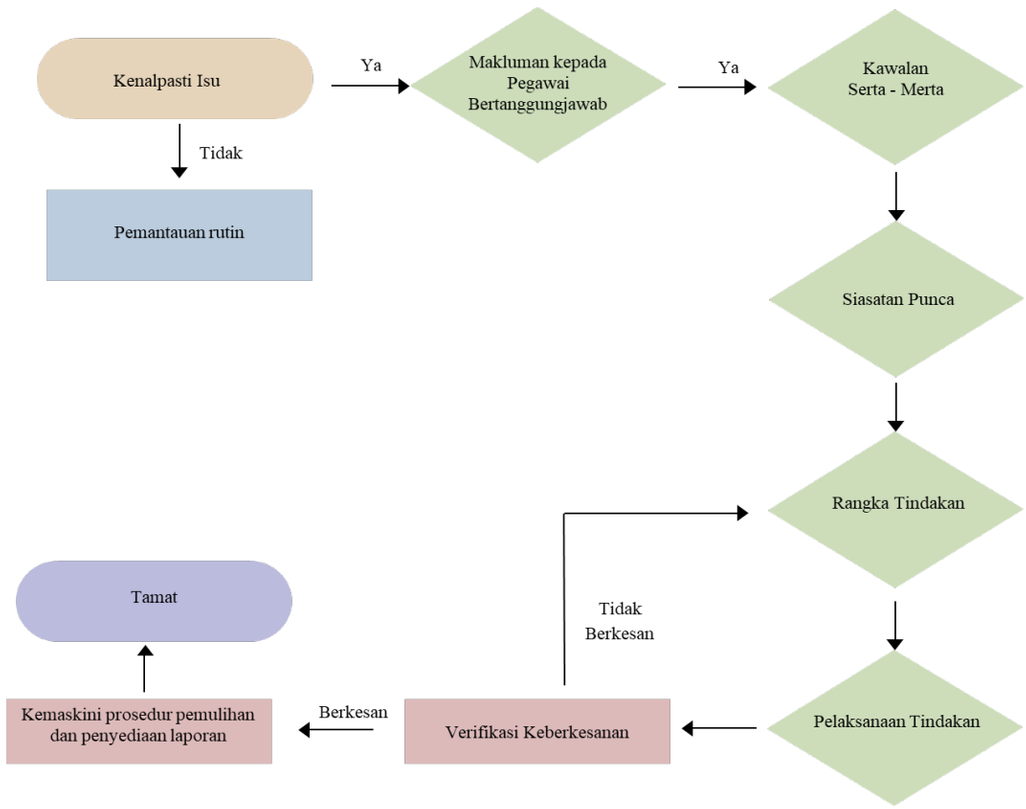
11.2.4 Pelan Tindakan

Pelan Tindakan hendaklah diaktifkan serta-merta apabila indikator operasi melepasi ambang, menunjukkan trend kemerosotan, berlaku aduan berasas, berlaku insiden keselamatan, pencemaran, gangguan akses, kegagalan sistem atau ketidakpatuhan terhadap syarat kelulusan.

Proses Pelan Tindakan hendaklah merangkumi:

i. Pemberitahuan rasmi kepada pegawai bertanggungjawab dalam tempoh yang ditetapkan.
ii. Pelaksanaan kawalan serta-merta termasuk pemberhentian setempat bagi aktiviti berimpak.
iii. Siasatan punca.
iv. Pelaksanaan tindakan pembetulan dan pencegahan dengan pemilik tindakan serta garis masa yang jelas.
v. Pengesahan keberkesanan melalui pengukuran, ujian semula atau audit susulan.
vi. Pengemaskinian SOP, latihan, reka bentuk atau prosedur operasi sekiranya perlu.
vii. Penutupan rasmi tindakan berserta bukti.

Rajah 11.2: Carta alir Pelan Tindakan bagi fasa operasi



11.2.5 Audit Kepatuhan dan Penambahbaikan

Audit hendaklah dijalankan secara berkala bagi mengesahkan pematuhan kepada perundangan, syarat kelulusan, piawaian teknikal, pelan pemantauan, SOP dan Pelan Tindakan.

Skop audit hendaklah merangkumi prestasi tenaga, kualiti air, biodiversiti, keselamatan kerja, keselamatan elektrik, akses awam, komunikasi sosial, pengurusan sisa, BESS sekiranya ada, sistem penambatan dan integriti struktur.

Setiap audit hendaklah disusuli tindakan penambahbaikan seperti latihan semula, pelarasan tetapan sistem, pembaikan peralatan, pengemaskinian prosedur, penambahbaikan pemantauan atau pelaksanaan Pelan Tindakan.

11.3 Fasa Penyahtaraan

11.3.1 Keperluan Dokumen

Sebelum sebarang kerja penyahtaraan dimulakan, pemaju atau pengendali hendaklah menyediakan dan mengemukakan dokumen utama bagi mendapatkan pengesahan, pengendorsan atau kelulusan daripada pihak berkuasa dan agensi teknikal berkaitan.

Dokumen yang diperlukan hendaklah merangkumi:

i. Pelan Penamatan Operasi atau *Closure Action Plan* yang memperincikan urutan kerja, kaedah penanggalan modul, sistem apungan, sistem penambatan, kabel, inverter, transformer, BESS sekiranya ada, jeti dan kemudahan sokongan.
ii. Permit kerja yang berkaitan dengan badan air, tebing, jeti, rizab utiliti, kawasan daratan sokongan, laluan akses dan infrastruktur sokongan.
iii. Pelan Pengurusan Sisa yang membezakan buangan terjadual, sisa tidak terjadual, sisa panel, sisa kabel, pelampung HDPE, logam, komponen elektrik, bateri dan komponen BESS.
iv. Pelan kawalan kelodak, kekeruhan, tumpahan, serpihan panel, mikroplastik, air larian dan pemulihan tebing.
v. Pelan Pemantauan Pasca Kerja yang memperincikan lokasi, parameter, kekerapan, tempoh pemantauan, ambang tindakan dan format laporan.
vi. Pelan Keselamatan Kerja yang merangkumi kerja elektrik, kerja di atas air, kerja bot, PTW, JSA, PPE, ERP dan kawalan akses.
vii. Pelan Komunikasi Komuniti bagi mengurus hebahan, aduan, penutupan sementara, laluan alternatif dan akses pengguna badan air.
viii. Rekod jaminan kewangan penyahtaraan, sekiranya disyaratkan.

11.3.2 Kelulusan Agensi Berkaitan

Sepanjang fasa penyahtaraan, pemaju atau pengendali hendaklah memastikan semua kelulusan dan pengesahan daripada pihak berkuasa adalah sah serta berkuat kuasa. Keperluan ini termasuk pengesahan ST bagi kerja pemutusan grid dan sistem elektrik, pengesahan badan kawal selia air negeri dan pemilik badan air bagi aktiviti di badan air dan tebing, pengesahan PBN, Pejabat Tanah dan PBT bagi penggunaan laluan akses atau rizab, pengesahan operator utiliti seperti TNB bagi kerja henti tugas, serta pelaporan kepada JAS sekiranya projek tertakluk kepada EIA, melibatkan buangan terjadual atau berlaku insiden pencemaran.

Sekiranya terdapat perubahan terhadap kaedah pelaksanaan, lokasi kerja, tempoh kerja, laluan akses, kaedah pelupusan, kontraktor atau skop penyahtaraan, perkara tersebut hendaklah dirujuk semula kepada agensi berkaitan sebelum kerja diteruskan.

11.3.3 Kaedah dan Indikator Pemantauan

Pemantauan dalam fasa penyahtaraan hendaklah memberi tumpuan kepada kesan sementara yang berpotensi meningkat ketika aktiviti penamatan operasi, pembongkaran, pengalihan aset, kerja bot, pemotongan kabel, pengangkutan sisa dan pemulihan kawasan.

Komponen utama pemantauan hendaklah merangkumi:

i. Kualiti air, termasuk parameter in-situ dan makmal.
ii. Kekeruhan, jumlah pepejal terampai, minyak dan gris, logam, mikroplastik dan parameter lain berdasarkan risiko kerja.
iii. Biodiversiti, termasuk kawasan litoral, tebing, tumbuhan akuatik, biofouling, ikan dan hidupan akuatik.
iv. Bunyi di kawasan penerima sensitif.
v. Akses dan keselamatan, termasuk koridor bot, jeti, penghadang, laluan kerja dan kawasan larangan sementara.
vi. Komunikasi sosial, termasuk aduan, hebahan, notis kerja dan status akses awam.
vii. Pengurusan sisa, termasuk pengasingan, penyimpanan sementara, pengangkutan, pelupusan dan rekod fasiliti berlesen.

Semua data hendaklah disokong dengan QA/QC lengkap, termasuk koordinat, cap masa, kalibrasi, borang lapangan, gambar bukti, sijil analisis makmal, rekod konsainan atau manifest dan rekod tindakan pembetulan. Kekerapan pemantauan hendaklah ditingkatkan apabila aktiviti berimpak tinggi dijalankan atau apabila bacaan menghampiri atau melebihi ambang yang ditetapkan.

11.3.4 Pelan Tindakan (Corrective Action Plan)

Pelan Tindakan semasa fasa penyahtaraan hendaklah berfungsi sebagai mekanisme tadbir urus untuk memastikan sebarang ketidakpatuhan atau risiko alam sekitar, keselamatan dan sosial dikawal, dipulih dan dicegah daripada berulang.

Keutamaan pelaksanaan Pelan Tindakan adalah perlindungan kualiti air, biodiversiti, keselamatan pengguna air, ketenteraman awam, akses komuniti, kawalan bunyi, kawalan sisa dan pematuhan penuh pengurusan penyahtaraan sehingga penutupan projek disahkan.

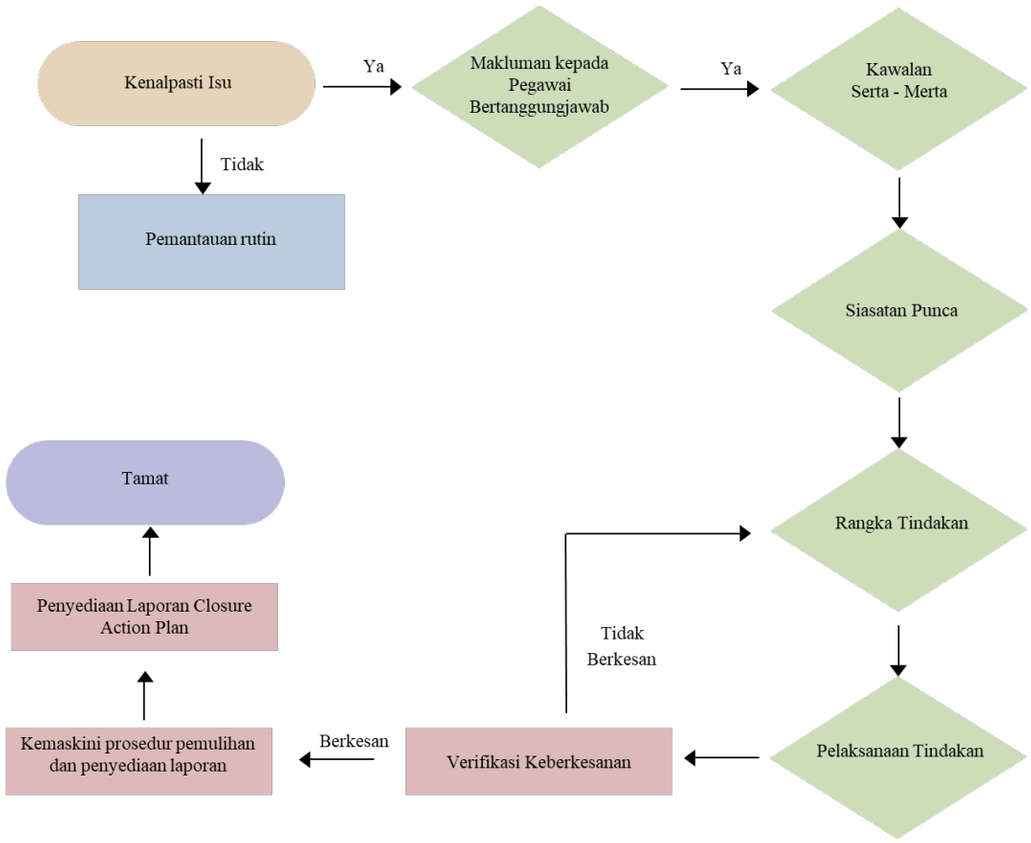
Pelan Tindakan hendaklah berpandukan ambang projek, had perundangan, syarat kelulusan, aduan berasas dan penilaian risiko semasa kerja penyahtaraan.

11.3.5 Audit Kepatuhan dan Penambahbaikan

Audit penutupan hendaklah dilaksanakan bagi mengesahkan pematuhan kepada syarat kelulusan dan perundangan serta memastikan proses penyahtaraan dilakukan secara sistematik, selamat dan boleh diaudit.

Skop audit hendaklah merangkumi pengesahan indikator pemantauan, integriti data QA/QC, status Pelan Tindakan, rekod sisa, rekod pelupusan, bukti fasiliti berlesen, pemulihan tebing, pemulihan vegetasi, pemeriksaan dasar badan air, pemulihan akses awam dan laporan penutupan akhir.

Rajah 11.3: Carta alir Pelan Tindakan bagi fasa penyahtaraan



Laporan penutupan akhir yang lengkap hendaklah disediakan dan diserahkan kepada pemilik badan air atau agensi teknikal lain sebagaimana ditetapkan dalam syarat kelulusan.

11.4 Ringkasan Keperluan Pemantauan dan Pelaporan

Jadual 11.1: Ringkasan Pemantauan dan Pelaporan Mengikut Fasa

Fasa	Dokumen Utama	Fokus Pemantauan	Rekod / Output
Pra-pembinaan dan pembinaan	KM/KMTT, pelan susun atur, pelan kejuruteraan, pelan risiko, ERP, EMP/SIMP sekiranya berkaitan, pelan pemantauan dan pelan pengurusan sisa	Kualiti air, kerja penambatan, kerja tebing, keselamatan kerja, akses awam, sisa, aduan komuniti	Laporan pemantauan, data QA/QC, rekod aduan, Pelan Tindakan, laporan audit
Pengoperasian	Manual O&M, pelan pemantauan prestasi, pelan pemantauan alam sekitar dan sosial, EMP/SIMP sekiranya berkaitan, rekod SCADA, rekod sisa	Prestasi tenaga, kualiti air, biodiversiti, keselamatan, akses, sosial, sisa, BESS	Data SCADA, laporan berkala, laporan insiden, rekod audit, Pelan Tindakan

Fasa	Dokumen Utama	Fokus Pemantauan	Rekod / Output
Penyahtaraan	Pelan Penamatan Operasi, permit kerja, pelan pengurusan sisa, pelan pemantauan pasca kerja, ERP, pelan komunikasi komuniti	Kualiti air, sisa, pembongkaran, keselamatan, akses, biodiversiti, pemulihan tebing dan dasar	Laporan penutupan, rekod pelupusan, keputusan pemantauan pasca kerja, Pelan Tindakan, pengesahan penutupan

RUJUKAN

1. DNV-RP-0584, *a Recommended Practice specifically for floating solar projects*
2. Plan Malaysia. 2025. Garis Panduan Perancangan Pembangunan Ladang Solar.
3. *Guideline for Planning of Floating Solar PV Power Plants. 2024. Ministry of Energy and Mineral Resources, Indonesia*
4. *World Bank Group, ESMAP and SERIS. 2019. Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners. Washington, DC: World Bank.*
5. SPAN, 2021. Garis Panduan Keselamatan Air. Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara: Cyberjaya

Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM)

Kementerian Peralihan Tenaga dan
Transformasi Air
Lot 5377, Jalan Putra Permai,
43300 Seri Kembangan,
Selangor, Malaysia

Telefon : +603-8947 6400
Faks : +603-8948 3044
Emel : webmaster[at]nahrim[dot]gov[dot]my

ISBN 978-967-0382-95-1