

## Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 1: Persyaratan konstruksi

(IEC 61730-1:2023, IDT)

Pengguna dari RSNI ini diminta untuk menginformasikan adanya hak paten dalam dokumen ini bila diketahui serta memberikan informasi pendukung lainnya (pemilik paten, bagian yang terkena paten, alamat pemberi paten dan lain-lain)



## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	v
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	2
3 Istilah, definisi, simbol, dan singkatan .....	4
4 Simbol dan singkatan .....	13
5 Klasifikasi, penerapan, dan tujuan penggunaan .....	13
5.1 Umum .....	13
5.2 Modul FV Kelas 0 .....	13
5.2.1 Umum .....	13
5.2.2 Insulasi .....	13
5.2.3 Penerapan .....	14
5.3 Modul FV Kelas II .....	14
5.3.1 Umum .....	14
5.3.2 Insulasi .....	14
5.3.3 Penerapan .....	14
5.4 Modul FV Kelas III .....	14
5.4.1 Umum .....	14
5.4.2 Insulasi .....	15
5.4.3 Penerapan .....	15
5.5 Kategori <i>rating</i> dan penerapan khusus .....	15
6 Persyaratan untuk desain dan konstruksi .....	16
6.1 Umum .....	16
6.2 Penandaan dan dokumentasi .....	17
6.2.1 Umum .....	17
6.2.2 Penandaan .....	18
6.2.3 Dokumentasi .....	22
6.3 Komponen elektris dan insulasi .....	25
6.3.1 Umum .....	25
6.3.2 Perkawatan internal .....	25
6.3.3 Perkawatan eksternal dan kabel .....	26
6.3.4 Rating proteksi arus lebih modul .....	26

## RSNI3 IEC 61730-1:2023

6.3.5	Konektor .....	26
6.3.6	<i>Junction box</i> .....	26
6.3.7	Lembaran depan dan lembaran belakang.....	26
6.3.8	Barrier insulasi .....	27
6.3.9	Koneksi elektris.....	27
6.3.10	<i>Encapsulant</i> .....	27
6.3.11	<i>Diode bypass</i> .....	28
6.4	Koneksi mekanis dan elektromekanis .....	28
6.4.1	Umum .....	28
6.4.2	Koneksi sekrup .....	29
6.4.3	Paku keling .....	30
6.4.4	<i>Thread-cutting screws</i> .....	30
6.4.5	Kesesuaian bentuk/tekanan/kekencangan.....	30
6.4.6	Koneksi dengan perekat .....	30
6.4.7	Koneksi lainnya.....	31
6.5	Material .....	31
6.5.1	Umum .....	31
6.5.2	Material polimerik.....	31
6.5.3	Material metalik.....	34
6.5.4	Bahan perekat .....	35
6.6	Proteksi terhadap kejutan elektris .....	35
6.6.1	Umum .....	35
6.6.2	Proteksi terhadap aksesibilitas ke bagian bertegangan yang berbahaya .....	35
6.6.3	Koordinasi insulasi.....	37
6.6.4	Jarak lewat insulasi fungsional dan insulasi yang diandalkan .....	44
	Lampiran A (normatif) Simbol "Jangan diputus saat ada beban" .....	47
	Lampiran B (normatif) Dasar untuk dimensi koordinasi insulasi .....	48
B.1	Umum.....	48
B.2	Faktor-faktor yang memengaruhi .....	48
B.2.1	Umum.....	48
B.2.2	Kategori tegangan lebih dan tegangan impuls pengenalan.....	48
B.2.3	Tegangan kerja.....	49
B.2.4	Tingkat polusi .....	49
B.2.5	Material insulasi – grup material.....	50

B.3	Jarak ruang.....	50
B.4	Jarak rambat.....	51
B.4.1	Umum.....	51
B.4.2	Bagian tertutup .....	51
B.5	<i>Distance through insulation</i> .....	52
B.5.1	Sambungan tersemen.....	52
B.5.2	Insulasi dalam lapisan tipis (DTI) .....	52
B.5.3	<i>Distance through functional insulation (DTFI)</i> .....	54
	Lampiran C (informatif) Kasus penggunaan spesifik .....	55
C.1	Modul.....	55
C.1.1	Umum .....	55
C.1.2	Diagram koordinasi insulasi.....	56
C.2	Koordinasi insulasi setelah pemasangan komponen .....	62
C.2.1	Umum .....	62
C.2.2	Lembaran belakang.....	63
C.2.3	<i>Junction box</i> .....	64
	Bibliografi.....	66
	Gambar A.1 – Simbol "Jangan diputus saat ada beban" .....	47
	Gambar A.2 – Simbol IEC 60417-6070:2011-06: "Jangan diputus saat ada beban" .....	47
	Gambar C.1 – Kasus umum untuk jarak ruang, jarak rambat, dan DTI .....	56
	Gambar C.2 – Lokasi beda potensial tertinggi dalam modul .....	57
	Gambar C.3 – Contoh persyaratan jarak antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam sebuah modul.....	58
	Gambar C.4 – Jarak ruang dan jarak rambat antara bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses.....	60
	Gambar C.5 – Pengaruh frame tape atau perekat tepi pada jarak ruang dan jarak rambat ..	61
	Gambar C.6 – Jarak antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar yang dapat diakses dengan sambungan tersemen .....	61
	Gambar C.7 – Lembaran belakang dengan layer aluminiumi.....	62
	Gambar C.8 – Persyaratan jarak antara pita junction box dan layer aluminium lembaran belakang.....	64
	Gambar C.9 – Pertimbangan jarak ruang dan jarak rambat antara bagian bertegangan dan permukaan luar yang dapat diakses setelah instalasi dan terminasi junction box (J-box) ....	65
	Gambar C.10 – Potensi titik kritis karena instalasi yang tidak benar .....	65
	Tabel 1 – Kelas proteksi terhadap kejutan elektrik.....	13

Tabel 2 – Jenis insulasi yang diperlukan.....	36
Tabel 3 – <i>Jarak ruang (cl) minimum, jarak rambat (cr), dan jarak lewat insulasi solid untuk modul FV Kelas II</i> .....	38
Tabel 4 – Jarak ruang (cl) minimum, jarak rambat (cr), dan jarak melalui insulasi solid untuk modul FV Kelas 0Sambungan tersemen.....	40
Tabel 5 – Faktor pengali jarak ruang rating peralatan ntuk pengoperasian pada ketinggian lebih dari 2.000 m di atas permukaan laut.....	44
Tabel B.1 – Tegangan impuls pengenalan.....	49
Tabel B.2 – Jarak ruang minimum untuk bidang <i>inhomogeneous</i> .....	51
Tabel B.3 – Jarak minimum untuk lapisan tipis .....	53
Tabel C.1 – Jarak antara bagian dengan potensial yang berbeda dalam modul FV (nilai untuk modul Kelas II dengan tegangan kerja $\leq 35$ V).....	57
Tabel C.2 – Jarak antara bagian bertegangan dan permukaan luar yang dapat diakses (nilai untuk modul Kelas II dengan tegangan sistem pengenalan 1.500 V).....	59

## Prakata

SNI IEC 61730-1:2023, *Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 1: Persyaratan konstruksi*, merupakan standar revisi dari SNI IEC 61730-1:2016, *Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 1: Persyaratan untuk konstruksi*. Standar ini disusun dengan jalur adopsi tingkat keselarasan identik dari IEC 61730-1:2023, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*, dengan metode adopsi terjemahan satu bahasa dan ditetapkan oleh BSN Tahun 2024.

Perubahan dalam Standar ini meliputi:

- a) Revisi Pasal 2 dan 3.
- b) Persyaratan tambahan untuk kualifikasi komponen spesifik sesuai dengan dokumen standarnya (*junction box*, konektor, lembaran depan/lembaran belakang).
- c) Perubahan signifikan pada definisi dan pengujian material insulasi yang diandalkan (RUI). Persyaratan ini dideskripsikan dalam dokumen pra-kualifikasi untuk lembaran depan dan lembaran belakang (IEC 62788-2-1). Termasuk:
  - 1) klarifikasi pada konsep dan pengukuran DTI, dan persyaratan uji material terkait;
  - 2) persyaratan pelapukan lembaran depan/lembaran belakang.
- d) Penghapusan semua referensi ke “rak terbuka”, dengan pembaruan sesuai dengan tujuan penggunaan aplikasi sesuai dengan temperatur operasi modul persentil ke-98.
- e) Modul yang memenuhi Kelas 0 untuk penggunaan dalam area akses terbatas tidak diharuskan lulus uji kerusakan, (MST 32).
- f) Subpasal penandaan dan dokumentasi telah direvisi dan disesuaikan dengan seri IEC 61215.
- g) Sekarang diperbolehkan untuk menggunakan salinan elektronik alih-alih salinan kertas terkait dokumentasi keselamatan yang diperlukan.
- h) Persyaratan modul *bifacial*:
  - 1) penambahan istilah baru, aBSI;
  - 2) uji yang relevan telah diubah untuk memperhitungkan modul *bifacial* dengan arus yang lebih tinggi;
  - 3) untuk modul *bifacial*, beri tanda untuk menandai sisi depan, atau jika kedua sisi didesain untuk terpapar sinar matahari dalam jangka waktu yang lama (>300 W/m<sup>2</sup>);
  - 4) parameter yang relevan untuk menginstal modul *bifacial* diklarifikasi;
  - 5) rating proteksi lebih;
  - 6) dokumentasi telah diubah.
- i) Dalam 6.2, persyaratan penandaan untuk konektor telah ditambahkan.
- j) Terkait dengan rentang temperatur penggunaan yang dimaksudkan:
  - 1) Pasal 5 dan 6.2 telah dimodifikasi untuk memasukkan rating temperatur, dengan > 70 °C temperatur operasi modul persentil ke-98 sebagai temperatur maksimum default. Panduan untuk faktor yang dapat memengaruhi temperatur operasi modul untuk desain/lokasi sistem disediakan, dan pertanggungjawaban untuk instalasi yang benar diberikan pada instalatur.
  - 2) Perubahan pada seksi koordinasi insulasi (6.6, Lampiran B dan Lampiran C).
  - 3) Subpasal tentang koordinasi insulasi (6.6.3) dan jarak lewat insulasi solid (6.6.4) telah diperbarui untuk secara jelas menyatakan persyaratan koordinasi insulasi, dan sesuai dengan Lampiran B.
  - 4) Lampiran B telah direvisi untuk menunjukkan dasar pengukuran dimensi yang berkaitan dengan koordinasi insulasi dan telah disesuaikan dengan 6.6.3 dan 6.6.4.
  - 5) Lampiran C dibuat untuk menunjukkan kasus penggunaan tertentu dan mendeskripsikan bagaimana perubahan pada material atau penggunaan pengujian tambahan dapat mengubah dimensi yang diperlukan. Diagram telah diperbarui.
  - 6) Istilah baru, jarak lewat insulasi fungsional (DTFI) ditetapkan untuk menjelaskan jarak

- antara bagian bertegangan yang terenkapsulasi sepenuhnya dengan potensial yang berbeda (jarak rambat dan jarak ruang yang lebih besar untuk tegangan yang relevan).
- 7) Persyaratan pengujian untuk memverifikasi nilai jarak ruang yang kurang dari nilai yang tercantum (tetapi tidak di bawah jarak rambat) telah ditentukan.
  - 8) Persyaratan untuk *junction box*, kabel dan konektor, serta lembaran depan/lembaran belakang polimerik telah dihilangkan (hal ini kini tercakup dalam standarnya masing-masing).
  - 9) Dalam Tabel 2, insulasi fungsional diperlukan untuk insulasi antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul FV untuk semua tipe modul.
  - 10) Dalam Tabel 3 dan Tabel 4:
    - i) baris yang terkait dengan tingkat polusi 3 telah dihilangkan, karena tidak berlaku untuk laminasi modul yang memenuhi persyaratan IEC 61730-2;
    - ii) nilai minimum untuk DTI telah dinaikkan untuk mencakup ketebalan minimum 0,030 mm (pertimbangan lubang pin);
    - iii) baris yang terkait dengan insulasi yang diperkuat telah digabungkan;
    - iv) baris yang terkait dengan insulasi dasar telah digabungkan, dan insulasi fungsional termasuk dalam baris tersebut;
    - v) baris untuk DTFI telah ditambahkan.
  - 11) Persyaratan koordinasi insulasi untuk modul Kelas III telah dihilangkan dari Tabel 4, dan persyaratan insulasi fungsional disertakan dalam teks (tanpa persyaratan ketebalan DTI).

Dalam standar ini istilah “*this part of IEC 61730*” dan “*this document*” pada standar IEC 61730-1:2023 yang diadopsi diterjemahkan dengan “standar ini”.

Standar ini merupakan bagian dari seri SNI IEC 61730, *Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV)*, yang terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- Bagian 1: Persyaratan konstruksi
- Bagian 2: Persyaratan pengujian

Terdapat standar yang dijadikan acuan normatif dalam Standar ini telah diadopsi menjadi SNI, yaitu:

- IEC 61215-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 61215-1:2016, *Modul fotovoltaik (FV) terestrial – Kualifikasi desain dan pengesahan jenis – Bagian 1: Persyaratan uji*.
- IEC 61215-1-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-1: Special requirement for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 61215-1-1:2016, *Modul fotovoltaik (FV) terestrial – Kualifikasi desain dan pengesahan jenis – Bagian 1-1: Persyaratan khusus untuk pengujian modul fotovoltaik (FV) silikon kristalin*.
- IEC 61215-2, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 61215-2:2016, *Modul fotovoltaik (FV) terestrial – Kualifikasi desain dan pengesahan jenis – Bagian 2: Prosedur uji*.
- IEC 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 61730-2:2016, *Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan pengujian*.
- IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC/TS 61836:2016, *Sistem energi fotovoltaik surya – Istilah, definisi dan simbol*.
- IEC 62548, *Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 62548:2016, *Larik fotovoltaik (FV) – Persyaratan desain*

Dalam Standar ini, terdapat perbedaan konteks untuk istilah “rating” mengandung konteks “peringkat”, sedangkan “*rating*” mengandung konteks “nilai”.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 27-08, Energi Surya. Standar ini telah dibahas melalui rapat 22 Mei 2024 di Bandung melalui luring dan daring, yang dihadiri oleh para pemangku kepentingan (*stakeholders*) terkait, yaitu perwakilan dari pemerintah, pelaku usaha, konsumen, dan pakar. Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 6 Agustus 2024 sampai dengan 20 Agustus 2024 dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Apabila terdapat keraguan atas terjemahan ini, maka disarankan melihat pada dokumen asli standar IEC 61730-1:2023, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction* dan/atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan Standar ini, disarankan bagi pengguna standar menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna (dapat mencantumkan kode tingkat warna *Red Green Blue* (RGB), atau kode tingkat warna *Cyan Magenta Yellow Black* (CMYK), atau kode tingkat warna lain jika diperlukan untuk cetak gambar dengan warna yang lebih akurat).

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari Standar ini dapat berupa hak kekayaan intelektual (HAKI). Namun selama proses perumusan SNI, Badan Standardisasi Nasional telah memperhatikan penyelesaian terhadap kemungkinan adanya HAKI terkait substansi SNI. Apabila setelah penetapan SNI masih terdapat permasalahan terkait HAKI, Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab mengenai bukti, validitas, dan ruang lingkup dari HAKI tersebut.



## Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 1: Persyaratan konstruksi

### 1 Ruang lingkup

Standar ini menjelaskan dan mendeskripsikan persyaratan konstruksi fundamental untuk modul fotovoltaik (FV) untuk memberikan pengoperasian mekanis dan elektris yang aman. Topik spesifik diberikan untuk menilai pencegahan kejutan elektris, bahaya kebakaran, dan cedera pribadi karena uji tekanan lingkungan dan mekanis. Standar ini berkaitan dengan persyaratan khusus konstruksi. IEC 61730-2 menetapkan persyaratan pengujian. Modul dengan konstruksi yang dimodifikasi memenuhi syarat seperti yang dijelaskan dalam IEC TS 62915.

Standar ini berisikan persyaratan untuk modul FV terestrial yang sesuai untuk pengoperasian jangka panjang dalam iklim terbuka dengan temperatur pengoperasian modul 70 °C atau kurang, pada persentil ke-98. Panduan untuk modul yang digunakan pada temperatur pengoperasian yang lebih tinggi dijelaskan dalam IEC TS 63126. Masa pakai modul yang memenuhi syarat akan bergantung pada desain, lingkungan, dan kondisi modul dioperasikan. Oleh karena itu, hasil pengujian tidak ditafsirkan sebagai prediksi kuantitatif masa pakai modul.

Standar ini dimaksudkan untuk digunakan pada semua bahan modul pelat datar terestrial, misalnya jenis modul silikon kristal dan modul lapisan tipis.

Modul FV yang tercakup dalam Standar ini terbatas pada tegangan sistem DC maksimum 1500 V.

Standar ini menetapkan persyaratan dasar untuk berbagai penerapan modul FV, tetapi tidak dapat dianggap mencakup seluruh kode nasional dan regional. Persyaratan spesifik tidak tercakup untuk penerapan pada bangunan, terapung, kelautan, dan kendaraan.

Standar ini tidak membahas persyaratan khusus untuk produk yang menggabungkan modul FV dengan peralatan konversi daya, pemantauan atau kontrol elektronik, misalnya inverter terintegrasi, konverter atau fungsi penonaktifan keluaran, yang dibahas dalam IEC 62109-3.

Meskipun ada kemungkinan bahwa sebagian dari Standar ini dapat diterapkan pada modul FV pelat datar dengan konsentrasi tingkat rendah yang dihasilkan secara internal kurang dari tiga kali lipat, Standar ini tidak ditulis secara khusus untuk mengatasi permasalahan ini.

Standar ini disusun untuk berkoordinasi dengan rangkaian uji dalam seri IEC 61215, sehingga satu set sampel dapat digunakan untuk melakukan kualifikasi keselamatan dan desain modul FV.

Persyaratan konstruksi tambahan yang diuraikan dalam standar ISO yang relevan, atau kode nasional atau lokal yang mengatur instalasi dan penggunaan modul FV ini pada lokasi yang ditujukan, dapat berlaku sebagai tambahan atas persyaratan yang tercantum dalam Standar ini.

Perubahan bahan, desain, atau jarak internal harus dievaluasi ulang dalam modul FV atau komponennya, sebagaimana berlaku, sesuai dengan seri IEC 61730 dan IEC TS 62915.

## **2 Acuan normatif**

Standar berikut, secara keseluruhan atau sebagian diacu secara normatif dalam dokumen ini dan sangat penting untuk aplikasi ini. Untuk acuan bertanggal, hanya berlaku edisi yang dikutip. Untuk acuan yang tidak bertanggal, edisi terbaru dari dokumen acuan (termasuk amandemen) yang berlaku.

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-2, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative temperature index (RTE) of an insulating material*

IEC 60243-1:2013, *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60243-2:2013, *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

IEC 60269-6, *Low-voltage fuses – Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems*

IEC 60364-7-712, *Low voltage electrical installations – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment*, tersedia di <https://www.graphical-symbols.info/equipment>

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP code)*

IEC 60664-1:2020, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60695-11-10, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC TS 60904-1-2, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices*

IEC 60950-1:2005, *Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 61032:1997, *Protection of persons and equipment by enclosures – Probes for verification*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61215 (semua bagian), *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

IEC 62548, *Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements*

IEC 62788-1 (semua bagian), *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1: Encapsulants*

IEC 62788-1-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1-2: Encapsulants – Measurement of volume resistivity of photovoltaic encapsulants and other polymeric materials*

IEC TS 62788-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets*

IEC 62788-2-1, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2-1: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets – Safety requirements*

IEC 62790:2020, *Junction boxes for photovoltaic modules – Safety requirements and tests*

IEC 62852, *Connectors for DC-application in photovoltaic systems – Safety requirements and tests*

IEC 62930, *Electric cables for photovoltaic systems with a voltage rating of 1,5 kV DC*

IEC TS 63126, *Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures*

IEC TR 63225, *Incompatibility of connectors for DC-application in photovoltaic systems*

ISO 1456, *Metallic and other inorganic coatings – Electrodeposited coatings of nickel, nickel plus chromium, copper plus nickel and of copper plus nickel plus chromium*

ISO 1461, *Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods*

ISO 2081, *Metallic and other inorganic coatings – Electroplated coatings of zinc with supplementary treatments on iron or steel*

ISO 2093, *Electroplated coatings of tin – Specification and test methods*

ISO 7010, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Registered safety signs, tersedia di <https://www.iso.org/obp>*

ISO 9224:2012, *Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guiding values for the corrosivity categories*

EN 50618, *Electric cables for photovoltaic systems*

UL 746B, *Standard for Polymeric Materials – Long Term Property Evaluations*

IEC/IEEE 82079-1, *Preparation of information for use (instructions for use) of products – Part 1: Principles and general requirements*

### 3 Istilah, definisi, simbol, dan singkatan

Untuk keperluan Standar ini, istilah dan definisi yang tercantum dalam IEC 60664-1, IEC TS 60904-1-2, IEC 61140, IEC TS 61836, IEC 61215-1 dan berikut yang berlaku.

ISO dan IEC memelihara basis data terminologis untuk digunakan dalam standardisasi di alamat berikut:

- IEC electropedia: tersedia di <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: tersedia di <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Istilah umum dan definisi

##### 3.1.1

##### **pembumian fungsional**

pembumian untuk tujuan selain keselamatan listrik

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-01-13]

##### 3.1.2

##### **perkawatan internal**

perkawatan dan koneksi listrik yang dibuat dalam peralatan oleh pabrikannya

[SUMBER: IEC 60050-426:2020, 426-11-32]

##### 3.1.3

##### **perkawatan eksternal**

perkawatan yang bukan perkawatan internal (3.1.2), termasuk, tetapi tidak terbatas pada, kabel keluaran

##### 3.1.4

##### **laminasi**

produk yang terbuat dari penggabungan dua lapisan atau lebih dari bahan yang sama atau berbeda

Catatan 1 untuk entri: Ini mencakup semua komponen sebelum memasang *junction box*, rangka atau rel, dan pelat nama.

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-15-52, diubah – Catatan 1 telah ditambahkan]

##### 3.1.5

##### **pabrikasi**

entitas legal yang memproduksi suatu produk, atau yang memiliki produk yang didesain atau diproduksi, dan yang memasarkan produk tersebut dengan nama atau merek dagangnya

##### 3.1.6

##### **uji kualitas modul/module quality test**

##### **MQT**

uji kualitas modul FV yang sesuai dengan IEC 61215-2

### 3.1.7

#### **uji keselamatan modul/module safety test**

##### **MST**

uji keselamatan modul FV yang sesuai dengan IEC 61730-2

## 3.2 Komponen

### 3.2.1

#### **lembaran belakang**

lapisan luar atau kombinasi lapisan luar modul FV, terletak sebagai substrat di bagian belakang modul FV dan memberikan perlindungan pada komponen bagian dalam modul FV dari tekanan eksternal dan elemen cuaca, serta memberikan insulasi listrik

### 3.2.2

#### **konektor**

komponen yang memutus konduktor dengan tujuan untuk menyediakan koneksi ke dan melakukan terminasi dari komponen pasangan yang sesuai

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-06-01]

### 3.2.3

#### **encapsulant**

<umum> bahan yang digunakan di antara substrat dan *superstrate* untuk memberikan perlindungan lingkungan untuk sel fotovoltaik dalam modul fotovoltaik

[SUMBER: IEC TS 61836:2016, 3.1.30, diubah – Domain telah ditambahkan.]

### 3.2.4

#### **enclosure**

bagian perakitan yang memberikan tingkat perlindungan tertentu untuk peralatan terhadap pengaruh eksternal dan tingkat perlindungan tertentu terhadap pendekatan atau kontak dengan komponen bagian bertegangan

[SUMBER: IEC 60050-441:1984, 441-13-01, diubah – Dalam definisi, kata-kata “dan terhadap kontak dengan komponen yang bergerak” telah dihapus.]

### 3.2.5

#### **lembaran depan**

lapisan luar atau kombinasi lapisan luar modul FV, terletak sebagai *superstrate* di bagian depan modul FV dan memberikan perlindungan pada komponen bagian dalam modul FV dari tekanan eksternal dan elemen cuaca, serta memberikan insulasi listrik

### 3.2.6

#### **barier insulasi**

konfigurasi insulator yang dimunculkan atau disembunyikan untuk memperbesar jarak rambat antara permukaan konduksi

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-22-15]

### 3.2.7

#### **junction box**

*enclosure* tertutup atau terlindungi yang di dalamnya terdapat rangkaian terhubung secara elektrik

[SUMBER: IEC TS 61836:2016, 3.2.16]

**3.2.8**

**potting**

penutupan komponen dan konduktor terkait dengan senyawa untuk memisahkan dari kontaminan

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-24-20]

**3.2.9**

**terminal**

bagian konduktif perangkat, rangkaian listrik atau jaringan listrik, yang disediakan untuk menghubungkan perangkat, rangkaian listrik, atau jaringan listrik tersebut ke satu atau lebih konduktor eksternal

Catatan 1 untuk entri: Dapat terdiri dari satu atau beberapa kontak dan oleh karena itu istilah ini mencakup soket, konektor, dll.

[SUMBER: IEC 60050-151:2001, 151-12-12, dimodifikasi – Catatan 1 untuk entri yang asli telah diganti.]

**3.3 Instalasi dan penerapan**

**3.3.1**

**FV terpasang pada bangunan**

**BAPV**

sistem dengan modul FV terpasang pada selubung bangunan dan tidak memenuhi kriteria untuk bangunan terintegrasi FV (3.3.2)

**3.3.2**

**FV terintegrasi pada bangunan**

**BIPV**

sistem modul FV yang membentuk komponen bangunan yang menyediakan fungsi tambahan seperti ditentukan dalam 5.5 b)

**3.3.3**

**instalasi**

<perkawatan tetap> sistem perkawatan permanen seperti saluran kabel atau *conduit* yang mencegah atau mengurangi pergerakan kawat dan kabel

**3.3.4**

**instalasi**

<perkawatan tidak tetap> sistem perkawatan tak terbatas yang terdiri dari kabel atau kawat yang dapat bebas bergerak

**3.3.5**

**area akses tidak terbatas**

area untuk semua orang-orang yang mempunyai akses umum termasuk yang tidak memiliki keterampilan, tidak terlatih atau tidak memiliki pengetahuan dalam bidang keselamatan kelistrikan

CONTOH Instalasi FV apa pun yang tidak dilindungi dari akses publik dengan cara apa pun.

Catatan 1 untuk entri: Atap bangunan dianggap sebagai area akses tidak terbatas, kecuali ditandai dengan jelas sebagai area terbatas.

**3.3.6****area akses terbatas**

area yang hanya dapat diakses oleh orang-orang yang terampil dan memiliki pengetahuan dalam kelistrikan dengan otorisasi yang sesuai

CONTOH Instalasi FV skala utilitas yang terlindung dari akses publik oleh pagar, lokasi, dll., dan hanya dapat diakses oleh orang-orang yang terampil, terlatih, dan berpengalaman dalam keselamatan kelistrikan.

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-04-04, diubah – Contoh telah ditambahkan.]

**3.4 Konsep insulasi****3.4.1****komponen yang dapat diakses**

komponen yang dapat disentuh dengan menggunakan *test finger* standar

Catatan 1 untuk entri: *Test finger* standar seperti pada Gambar 2, pemeriksaan uji B IEC 61032:1997.

[SUMBER: IEC 60050-442:1998, 442-01-15, diubah – Catatan 1 telah ditambahkan.]

**3.4.2****bagian bertegangan**

bagian konduktif dimaksudkan untuk dialiri listrik dalam kondisi pengoperasian normal

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-02-19, diubah – Bagian kedua definisi telah dihapus karena tidak berlaku untuk DC.]

**3.4.3****sistem insulasi**

material insulasi, atau rakitan material insulasi, yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan komponen konduktif terkait, sebagaimana diterapkan pada tipe atau ukuran atau bagian peralatan listrik tertentu

[SUMBER: IEC 60050-411:2007, 411-39-25]

**3.4.4****insulasi listrik**

insulasi

<listrik> bagian produk elektroteknik yang memisahkan bagian konduksi pada potensial listrik yang berbeda selama pengoperasian atau mengisolasi bagian tersebut dari lingkungan di sekelilingnya

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-11-07, dimodifikasi – Istilah yang diterima telah ditambahkan sebagai sinonim dan domain telah ditetapkan.]

**3.4.5****insulasi dasar**

insulasi yang memberikan perlindungan dasar terhadap kejutan elektrik

Catatan 1 untuk entri: Konsep ini tidak berlaku untuk insulasi yang digunakan secara eksklusif untuk tujuan fungsional.

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-06-06, diubah – Dalam definisi, “dari kejutan elektrik” telah ditambahkan.]

#### 3.4.6

##### **insulasi ganda**

insulasi yang terdiri dari *insulasi dasar* (3.4.5) dan *insulasi tambahan* (3.4.9)

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-06-08]

#### 3.4.7

##### **insulasi fungsional**

insulasi di antara bagian konduktif, yang diperlukan agar peralatan berfungsi dengan baik

Catatan 1 untuk entri: Insulasi fungsional menurut definisi tidak melindungi dari kejutan listrik. Akan tetapi, dapat mengurangi kemungkinan pengapian dan kebakaran.

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-02-41, diubah – Catatan 1 telah ditambahkan.]

#### 3.4.8

##### **insulasi yang diperkuat**

insulasi *bagian bertegangan* berbahaya (3.4.2) yang memberikan tingkat perlindungan dari kejutan listrik setara dengan *insulasi ganda* (3.4.6)

Catatan 1 untuk entri: Insulasi yang diperkuat dapat terdiri dari beberapa lapisan yang tidak dapat diuji sendiri sebagai insulasi dasar atau insulasi tambahan.

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-06-09, diubah – Dalam definisi, "*bagian bertegangan* berbahaya" telah ditambahkan.]

#### 3.4.9

##### **insulasi tambahan**

insulasi mandiri digunakan sebagai tambahan untuk *insulasi dasar* (3.4.5), yang menyediakan proteksi kegagalan

CONTOH Dapat digunakan untuk mengurangi risiko kejutan listrik saat terjadi kegagalan dalam insulasi dasar.

[SUMBER: IEC 60050-195:2021, 195-06-07, diubah – Contoh telah ditambahkan.]

#### 3.4.10

##### **insulasi solid**

material insulasi solid, atau kombinasi material insulasi solid, ditempatkan di antara dua bagian aktif atau di antara bagian konduktif dan bagian bodi

Catatan 1 untuk entri: Termasuk lapisan tipis dan sambungan tersemen, yang terkait tetapi persyaratan pengujian dan pengukurannya berbeda.

[SUMBER: IEC 60050-903:2015, 903-04-14, diubah – Contoh telah dihapus dan Catatan 1 untuk entri telah ditambahkan.]

#### 3.4.11

##### **sambungan tersemen**

sambungan yang terdiri dari dua material insulasi yang antarmukanya terbukti telah disemen, dan oleh karena itu dianggap sebagai *insulasi solid* (3.4.10) tanpa antarmuka untuk jarak rambat

### 3.4.12 insulasi yang diandalkan/*relied upon insulation* RUI

sistem *insulasi solid* (3.4.10) yang memberikan proteksi dari kejutan elektris dalam penerapan akhir, dengan persyaratan material untuk ketebalan, ketahanan termal, dan ketahanan terhadap faktor tekanan lingkungan

Catatan 1 untuk entri: Lapisan tipis yang digunakan sebagai lembaran belakang atau lembaran depan polimer dapat terdiri dari RUI ditambah *layer* tambahan yang memiliki fungsi lain, misalnya melindungi material polimer dari radiasi UV.

### 3.4.13 tegangan tembus/*breakdown voltage*

$V_{B-DC}$

tegangan DC saat terjadi tembus tegangan pada kondisi uji yang ditentukan, atau saat digunakan

Catatan 1 untuk entri: Pengujian tegangan tembus pada modul FV dan material komponennya menggunakan arus searah (DC).

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-11-34, diubah – Simbol dan Catatan 1 untuk entri telah ditambahkan.]

### 3.4.14 kelompok material

kategori material insulasi menurut IEC 60664-1

### 3.4.15 indeks pelacakan komparatif/*comparative tracking index* CTI

nilai indeks numerik yang terkait dengan tegangan maksimum ketika material dapat bertahan tanpa pembentukan jalur karbon (pelacakan) permanen dan konduktif secara elektrik dan tanpa terjadinya nyala api yang tetap, bila dievaluasi pada kondisi pengujian tertentu yang ditentukan dalam IEC 60112

Catatan 1 untuk entri: Tegangan uji maksimum yang disebutkan tidak ada hubungannya dengan sistem apa pun atau tegangan operasi, tetapi digunakan untuk mengevaluasi kelompok material.

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-11-59, diubah – Definisi tersebut telah diulangi dengan memperjelas bahwa CTI adalah nilai indeks untuk mengevaluasi kelompok material menurut IEC 60112. Catatan 1 untuk entri juga telah ditambahkan.]

### 3.4.16 jarak ruang/*clearance*

cl

jarak terpendek di udara di antara dua bagian konduktif atau antara bagian konduktif dan permukaan yang dapat diakses

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-27-76, diubah – Definisi telah diperluas dengan “atau di antara bagian konduktif dan permukaan yang dapat diakses”.]

### 3.4.17 jarak rambat/*creepage distance*

cr

jarak terpendek sepanjang permukaan material insulasi solid di antara dua bagian konduktif

atau antara bagian bertegangan (3.4.2) dan bagian yang dapat diakses (3.4.1)

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-21-23, diubah – Singkatan telah ditambahkan. Dalam definisi, sepasang bagian kedua telah ditambahkan.]

**3.4.18**

***distance through insulation***

**DTI**

ketebalan insulasi yang diandalkan (RUI) dalam modul FV, dengan nilai minimum yang diizinkan dan ditentukan oleh tegangan kerja maksimum

**3.4.19**

**jarak lewat insulasi solid**

jarak lewat insulasi solid terpendek di antara dua bagian konduktif

[SUMBER: IEC 60050-426:2020, 426-04-14]

**3.4.20**

**jarak lewat insulasi fungsional**

jarak lewat material terpendek yang tidak memenuhi syarat sebagai insulasi yang diandalkan di antara dua bagian konduktif

**3.5 Rating**

**3.5.1**

**nilai rating**

nilai kuantitas yang digunakan untuk tujuan spesifikasi, ditetapkan untuk serangkaian kondisi operasi komponen, perangkat, peralatan, atau sistem tertentu

[SUMBER: IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

**3.5.2**

**rating**

set nilai rating dan kondisi operasi

[SUMBER: IEC 60050-151:2001, 151-16-11]

**3.5.3**

**rating arus dari perangkat proteksi arus lebih**

rating arus dari sekring atau pemutus arus menurut IEC 60269-6

**3.5.4**

**tingkat polusi**

karakteristik klasifikasi numerik dari polusi lingkungan mikro yang diperkirakan

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-21-07, diubah – Dalam definisi, “karakterisasi numerik” telah diubah menjadi “karakteristik klasifikasi numerik”.]

**3.5.5**

**ketinggian rating maksimum**

ketinggian maksimum saat modul dinilai untuk digunakan pada rating tegangan sistem pada pelat nama

Catatan 1 untuk entri: Hal ini menyiratkan bahwa modul telah dirancang dengan jarak jarak ruang yang lebih besar (Tabel 5) atau diuji untuk tegangan impuls terukur yang lebih tinggi yang berlaku pada jarak jarak ruang tetap tertentu agar memenuhi syarat untuk ketinggian tersebut.

### 3.5.6 temperatur operasi rating maksimum

$[T_{98}]_{\max}$

temperatur operasi maksimum modul persentil ke-98 pada saat modul dinilai untuk digunakan pada rating temperatur pada pelat nama

## 3.6 Temperatur

### 3.6.1 temperatur lingkungan

temperatur udara yang ditentukan dalam derajat Celcius dan diukur dan didokumentasikan oleh layanan meteorologi untuk lokasi geografis instalasi

### 3.6.2 indeks temperatur/*temperature index*

TI

nilai numerik temperatur Celcius yang dinyatakan dalam derajat Celcius yang mencirikan kemampuan termal suatu material insulasi atau sistem insulasi

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-12-11, diubah – Catatan telah dihapus.]

### 3.6.3 indeks temperatur relatif/*relative temperature index*

RTI

indeks temperatur material atau sistem insulasi yang diperoleh dari waktu pengujian yang berkaitan dengan indeks temperatur yang telah diketahui dari material atau sistem acuan ketika keduanya dikenakan prosedur penuaan dan prosedur diagnosis yang sama dalam uji perbandingan

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-12-12]

### 3.6.4 indeks daya tahan termal relatif/*relative thermal endurance index*

RTE

nilai numerik temperatur Celcius yang dinyatakan dalam derajat Celcius yang perkiraan waktu sampai ke titik akhir suatu material insulasi sama dengan perkiraan waktu sampai ke titik akhir material kontrol pada temperatur yang sama dengan ketahanan termal yang diujinya

[SUMBER: IEC 60050-212:2010, 212-12-14, diubah – Catatan telah dihapus.]

### 3.6.5 temperatur pengoperasian modul persentil ke-98

temperatur modul yang beroperasi di bawah 98% dari waktu ketika diterapkan dalam sistem FV

Catatan 1 untuk entri: Temperatur pengoperasian modul persentil ke-98 dihitung dengan mengurutkan data temperatur modul yang diukur atau dihitung pada interval waktu setiap jam (atau lebih sering) selama tahun kalender tertentu.

Catatan 2 untuk entri: Untuk tahun standar, temperatur pengoperasian modul persentil ke-98 terpenuhi atau terlampaui selama 175,2 jam.

### 3.7 Tegangan

#### 3.7.1

##### rating tegangan sistem

$[V_{\text{sys}}]_{\text{max}}$

tegangan maksimum antara *bagian bertegangan* (3.4.2) dan *komponen yang dapat diakses* (3.4.1) atau bumi terhadap *insulasi listrik* (3.4.4) dari modul FV yang didesain untuk bertahan pada kondisi pengoperasian yang ditetapkan oleh pabrikan

#### 3.7.2

##### tegangan kerja

nilai RMS tertinggi tegangan DC pada setiap insulasi tertentu yang dapat terjadi saat peralatan dioperasikan dalam tegangan *rating*

[SUMBER: IEC 60050-581:2008, 581-21-19, diubah – Definisi terbatas pada DC dan “disuplai” telah diganti dengan “dioperasikan”.]

### 3.8 Fotovoltaik *bifacial*

#### 3.8.1

##### modul FV *bifacial*

modul yang dapat menghasilkan tenaga listrik dengan mengonversi radiasi UV-VIS-IR yang diterima baik dari sisi depan maupun belakang melalui efek fotovoltaik

#### 3.8.2

##### koefisien *bifaciality*

rasio antara karakteristik utama sisi depan dan belakang perangkat FV *bifacial*

Catatan 1 untuk entri: Biasanya koefisien *bifaciality* diacu pada Kondisi Pengujian Standar/*Standard Test Conditions* (STC).

Catatan 2 untuk entri: Tiga tipe koefisien ditentukan dalam IEC TS 60904-1-2. Adalah:

- koefisien *bifaciality* untuk arus hubung-singkat  $\varphi_{\text{ISC}}$ ;
- koefisien *bifaciality* untuk tegangan rangkaian terbuka  $\varphi_{\text{VOC}}$ ;
- koefisien *bifaciality* untuk titik daya maksimum,  $\varphi_{\text{Pmax}}$ .

#### 3.8.3

##### iradians pelat nama *bifacial/bifacial nameplate irradiance*

###### BNPI

iradians saat arus diukur pada modul *bifacial*, setara dengan 1.000 W/m<sup>2</sup> di bagian depan modul dan 135 W/m<sup>2</sup> di bagian belakang modul, diterapkan dengan berbagai metode yang diizinkan pada IEC TS 60904-1-2

#### 3.8.4

##### iradians stres *bifacial/bifacial stress irradiance*

###### BSI

iradians yang lebih tinggi saat arus stres diukur pada modul *bifacial*, setara dengan 1.000 W/m<sup>2</sup> di bagian depan modul dan 300 W/m<sup>2</sup> di bagian belakang modul, diterapkan dengan berbagai metode yang diizinkan pada IEC TS 60904-1-2

#### 3.8.5

##### iradians stres *bifacial* yang diterapkan/*applied bifacial stress irradiance*

###### aBSI

iradians yang sesuai dengan kombinasi 1.000 W/m<sup>2</sup> pada sisi depan modul dengan nilai yang lebih besar dari 300 W/m<sup>2</sup> atau nilai iradians yang diklaim pabrikan untuk sisi belakang modul

## 4 Simbol dan singkatan

$I_{SC-BNPI}$	arus hubung-singkat untuk modul FV <i>bifacial</i> pada BNPI
$I_{SC-BSI}$	arus hubung-singkat untuk modul FV <i>bifacial</i> pada BSI
$I_{mp-BSI}$	arus pada titik daya maksimum modul FV <i>bifacial</i> yang terpapar ke BSI
$I_{SC-aBSI}$	arus hubung-singkat untuk modul FV <i>bifacial</i> dalam kondisi iradians aBSI
$I_{mp-aBSI}$	arus pada titik daya maksimum modul FV <i>bifacial</i> yang terpapar kondisi iradians aBSI

## 5 Klasifikasi, penerapan, dan tujuan penggunaan

### 5.1 Umum

Proteksi terhadap kejutan listrik akan dicapai dengan kombinasi tindakan konstruksi yang digunakan untuk membuat modul dan cara modul diinstal.

Tingkat proteksi yang dicapai modul FV harus dikelompokkan sesuai dengan penjelasan yang diberikan pada Tabel 1, berdasarkan persyaratan dalam IEC 61140. Setiap modul FV harus dikelompokkan untuk proteksi terhadap kejutan listrik dengan menghubungkannya ke kelas yang sama yang sesuai menurut IEC 61140. Penggunaan perlindungan dalam kelas yang berbeda untuk modul FV dijelaskan dalam 5.2 hingga 5.4. Modul FV yang sesuai dengan Kelas I IEC 61140 tidak tercakup dalam dokumen ini.

CONTOH Modul FV yang memenuhi persyaratan proteksi terhadap kejutan listrik sebagaimana diidentifikasi oleh Kelas II IEC 61140 dikelompokkan sebagai modul FV Kelas II.

Sehubungan dengan ini, modul FV harus ditandai sesuai dengan 6.2.2.

**Tabel 1 – Kelas proteksi terhadap kejutan listrik**

Kelas (sebagaimana ditentukan dalam IEC 61140)	Penerapan dalam Standar ini
0	Penerapan dalam area akses terbatas
II	Penerapan dalam area akses tidak terbatas
III	Proteksi dasar dengan pembatasan tegangan (ELV)

### 5.2 Modul FV Kelas 0

#### 5.2.1 Umum

Modul FV kelas 0 memiliki output listrik tingkat individu dan/atau sistem pada tingkat tegangan, arus, dan daya yang berbahaya.

#### 5.2.2 Insulasi

Modul FV ini dilengkapi dengan insulasi dasar hanya sebagai ketentuan untuk proteksi dasar dan tanpa ketentuan untuk proteksi dari gangguan. Semua komponen konduktif yang tidak dipisahkan dari bagian bertegangan yang berbahaya setidaknya dengan insulasi dasar harus diperlakukan sebagai bagian bertegangan yang berbahaya.

### **5.2.3 Penerapan**

Modul FV kelas 0 dimaksudkan untuk penggunaan dalam area akses terbatas yang diproteksi dari akses publik dengan memasang pagar atau melakukan tindakan lain di lokasi agar tidak mudah diakses oleh umum. Misalnya, modul FV hanya boleh diakses oleh orang yang memiliki pengetahuan tentang bahaya yang terkait dengan penggunaan dan mode kegagalannya.

## **5.3 Modul FV Kelas II**

### **5.3.1 Umum**

Modul FV kelas II memiliki output listrik tingkat individu dan/atau sistem pada tingkat tegangan, arus, dan daya yang berbahaya.

### **5.3.2 Insulasi**

Modul FV ini dilengkapi dengan:

- insulasi dasar sebagai proteksi dasar, dan
- insulasi tambahan sebagai tindakan pencegahan untuk proteksi kegagalan,

atau

- insulasi ganda sebagai insulasi dasar dan tambahan, atau insulasi yang diperkuat.

Bagian konduktif yang dapat diakses dan permukaan yang dapat diakses pada bahan insulasi harus:

- dipisahkan dari bagian bertegangan yang berbahaya dengan insulasi ganda atau insulasi yang diperkuat,

atau

- didesain dengan tindakan konstruksi yang memberikan proteksi setara.

Semua bagian konduktif yang dipisahkan dari bagian bertegangan berbahaya hanya dengan insulasi dasar atau desain konstruksi yang memberikan proteksi setara harus dipisahkan dari permukaan yang dapat diakses dengan insulasi tambahan. Semua bagian konduktif yang tidak dipisahkan dari bagian bertegangan yang berbahaya setidaknya dengan insulasi dasar harus dianggap sebagai bagian bertegangan yang berbahaya.

### **5.3.3 Penerapan**

Modul FV ini dimaksudkan untuk instalasi di tempat dengan akses yang tidak terbatas ke modul FV dan dapat terjadi kontak ke bagian bertegangan yang terinsulasi.

## **5.4 Modul FV Kelas III**

### **5.4.1 Umum**

Modul FV kelas III harus tidak memiliki *rating* listrik yang lebih besar dari:

- 240 W untuk titik daya maksimum,
  - 35 V DC untuk tegangan rangkaian-terbuka, dan
  - 8 A untuk arus hubung-singkat,
- saat diuji pada STC. Tiga ketentuan nilai pengenalan maksimum harus diberlakukan secara

bersamaan.

#### 5.4.2 Insulasi

Modul FV Kelas III pada dasarnya memiliki kemampuan output listrik yang terbatas. Oleh karena itu, penggunaan, penyalahgunaan, dan keagalannya tidak terlalu berisiko menimbulkan kejutan listrik atau kebakaran. Berdasarkan batasan output listrik ini, tidak ada persyaratan untuk konstruksi atau insulasi yang diberikan selain insulasi fungsional.

#### 5.4.3 Penerapan

Modul FV ini dimaksudkan untuk instalasi di tempat dengan akses yang tidak terbatas ke modul FV dan dapat terjadi kontak ke bagian bertegangan yang tidak terinsulasi, misalnya dalam elektronik konsumen. Modul FV kelas III tidak boleh digabungkan ke dalam rangkaian seri yang beroperasi pada tegangan  $V_{OC}$  lebih dari 35 V dan tidak memiliki nilai pengenal tegangan sistem di atas 35 V. Modul FV ini tidak dimaksudkan untuk penggunaan secara paralel dengan modul FV atau sumber energi lain kecuali kombinasi keduanya memberikan proteksi dari arus balik dan proteksi dari tegangan lebih.

### 5.5 Kategori *rating* dan penerapan khusus

Modul FV dapat diinstal di banyak penerapan dan konfigurasi sistem yang berbeda.

Modul dimaksudkan untuk penggunaan dalam rentang temperatur dari temperatur lingkungan lebih rendah sebesar  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga batas atas yang ditetapkan oleh temperatur pengoperasian modul  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada persentil ke-98, kecuali diuji menurut IEC TS 63126.

Modul yang memenuhi syarat untuk temperatur pengoperasian modul persentil ke-98 sama dengan atau kurang dari  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  memungkinkan untuk digunakan dalam larik FV yang didesain dengan aliran udara tidak terbatas ke bagian belakang modul di mana pun di dunia. Sistem yang didesain dengan aliran udara terbatas di lokasi yang sangat panas dapat menghasilkan temperatur pengoperasian modul persentil ke-98 lebih besar dari  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan memerlukan pengujian modul pada kondisi temperatur yang lebih tinggi sebagaimana ditentukan dalam IEC TS 63126.

Faktor desain sistem dan instalasi yang dapat memengaruhi temperatur pengoperasian modul termasuk (tetapi tidak terbatas pada): kondisi lingkungan spesifik lokasi (iradians, temperatur, kecepatan angin), dan jarak penyangga, ukuran larik, jarak larik, fitur anti-sarang yang dapat mengurangi aliran udara. Instalatur harus mempertimbangkan faktor-faktor ini dalam desain sistem. Untuk informasi lebih lanjut mengacu pada IEC TS 63126.

CATATAN 1 Pembatasan geografis tertentu dapat berlaku; contohnya tersedia pada peta di IEC TS 63126.

CATATAN 2 Dokumen IEC yang menjelaskan metode penghitungan temperatur pengoperasian modul persentil ke-98 untuk berbagai kombinasi penyangga dan geografis sedang dalam proses.

Untuk penerapan khusus, seperti contoh berikut ini, persyaratan tambahan dapat berlaku:

- FV terpasang pada bangunan (BAPV).
- FV terintegrasi pada bangunan (BIPV, lihat IEC 63092-1).

Fungsi bangunan dalam konteks BIPV termasuk salah satu atau lebih dari berikut ini:

- kekakuan mekanis dan integritas struktural;
- proteksi dampak cuaca utama: hujan, salju, angin, hujan es;

## RSNI3 IEC 61730-1:2023

- penghematan energi, misalnya peneduhan, penerangan alami, insulasi termal;
- proteksi kebakaran;
- proteksi kebisingan.

Oleh karena itu, modul BIPV merupakan prasyarat untuk integritas fungsi bangunan. Jika modul FV terintegrasi dibongkar (saat modul terikat secara struktural, pelepasan mencakup komponen bangunan yang berdekatan), modul FV harus diganti dengan komponen bangunan yang sesuai.

Sifat elektro-teknis inheren pada FV saja seperti fungsi antena, pembangkitan daya, dan pelindung elektromagnetik, dll. bukan merupakan kualifikasi modul FV sebagai BIPV.

- Penerapan di area yang terdapat beban salju dan/atau angin yang diperkirakan akan melebihi beban sebagaimana diuji menurut IEC 61730-2.

CATATAN 3 Untuk beban salju yang tidak uniform, lihat IEC 62938.

- Area dengan eksposur garam tinggi (IEC 61701).
- Penerapan di pertanian (contoh IEC 62716).
- Penerapan di lingkungan yang eksplosif (IEC 60079).
- Untuk tingkat konsentrasi di atas 3X, lihat IEC 62688.
- Elektronik yang diterapkan pada modul (lihat IEC 62109-3).

CATATAN 4 Panduan untuk modul FV yang digunakan dalam penerapan tenaga surya terapung dan kendaraan sedang dikembangkan.

## 6 Persyaratan untuk desain dan konstruksi

### 6.1 Umum

Standar ini sesuai untuk modul yang beroperasi pada temperatur pengoperasian modul 70 °C atau kurang pada persentil ke-98. Penerapan di iklim panas yang menggunakan metode penyangga yang membatasi aliran udara dapat menyebabkan temperatur pengoperasian melebihi 70 °C pada persentil ke-98. Panduan pengujian lanjutan untuk penerapan ini tersedia di IEC TS 63126.

Jika berlaku, material dan komponen harus memenuhi persyaratan keamanan yang ditentukan dalam standar IEC yang relevan. Namun, kesesuaian dengan standar IEC yang relevan untuk material dan/atau komponen tidak serta merta menjamin kesesuaian dengan persyaratan Standar ini.

Semua modul FV harus sesuai untuk pengoperasian pada lokasi luar ruangan yang tidak terproteksi, misalnya terpapar radiasi matahari langsung dan tidak langsung (albedo) serta kelembapan relatif hingga 100% maupun hujan. Modul FV harus didesain untuk tahan terhadap stres listrik, mekanis, termal, dan lingkungan (temperatur, beban mekanis, kelembapan, sinar UV/cuaca, polusi, dll.) yang terjadi di lokasi penggunaan. Modul seharusnya tidak menimbulkan bahaya bagi pengguna atau lingkungannya. Kesesuaian diverifikasi melalui evaluasi material, komponen, dan konstruksi modul FV serta uji yang ditentukan dalam IEC 61730-2.

Modul FV dapat dirakit seluruhnya saat dikirim dari pabrik atau disediakan dalam sub-rakitan. Sub-rakitan produk yang disediakan harus tidak melibatkan tindakan apa pun yang dapat memengaruhi kesesuaian terhadap persyaratan seri IEC 61730.

Penggabungan modul FV ke dalam perakitan akhir harus tidak memerlukan perubahan apa

pun pada modul FV dari bentuk terevaluasi aslinya.

Semua metode pemasangan pada penyangga dan perkawatan modul FV yang ditentukan dalam petunjuk instalasi harus dievaluasi kesesuaiannya dengan seri IEC 61730. Hal ini mencakup, tetapi tidak terbatas pada, metode perkawatan, koneksi fisik dan/atau pemasangan antara modul FV dan struktur penyangga serta kombinasi koneksi perkawatan dan sistem penyangga yang perkawatannya merupakan bagian integral dari rangka. Kesesuaian dengan seri IEC 61730 menilai dampak metode pemasangan dan perkawatan terhadap keamanan modul FV tetapi tidak menilai keamanan atau kesesuaian metode pemasangan atau perkawatan untuk tujuan penggunaannya. Metode ini juga dapat mengikuti persyaratan tambahan atau persyaratan kode lokal.

Modul dipertimbangkan memenuhi Standar ini hanya jika modul dipasang dan dipasangi kawat sesuai dengan salah satu metode yang ditentukan dalam petunjuk pemasangan.

IEC 60364-7-712 dan IEC 62548 memberikan panduan untuk interkoneksi antara modul FV dan sistem.

Konstruksi modul FV harus dibuat sedemikian rupa sehingga kontinuitas ikatan ekuipotensial, jika memungkinkan, tidak terganggu oleh instalasi.

Setiap bagian struktural yang dapat disesuaikan atau dipindahkan harus dilengkapi dengan perangkat pengunci untuk mengurangi kemungkinan terjadinya gerakan yang tidak disengaja, jika gerakan tersebut dapat mengakibatkan risiko kebakaran, kejutan listrik, atau bahaya mekanis.

CATATAN Sifat fisik atau konstruksi yang menimbulkan interferensi atau upaya untuk mencegah pergerakan atau rotasi komponen yang tidak diinginkan memenuhi persyaratan ini.

Modul FV tidak boleh memiliki permukaan kasar, tepi tajam, atau titik-titik tajam yang aksesibel dan dapat menyebabkan cedera. Tepi dan titik-titiknya harus sesuai dengan uji ketajaman tepi (MST 06) IEC 61730-2.

Bagian modul FV harus dicegah dari kekenduran atau perubahan arah jika kedua hal tersebut dapat mengakibatkan risiko kebakaran, kejutan listrik, atau bahaya mekanis. Kesesuaian komponen dibuktikan dengan uji spesifik yang dijelaskan dalam Standar Internasional yang relevan atau uji sambungan sekrup (MST 33) IEC 61730-2.

Semua data kelistrikan yang dilaporkan dalam penandaan atau dalam dokumentasi yang menyertai modul FV harus diberikan pada kondisi pengujian standar ( $1.000 \text{ W/m}^2$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , irradians spektrum sama dengan AM1.5 menurut IEC TS 61836). Untuk modul FV *bifacial*, semua data kelistrikan harus ditampilkan relatif terhadap STC, BNPI, dan aBSI pada sisi depan modul, ditambah koefisien *bifaciality* pada STC menurut IEC TS 60904-1-2 dan IEC 61215-1. Penandaan ini juga dapat mengikuti pada persyaratan kode lokal tambahan.

## 6.2 Penandaan dan dokumentasi

### 6.2.1 Umum

Petunjuk yang terkait dengan keselamatan harus diberikan dalam bahasa resmi negara tempat peralatan tersebut akan diinstal.

## 6.2.2 Penandaan

### 6.2.2.1 Umum

Setiap pelat nama modul FV harus mencakup penandaan yang jelas dan tidak dapat dihapus beserta nilainya, meliputi:

- a) nama, nama dagang terdaftar, merek dagang terdaftar pabrikan;
- b) tipe atau penunjukan nomor model;
- c) nomor seri;
- d) tanggal dan lokasi pembuatan; sebagai alternatif, nomor seri yang menjamin keterlacakan tanggal dan tempat pembuatan;
- e) "tegangan sistem maksimum" atau " $V_{sys}$ ";
- f) kelas proteksi terhadap kejutan elektrik, sesuai dengan Pasal 5 di Standar ini;
- g) "tegangan rangkaian-terbuka" atau " $V_{OC}$ " termasuk toleransi pembuatan. Untuk modul *bifacial*, tegangan rangkaian terbuka pada dua tingkat iradians seperti yang ditentukan dalam IEC 61215-1;
- h) "arus hubung-singkat" atau " $I_{SC}$ " termasuk toleransi pembuatan. Untuk modul *bifacial*, arus hubung-singkat pada STC, BNPI, dan aBSI;
- i) "daya maksimum modul FV" atau " $P_{max}$ " termasuk toleransi pembuatan seperti yang ditentukan dalam IEC 61215-1. Untuk modul *bifacial*,  $P_{max}$  pada dua tingkat iradians seperti yang ditentukan dalam IEC 61215-1;
- j) untuk modul *bifacial*, tanda yang jelas untuk menandai sisi depan, atau jika kedua sisi didesain untuk terpapar sinar matahari langsung dalam jangka waktu yang lama ( $>300 \text{ W/m}^2$ ).
- k) untuk modul fleksibel, radius lengkungan minimum;
- l) *rating* beban desain positif ("+" atau ke bawah) dan negatif ("-" atau ke atas) dalam pascal (Pa) tidak termasuk faktor keselamatan beban uji, sebagaimana diverifikasi dalam uji beban mekanik statis (MST 34). Penandaan tambahan untuk *rating* beban mekanis seperti yang disyaratkan dalam seri IEC 61215, jika berlaku.

CATATAN MST 34 setara dengan MQT 16 dalam IEC 61215-2, dan beban desain sama dengan beban uji dibagi faktor keselamatan  $\gamma_m$ .

Contoh untuk *rating* beban tunggal ke atas dan ke bawah:

- "Beban Desain Min.  $\pm 1.600 \text{ Pa}$ ", atau
- "Beban Desain Min.  $-1.600 \text{ Pa}$ ,  $+3.600 \text{ Pa}$ "

Contoh beban desain tergantung pada konfigurasi penyangga spesifik:

- "Beban Desain Min.  $\pm 1.600 \text{ Pa}$ ; lihat manual untuk instruksi"
- "Beban Desain Min.  $\pm 800 \text{ Pa}$  hingga  $\pm 1.600 \text{ Pa}$ ; lihat manual untuk instruksi"

- m) *rating* proteksi arus lebih maksimum;
- n) *rating* temperatur modul  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , (atau jika diuji ke IEC TS 63126 Tingkat 1 atau Tingkat 2,  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  atau  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ );

CONTOH Modul  $[T_{98}]_{maks.} 80 \text{ }^\circ\text{C}$

- o) konektor pabrikan dan model yang digunakan; mengacu pada manual untuk konektor pasangan yang didesain;
- p) tautan (situs web atau kode QR) ke dokumentasi yang diperlukan jika salinan kertas dari dokumentasi yang diperlukan dalam 6.2.3 tidak termasuk dalam modul, disertakan setelah pernyataan "Informasi keselamatan" atau simbol ISO 7010-M002:2011-05, Lihat manual instruksi/buklet:



CONTOH 1 Modul *monofacial*

Pabrikan Modul A, Model A   	
Nomor seri	
	STC
$V_{OC}$ [V] $\pm 3\%$	49,42
$I_{SC}$ [A] $\pm 3\%$	13,63
$P_{max}$ [W] $-0\%, +3\%$	525
$V_{sys}$ [V]	1.500
Beban Desain Min. [Pa]	$\pm 1.600$
Module [T98]max [°C]	70
Sekring seri maksimum [A]	25
Konektor, lihat manual untuk konektor yang didesain	Pabrikan Konektor A Tipe A
STC: 1.000 W/m <sup>2</sup> , AM1.5, Sel 25°C	

CONTOH 2 Modul *bifacial* dengan *bifaciality* ≤300 W/m<sup>2</sup> (BSI) atau dengan *bifaciality* >300 W/m<sup>2</sup> (aBSI)

Pabrikan Modul B, Model B		  	
Nomor seri			
	STC	BNPI	BSI <sup>b</sup>
<i>I</i> <sub>sc</sub> [A]	13,63 ±3%	14,85 ±3%	17,32 ±3%
<i>V</i> <sub>oc</sub> [V]	49,42 ±3%	49,8 ±3%	
<i>P</i> <sub>max</sub> [W]	525 -0%, +3%	600 -0%, +3%	
<i>V</i> <sub>sys</sub> [V]	1.500		
Beban Desain Min. [Pa]	±1.600		
Modul [T98]max [°C]	70		
Sekring seri maksimum [A]	30		
Koefisien <i>bifaciality</i> <sup>a</sup>	$\phi V_{oc} = \phi I_{sc} = 0,7$ $\phi P_{max} = 0,7$ 0,99		
Konektor, lihat manual untuk konektor yang dimaksud	Pabrikan Konektor B Tipe B		
STC: 1.000 W/m <sup>2</sup> , AM1,5, Sel 25 °C, BNPI: depan 1.000 W/m <sup>2</sup> , belakang 135 W/m <sup>2</sup> BSI: depan 1.000 W/m <sup>2</sup> , belakang 300 W/m <sup>2</sup> a Hanya diperlukan untuk seri IEC 61215. b Tergantung pada <i>bifaciality</i> , BSI (≤300 W/m <sup>2</sup> ) atau aBSI (>300 W/m <sup>2</sup> ) diperlukan.			

Simbol internasional harus digunakan, jika berlaku.

Kesesuaian pelat nama harus diverifikasi berdasarkan pemeriksaan visual (MST 01) dan ketahanan penandaan (MST 05) dari IEC 61730-2.

Konektor FV atau perkawatan harus ditandai sesuai dengan IEC 62852 dengan simbol "*Do not disconnect under load*", seperti yang ditunjukkan dalam Lampiran A Standar ini. Simbol dan/atau pemberitahuan peringatan harus dicetak atau diberi label di dekat konektor. Konektor FV harus ditandai dengan jelas untuk menunjukkan polaritas terminal.

Untuk modul FV Kelas II dan Kelas 0, simbol  (IEC 60417-6042:2010-11: *Caution, risk of electric shock*) harus dipasang di dekat sarana koneksi listrik modul FV.

Modul FV harus diberi tanda untuk menunjukkan kelas proteksi terhadap kejutan listrik yang sesuai, sebagai berikut:

Klasifikasi modul FV (sesuai Pasal 5)	Penandaan	Simbol
Kelas II	Penandaan sesuai dengan IEC 60417-5172:2003-02: Peralatan kelas II	
Kelas 0	Tanpa penandaan	Tanpa simbol
Kelas III	Penandaan sesuai dengan IEC 60417-51802003-02: Peralatan kelas III	

Modul FV yang dilengkapi dengan terminal bumi fungsional harus dilengkapi dengan simbol sesuai dengan Gambar 3.

Modul FV yang dilengkapi dengan terminal untuk perkawatan lapangan yang diperuntukkan hanya untuk digunakan dengan kawat tembaga harus diberi tanda, pada atau di dekat terminal, dengan kalimat "*Use copper wire only*", "*Cu only*", atau yang serupa.

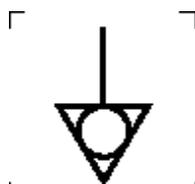
Modul FV yang dilengkapi dengan terminal untuk perkawatan lapangan yang diperuntukkan hanya untuk digunakan dengan material perkawatan spesifik yang berbeda harus diberi tanda dengan kalimat serupa mengacu pada material yang diperuntukkan.

Modul FV dilengkapi dengan terminal untuk perkawatan lapangan yang diperuntukkan untuk digunakan dengan semua jenis material perkawatan tidak perlu diberi tanda.

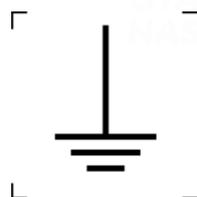
## 6.2.2.2 Simbol

### 6.2.2.2.1 Ikatan ekuipotensial

Terminal perkawatan atau lokasi pengikatan modul FV yang dimaksudkan untuk menyediakan konduktor pengikat yang diinstal di lapangan untuk ikatan ekuipotensial harus diidentifikasi dengan simbol yang sesuai IEC 60417-5021:2002-10 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sebagai alternatif, simbol IEC 60417-5017:2006-08 yang ditunjukkan pada Gambar 1 dapat digunakan. Tidak ada terminal atau lokasi lain yang dapat diidentifikasi dengan cara ini.



Gambar 1 – IEC 60417-5021:2002-10



Gambar 2 – IEC 60417-5017:2006-08

### 6.2.2.2.2 Pembumian fungsional

Terminal perkawatan atau lokasi pengikatan modul FV yang dimaksudkan untuk menyediakan konduktor pembumian fungsional yang diinstal di lapangan harus diidentifikasi dengan simbol yang sesuai (IEC 60417-5018:2011-07) yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 – IEC 60417-5018:2011-07

## 6.2.3 Dokumentasi

### 6.2.3.1 Umum

Dokumentasi yang menjelaskan metode instalasi listrik dan mekanis serta *rating* listrik, termal, dan mekanisnya harus tersedia. Dokumentasi harus menyatakan kelas proteksi terhadap kejutan elektris bila modul tersebut memenuhi syarat dan klasifikasi, dan batasan khusus yang diperlukan untuk kelas tersebut.

Dokumentasi tersebut harus memastikan bahwa instalatur dan operator menerima instruksi yang tepat dan cukup untuk instalasi yang aman, penggunaan dan pemeliharaan modul FV yang menyertainya.

Dokumentasi harus disediakan setidaknya dalam salah satu bahasa resmi negara tempat modul FV akan diinstal. Simbol internasional harus digunakan, jika berlaku.

Instruksi perakitan harus diberikan bersama produk yang dikirim dalam sub-perakitan, dan harus dirinci dan memenuhi syarat yang diperlukan untuk mendukung perakitan produk yang sempurna dan aman.

Dokumentasi boleh disediakan dalam bentuk kertas di setiap unit pengiriman atau sebagai tautan elektronik. Alamat web harus ditandai pada perangkat atau diberikan dalam lembar informasi yang disertakan dengan setiap unit pengiriman. Alamat web boleh berupa *Uniform Resource Locator* (URL – [http://www.\\_\\_\\_\\_.com/\\_\\_\\_/](http://www.____.com/___/)), atau *Quick Response Code* (QRcode). Tautan alamat web harus mengarahkan pengguna ke halaman internet yang berisi informasi yang diperlukan atau tautan langsung ke informasi yang diperlukan. Fail harus dalam format fail yang umum digunakan dan dapat diunduh.

Kebutuhan untuk memelihara dan mendukung informasi selama siklus pemakaian produk pendukung harus diperhitungkan ketika merencanakan penyiapan informasi untuk digunakan seperti yang dijelaskan dalam IEC/IEEE 82079-1.

Informasi berikut ini harus disertakan dalam dokumentasi:

- semua informasi yang disyaratkan oleh 6.2.2.1 kecuali c) dan d);
- konfigurasi modul seri/paralel maksimum yang direkomendasikan;
- koefisien temperatur untuk tegangan rangkaian-terbuka;
- koefisien temperatur untuk daya maksimum;
- koefisien temperatur untuk arus hubung-singkat;

### 6.2.3.2 Kondisi lingkungan dan pemasangan yang sesuai

Dokumentasi harus menyatakan kondisi lingkungan dan pemasangan yang memenuhi syarat modul, yang secara bawaan selalu mencakup:

- nilai terukur ketinggian maksimum yang didesain untuk modul FV; *de-rating* boleh diterapkan;
- pernyataan yang menunjukkan *rating* beban desain negatif (ke atas) dan positif (ke bawah) untuk setiap sarana mekanik untuk mengamankan modul sebagaimana dievaluasi selama uji beban mekanik statis menurut MST 34. Berdasarkan kebijakan pabrik, beban uji dan/atau faktor keamanan  $\gamma_m$  juga boleh diperhatikan;
- untuk modul *bifacial*, penetapan sisi modul mana yang telah diuji untuk pemaparan sisi

depan. Bila tidak diuji sebagai sisi depan, sisi belakang dibatasi untuk digunakan dengan sinar matahari tidak langsung atau langsung tetapi terbatas (kurang dari  $300 \text{ W/m}^2$ ). Jika kedua sisi modul dimaksudkan untuk digunakan dengan paparan sinar matahari langsung dalam waktu lama ( $>300 \text{ W/m}^2$ ), setiap sisi harus memenuhi persyaratan untuk sisi depan.

- rentang temperatur dari batas bawah temperatur lingkungan sebesar  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  hingga batas atas yang ditetapkan oleh temperatur pengoperasian modul  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  pada persentil ke-98, ( $80 \text{ }^\circ\text{C}$  atau  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  jika diuji pada kondisi Tingkat 1 atau Tingkat 2 seperti yang dijelaskan dalam IEC TS 63126);
- panduan mengenai wilayah geografis, kondisi pemasangan dan desain sistem serta faktor instalasi ketika perkiraan temperatur pengoperasian modul akan lebih besar dari  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  pada persentil ke-98; (atau  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  atau  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  jika diuji pada kondisi Tingkat 1 atau Tingkat 2).

#### CONTOH:

- Modul dapat diinstal di mana pun di dunia jika dipasang dengan aliran udara tidak terbatas.
- Ada kemungkinan bahwa modul yang diinstal dengan aliran udara terbatas tidak diperbolehkan untuk digunakan di beberapa lokasi yang panas, tergantung pada parameter desain sistem. Instalatur harus menilai apakah desain sistem di lokasi geografis spesifik akan menghasilkan temperatur pengoperasian modul lebih besar dari  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $80 \text{ }^\circ\text{C}$  atau  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  jika diuji pada kondisi Tingkat 1 atau Tingkat 2) pada persentil ke-98, dan harus mempertimbangkan faktor-faktor berikut dalam desain sistem (lihat IEC TS 63126 untuk informasi lebih lanjut):
  - kondisi lingkungan lokasi yang spesifik: iradians, temperatur, kecepatan angin;
  - desain sistem: jarak pemasangan, ukuran larik, jarak larik, dan fitur anti-sarang yang dapat mengurangi aliran udara.

CATATAN 1 Pembatasan geografis spesifik dapat berlaku; lihat contohnya di peta di IEC TS 63126.

CATATAN 2 Standar IEC yang menjelaskan metode penghitungan temperatur pengoperasian modul pada persentil ke-98 untuk berbagai kombinasi pemasangan dan geografis sedang dalam progres.

- Untuk memfasilitasi pengukuran sistem yang tepat dalam pengoperasian normal, pabrikan harus menjelaskan faktor-faktor yang dapat meningkatkan tegangan atau arus melebihi nilai STC yang diberikan dalam dokumentasi. Sehubungan dengan hal ini, pernyataan berikut atau yang setara harus disertakan:

“Modul fotovoltaik kemungkinan besar akan mengalami kondisi yang menghasilkan arus dan/atau tegangan lebih tinggi daripada yang dilaporkan pada kondisi uji standar. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan mencakup temperatur modul dan iradians sisi depan (dan, untuk modul *bifacial*, albedo tanah atau atap, jarak baris, dan tinggi instalasi). Oleh karena itu, nilai-nilai  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$  (atau untuk modul *bifacial*,  $I_{SC-ABS}$ ) yang ditandai pada modul FV sebaiknya dikalikan dengan faktor 1,25 saat menentukan *rating* tegangan dan arus untuk komponen yang terhubung ke keluaran FV.”

“Faktor keselamatan sebesar 1,25 yang diberikan untuk *rating* tegangan minimum komponen dalam contoh pernyataan di atas boleh dimodifikasi selama desain sistem sesuai dengan temperatur minimum lokasi instalasi dan koefisien temperatur untuk  $V_{OC}$ . Faktor keselamatan 1,25 yang diberikan untuk nilai *rating* arus konduktor untuk  $I_{SC}$  (atau untuk modul *bifacial*,  $I_{SC-ABS}$ ) boleh disesuaikan berdasarkan nilai maksimum iradians sinar datang di sisi depan modul (dan sisi belakang untuk modul *bifacial*). Untuk tujuan tersebut, diperlukan simulasi penuh untuk lokasi spesifik dan orientasi modul (dan untuk modul *bifacial*, albedo tanah, jarak baris, dan tinggi instalasi). Panduan lebih lanjut untuk pemilihan faktor keselamatan selain 1,25 diberikan dalam IEC 62548.”

## RSNI3 IEC 61730-1:2023

Dokumentasi harus menyatakan bahwa sinar matahari terkonsentrasi secara artifisial yang menghasilkan arus modul FV di atas nilai yang dilaporkan pada pelat nama harus tidak diarahkan ke sisi depan atau belakang modul FV.

Selain itu, dokumentasi sebaiknya melaporkan apakah modul FV dievaluasi berdasarkan standar berikut, termasuk rangkaian pengujian spesifik mana yang digunakan.

- IEC 61701, *Photovoltaic (PV) modules – Salt mist corrosion testing*  
Sertakan metode uji yang digunakan (berdasarkan klasifikasi korosivitas).
- IEC 62716, *Photovoltaic (PV) modules – Ammonia corrosion testing*  
Sertakan rangkaian pengujian 1 atau 2 (Si kristalin atau *thin-film*).
- IEC 62109-3, *Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 3: particular requirements for electronic devices in combination with photovoltaic elements*
  - Sertakan MIE Tipe A atau B (tergantung apakah elektronik dapat diuji secara terpisah dari modul).
- IEC TS 63126, *Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures*  
Sertakan temperatur Tingkat 1 atau 2 (berdasarkan pemilihan pengujian untuk kombinasi lokasi pemasangan dan konfigurasi penyangga).

### 6.2.3.3 Pemasangan

Dokumentasi harus mencakup informasi dan petunjuk yang cukup untuk setiap metode pemasangan seperti yang tertulis pada petunjuk pemasangan pabrik, dengan tambahan:

- pernyataan yang menunjukkan bahwa sarana mekanis minimum untuk mengamankan modul FV (seperti yang dievaluasi selama uji beban mekanis (MST 34) IEC 61730-2) dan kesesuaian persyaratan beban mekanis seri IEC 61215, sebagaimana berlaku;
- batasan situasi pemasangan (misalnya, kemiringan, orientasi, sarana pemasangan, pendinginan, jarak tertentu, dan kondisi lainnya yang memengaruhi keselamatan instalasi modul FV);

CATATAN Jarak minimum akan bergantung pada temperatur pengoperasian modul pada persentil ke-98 untuk lokasi tertentu.

- jika bahan perekat digunakan untuk pemasangan (misalnya untuk modul yang fleksibel): jenis bahan perekat dan bahan dasar yang diperbolehkan;
- jika bahan perekat ditentukan untuk digunakan di lapangan untuk memberikan pengamanan mekanis pada penutup atap atau sistem pemasangan spesifik (seperti modul fleksibel yang dilekatkan pada membran atap atau modul yang dilekatkan pada rel metal): pabrik dan nomor bagian unik perekat, serta persiapan permukaan yang diperlukan, proses penerapan perekat, dan kondisi *curing*.

### 6.2.3.4 Konektor/perkawatan

Dokumentasi harus mencakup deskripsi yang detail terkait informasi berikut yang berhubungan dengan konektor dan metode perkawatan:

- diameter kabel minimum, tegangan pengenalan, arus, dan *rating* temperatur kabel modul FV yang dimaksudkan untuk perkawatan lapangan dan kabel yang digunakan harus sesuai dengan IEC 62930, tipe 131 atau tipe 133; atau EN 50618;

- segala batasan pada metode perkawatan dan pengelolaan kawat yang berlaku pada *junction box* untuk modul FV;
- pernyataan bahwa perkawatan untuk menghubungkan modul harus dinilai untuk penerapannya. Penting bagi pengguna untuk mengetahui kode instalasi nasional;
- jenis terminal untuk perkawatan lapangan;
- model/tipe spesifik beserta nama pabrikan/merek konektor FV yang dapat dipasangkan dengan konektor modul FV;

CATATAN 1 Masalah ketidakcocokan konektor dijelaskan dalam IEC TR 63225.

CATATAN 2 Pernyataan bahwa model/jenis konektor saja (seperti "kompatibel MC4") tidak memenuhi persyaratan ini.

- metode pengikatan yang akan digunakan (jika ada). Apakah semuanya harus disediakan atau perangkat keras spesifik harus diidentifikasi dalam dokumentasi;
- tipe dan *rating* diode *bypass* yang akan digunakan (jika berlaku).

#### 6.2.3.5 Rating kebakaran

Dokumentasi harus mencakup pernyataan yang menunjukkan rating kebakaran dan standar yang diterapkan atau pernyataan bahwa ketahanan terhadap sumber api eksternal tidak dievaluasi, serta batasan terhadap rating yang dicapai (misalnya kemiringan instalasi, substruktur atau informasi instalasi lain yang berlaku).

Dokumentasi untuk pemasangan atap harus menyertakan detail parameter spesifik jika rating kebakaran bergantung pada struktur pemasangan, jarak tertentu, atau peralatan khusus untuk menahan atap atau struktur.

### 6.3 Komponen listrik dan insulasi

#### 6.3.1 Umum

Modul FV dapat terdiri dari komponen listrik dan insulasi berikut ini:

- perkawatan internal, misalnya sel surya dan interkoneksi sel (lihat 6.3.2);
- perkawatan eksternal dan kabel keluaran (lihat 6.3.3);
- konektor (lihat 6.3.5);
- *junction box* untuk modul FV (lihat 6.3.6);
- lembaran depan dan lembaran belakang (lihat 6.3.7);
- barier insulasi (lihat 6.3.8);
- koneksi listrik (lihat 6.3.9);
- *encapsulant* (lihat 6.3.10);
- diode *bypass* (lihat 6.3.11).

#### 6.3.2 Perkawatan internal

Perkawatan internal harus memiliki kapasitas dukung arus yang cukup untuk penerapan yang relevan. Bergantung pada tingkat polusi di lokasi pemasangan perkawatan internal, tindakan pencegahan terhadap korosi harus dilakukan jika memungkinkan. Contoh proteksi terhadap

## RSNI3 IEC 61730-1:2023

korosi dijelaskan dalam 6.5.3.1. Jika diperlukan insulasi untuk perkawatan internal, maka harus memenuhi persyaratan relevan untuk penerapan yang tepat menurut 6.5.2.2.

Kesesuaiannya diperiksa dengan inspeksi (MST 01) dan uji arus balik beban lebih (MST 26).

### 6.3.3 Perkawatan eksternal dan kabel

Perkawatan eksternal dan kabel harus memenuhi persyaratan IEC 62930 dan harus tipe 131 atau 133. Kabel menurut EN 50618 diperbolehkan sebagai alternatif untuk IEC 62930 tipe 131.

### 6.3.4 Rating proteksi arus lebih modul

Panduan untuk menentukan rating proteksi arus lebih disediakan oleh IEC 60269-6 sebagaimana diverifikasi oleh MST 26 dari IEC 61730-2. Rating sekring nominal ( $I_n$ ) biasanya sama dengan atau lebih besar 1,4 kali dari  $I_{SC}$ . Untuk modul FV *bifacial*, rating harus dievaluasi untuk  $I_{SC}$ -aBSI.

### 6.3.5 Konektor

Konektor DC eksternal harus memenuhi persyaratan IEC 62852, dan persyaratan tambahan dalam 6.5.2.2. Konektor harus telah ditandai sesuai dengan 6.2.2.

### 6.3.6 Junction box

*Junction box* untuk modul FV harus memenuhi persyaratan IEC 62790, dan persyaratan tambahan dalam 6.5.2.2.3.

Pengujian tingkat modul setelah instalasi dan terminasi pita diperlukan untuk memvalidasi adhesi/koneksi *junction box* ke modul dan jarak ruang dan jarak rambat minimum.

### 6.3.7 Lembaran depan dan lembaran belakang

Lembaran depan dan lembaran belakang polimerik harus memenuhi persyaratan IEC 62788-2-1. Masing-masing harus ditetapkan sebagai lembaran depan atau lembaran belakang berdasarkan persyaratan pengujian. Lembaran belakang dibatasi untuk penggunaan dengan sinar matahari tidak langsung atau langsung terbatas yang setara atau lebih rendah dari 300 W/m<sup>2</sup>.

Material yang dimaksudkan untuk penggunaan dengan paparan sinar matahari langsung yang lebih besar dari 300 W/m<sup>2</sup> dalam jangka waktu lama harus memenuhi persyaratan untuk lembaran depan dalam IEC 62788-2-1.

Lembaran belakang memenuhi syarat IEC 62788-2-1 berdasarkan pemutusan sinar UV dari kombinasi *encapsulant* dan kaca yang digunakan dalam pengujian. Pemutusan ini harus sama atau lebih rendah dibandingkan kombinasi *encapsulant* dan kaca yang digunakan dalam desain modul.

Persyaratan DTI yang tercantum dalam Tabel 3 dan Tabel 4 boleh dipenuhi oleh lapisan tunggal atau multipel RUI seperti yang dijelaskan dalam IEC 62788-2-1.

Perekat lembaran depan dan lembaran belakang, misalnya ke *encapsulant* atau ke kaca harus sesuai. Kesesuaian diperiksa pada tingkat modul dengan melalui rangkaian uji IEC 61730-2.

### 6.3.8 Barrier insulasi

Barrier insulasi harus dapat menahan tekanan mekanis, listrik, termal, dan lingkungan yang relevan. Secara umum, barrier insulasi polimerik harus memenuhi persyaratan 6.5.2. yang relevan. Barrier harus dipertahankan pada tempatnya dan tidak boleh mendapatkan pengaruh buruk sepanjang sifat listrik dan mekanis yang disyaratkan berada di bawah nilai minimum yang dapat diterima untuk penerapannya. Pelepasan barrier insulasi hanya dapat dilakukan menggunakan alat. Kesesuaian diperiksa dengan melalui rangkaian uji IEC 61730-2.

### 6.3.9 Koneksi listrik

#### 6.3.9.1 Umum

Koneksi listrik harus dirancang sedemikian rupa sehingga tekanan kontak tidak diteruskan melalui material insulasi selain keramik, mika murni atau material lain dengan karakteristik yang sesuai, kecuali terdapat resiliensi yang cukup pada bagian metalik untuk mengompensasi penyusutan atau pelunakan material insulasi.

Tindakan pencegahan harus dilakukan agar koneksi tidak kendur, misalnya dengan menggunakan ring pelat.

Kesesuaian diperiksa dengan inspeksi visual IEC 61730-2 (MST 01), uji kontinuitas ikatan equipotensial (MST 13) dan uji sambungan sekrup (MST 33), jika berlaku.

Ujung konduktor *stranded* harus tidak dilapisi dengan solder halus di tempat konduktor terkena tekanan kontak, kecuali metode penjepitan didesain sedemikian rupa untuk mengurangi kemungkinan kontak buruk atau jika bagian yang disolder dipertahankan di luar area koneksi.

Tindakan pencegahan harus dilakukan agar unit penjepitan atau terminasi lainnya selama pengoperasian tidak terkena tekanan termal dan mekanis yang dapat mengganggu konduktivitas listrik.

#### 6.3.9.2 Terminal untuk kabel eksternal dan pita konektor FV

Terminal untuk koneksi listrik harus cocok untuk tipe dan rentang area penampang konduktor sesuai dengan yang ditentukan oleh pabrikan. Terminal harus memenuhi persyaratan IEC 62790 dan persyaratan tambahan RTE, RTI, dan TI pada 6.5.2.2.3.

Terminal terinsulasi harus dirancang sedemikian rupa untuk mencegah kemungkinan pemindahan yang dapat mengakibatkan penurunan jarak ruang dan jarak rambat.

#### 6.3.9.3 Sambungan dan koneksi di dalam modul FV

Sambungan dan koneksi di dalam modul FV selain untuk terminal kabel eksternal dan pita konektor FV harus diamankan secara mekanis dan harus menjamin kontinuitas listrik. Koneksi listrik harus disolder, dilas, direkatkan secara konduktif, dilakukan *crimping*, atau disambungkan dengan aman. Sambungan yang disolder atau direkatkan secara konduktif juga harus diamankan secara mekanis.

Enkapsulasi dianggap sebagai cara pengamanan mekanis untuk sambungan listrik dalam modul FV yang disolder dan direkatkan secara konduktif.

#### 6.3.10 Encapsulant

*Encapsulant* dianggap sebagai bagian dari laminasi. *Encapsulant* memberikan proteksi terhadap masuknya debu dan kelembapan serta kesesuaian dengan persyaratan

IEC 61730-2 harus menunjukkan proteksi untuk polusi tingkat 2.

Sifat-sifat dan metode uji yang relevan untuk *encapsulant* pada tingkat komponen dijelaskan dalam IEC 62788-1 (semua bagian). *Encapsulant* tidak harus diuji secara terpisah, tetapi harus dievaluasi berkaitan dengan penerapannya.

Secara umum, *encapsulant* dianggap sebagai insulasi fungsional dan harus memiliki sifat insulasi yang cukup untuk menjaga jarak. Sifat teknis untuk *encapsulant* harus sesuai untuk penggunaan yang dimaksud. Khususnya:

- rentang nilai dari temperatur pengoperasian harus mencakup rentang temperatur dari penggunaan yang dimaksud;
- tahanan insulasi dan kekuatan dielektrik harus sesuai untuk penggunaan yang dimaksud.

Kesesuaian diperiksa dengan melalui rangkaian uji IEC 61730-2.

Sebagai bagian dari koordinasi insulasi, beberapa dimensi minimum dapat dikategorikan ulang jika *encapsulant* telah menunjukkan sifat-sifat:

- kelompok material yang ditetapkan sebagaimana ditentukan oleh rating CTI menurut IEC 60112 (6.6.3.3);
- rating *flammability* minimal HB menurut IEC 60695-11-10 (6.6.4.4).

### **6.3.11 Diode bypass**

Diode *bypass* harus dinilai mampu menahan arus dan tegangan sesuai tujuan penggunaannya. Kesesuaiannya diperiksa dengan uji termal diode *bypass* (MST 25), uji ketahanan *hot-spot* (MST 22), uji fungsi diode *bypass* (MST 07), dan inspeksi visual (MST 01).

## **6.4 Koneksi mekanis dan elektromekanis**

### **6.4.1 Umum**

Subpasal 6.4 ini mendefinisikan persyaratan minimum untuk koneksi mekanis yang memberikan stabilitas mekanis modul FV (misalnya dengan rangka) maupun koneksi yang menyediakan fungsi mekanis dan listrik (misalnya melalui ikatan ekuipotensial).

Sambungan mekanis yang biasanya ditemukan dalam modul FV adalah sebagai berikut:

- koneksi dalam rangka;
- antarmuka pemasangan modul FV seperti rangka atau *backrail* ke kaca, atau lembaran belakang melalui perekat (silikon, karet, dan lain-lain);
- rangka untuk menjepit sistem pemasangan;
- sarana untuk ikatan ekuipotensial;
- sarana untuk pemasangan *junction box* ke modul FV (misalnya silikon, perekat, dan lain-lain); dan
- koneksi mekanis dalam laminasi.

Koneksi mekanis harus mampu untuk menahan stres termal, mekanis, dan lingkungan yang terjadi dalam penggunaan akhir tanpa mengurangi keutuhan koneksi di bawah tingkat aman.

Kesesuaian diperiksa dengan inspeksi (MST 01) dan selama uji beban mekanis (MST 34), uji kerusakan modul (MST 32), uji *creep* pada material (MST 37), dan, jika berlaku, kontinuitas uji ikatan ekuipotensial (MST 13). Modul Kelas 0 (misal untuk penggunaan di area akses terbatas) tidak diharuskan lulus uji kerusakan modul (MST 32).

Persyaratan material individual dijelaskan dalam 6.5. Bagian yang dimaksudkan untuk dilepas harus hanya dapat dilepaskan dengan bantuan alat. Tutup yang dipasang tanpa sekrup harus memiliki satu atau beberapa fitur yang dapat dideteksi, misalnya ceruk, yang memungkinkan penerapan alat untuk melepas tutup tanpa merusak tutup atau fiturnya. Jika tutup dilepas dengan benar, seharusnya alat tidak bersentuhan dengan bagian bertegangan.

Untuk koneksi mekanis, gesekan antar permukaan dengan sendirinya, seperti tekanan pegas sederhana, tidak dapat diterima sebagai satu-satunya cara untuk mencegah berputarnya atau kendurnya suatu komponen.

Sifat fisik atau konstruksi yang memberikan gangguan atau kesesuaian bentuk untuk mencegah pergerakan atau rotasi komponen yang tidak diinginkan memenuhi persyaratan ini.

#### 6.4.2 Koneksi sekrup

Jika kegagalan sekrup dan/atau koneksi mekanis dapat menyebabkan modul FV menjadi tidak aman, sekrup dan koneksi mekanis tersebut harus tahan terhadap tekanan mekanis yang terjadi dalam penggunaan normal. Sekrup tidak boleh terbuat dari material yang lunak atau rentan terhadap *creep*.

CONTOH 1 Seng dan beberapa tingkat aluminium merupakan bahan lunak.

Sekrup yang dioperasikan untuk tujuan pemeliharaan tidak boleh terbuat dari material insulasi jika pengantiannya dengan sekrup metal dapat merusak insulasi tambahan atau insulasi yang diperkuat.

Sekrup digunakan untuk memberikan stabilitas dan kontinuitas mekanis untuk ikatan ekuipotensial, misalnya sekrup pengencang dalam *frame* dan komponen lain, harus sesuai dengan persyaratan dalam paragraf pertama pada 6.4.2. Setidaknya satu sekrup per koneksi mekanis elektrik harus memastikan koneksi elektrik di antara komponen metalik.

Kesesuaiannya diperiksa dengan inspeksi (MST 01) dan uji sambungan sekrup umum (MST 33a).

Sekrup yang digunakan untuk koneksi mekanis dan elektrik dengan diameter nominal kurang dari 3 mm harus menyekrup ke dalam metal.

Untuk sekrup yang digunakan pada koneksi mekanis dan elektrik, dua ulir penuhnya harus menyatu dengan metal.

Koneksi yang disekrup dan koneksi tetap lainnya di antara berbagai bagian komponen modul FV harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak lepas akibat torsi, stres pembengkokan, vibrasi, dan lain-lain, seperti yang dapat terjadi dalam penggunaan normal.

CONTOH 2 Menyolder, mengelas, *lock nuts*, dan menyekrup adalah cara untuk mencegah kendurnya koneksi.

Kesesuaiannya diperiksa dengan inspeksi (MST 01) dan uji sekrup pengunci (MST 33b).

### 6.4.3 Paku keling

Paku keling yang berfungsi ganda sebagai sambungan elektrik dan mekanis secara bersamaan harus dikunci agar tidak kendur. *Shank* yang tidak berbentuk lingkaran atau *notch* yang sesuai sudah cukup dan dapat digunakan.

### 6.4.4 *Thread-cutting screws*

*Thread-cutting screws* dan *self-tapping screws* harus tidak digunakan untuk penyambungan bagian yang menghantarkan arus jika terbuat dari metal yang lunak atau rentan terhadap *creep*, seperti seng atau aluminium.

*Thread-forming screws* (sekrup lembaran metal) tidak boleh digunakan untuk menyambung bagian yang membawa arus, kecuali sekrup tersebut menjepit bagian ini secara langsung dan bersentuhan satu sama lain serta dilengkapi dengan alat pengunci yang sesuai.

*Thread-cutting (self-tapping) screws* harus tidak digunakan untuk menyambung bagian yang membawa arus, kecuali menghasilkan ulir sekrup standar mesin bentuk utuh. Namun, sekrup jenis terakhir harus tidak digunakan jika kemungkinan besar akan dioperasikan oleh pengguna atau instalatur.

*Thread-cutting* dan *thread-forming screws*, yang digunakan untuk memberikan kontinuitas ikatan ekuipotensial, harus berbentuk sedemikian rupa sehingga tidak perlu mengganggu koneksi dalam penggunaan normal.

Untuk ikatan ekuipotensial, satu sekrup diperbolehkan jika dua ulir utuh mengikat metal.

### 6.4.5 Kesesuaian bentuk/tekanan/kekencangan

Kesesuaian bentuk/tekanan/kekencangan komponen metalik yang tidak terikat secara ekuipotensial harus dihubungkan secara elektrik.

CONTOH Sambungan sudut pada *frame* metalik merupakan sambungan tipikal yang tidak secara terpisah terikat secara ekuipotensial.

Kesesuaian diperiksa dengan inspeksi (MST 01), uji kerusakan modul (MST 32), uji beban mekanis statis (MST 34), dan uji kontinuitas ikatan ekuipotensial (MST 13) yang dilakukan sebelum dan setelah uji MST 32 dan MST 34.

### 6.4.6 Koneksi dengan perekat

Koneksi tipikal dengan perekat yang dibuat selama produksi modul dan merupakan subjek 6.4.6 digunakan untuk:

- pemasangan *junction box*;
- pemasangan *backrails* atau *frames*;
- pengencangan lembaran belakang dan/atau lembaran depan ke segel tepi;
- pengencangan lembaran belakang dan/atau lembaran depan ke *encapsulant*;
- pengencangan modul pada substrat yang diandalkan untuk penyangga;
- dan lain-lain.

Untuk modul fleksibel, modul tersebut harus dipasang sesuai dengan dokumentasi pabrikan dengan substrat dan bahan perekat/pemasangan yang ditentukan selama pengujian. Jika penerapan yang ditentukan pabrikan memperbolehkan pemasangan dalam kondisi

penyangga yang kaku atau fleksibel, pengujian harus dilakukan pada kondisi terburuk. Substrat spesifik yang melekat pada modul dalam uji harus dicatat dalam dokumentasi.

Kesesuaian diperiksa dengan uji IEC 61730-2:2023, Gambar 1.

Adhesi polimer yang diandalkan untuk insulasi ke lapisan insulasi lain harus sesuai untuk penerapannya.

Jika koneksi dengan perekat dianggap sebagai sambungan tersemen, persyaratan sesuai dengan 6.6.4.3 harus dipenuhi.

#### **6.4.7 Koneksi lainnya**

Koneksi lainnya seperti, sebagai contoh, koneksi yang dilas atau disolder harus diinvestigasi dengan inspeksi visual (MST 01).

Koneksi lainnya yang ditetapkan untuk ikatan ekuipotensial harus diperiksa dengan uji kontinuitas ikatan ekuipotensial (MST 13).

Material dan proses untuk menghasilkan koneksi harus sesuai untuk tujuan penggunaan.

CATATAN Panduan lebih lengkap tentang pemeriksaan sambungan yang disolder dapat ditemukan dalam IEC 61191-1.

### **6.5 Material**

#### **6.5.1 Umum**

Subpasal 6.5 ini mendefinisikan persyaratan untuk material yang digunakan dalam modul FV. Kesesuaian umum diperiksa dengan uji sesuai IEC 61730-2.

Pemilihan material tidak terbatas pada material yang terdaftar dalam subpasal 6.5 ini. Material yang tidak konduktif seperti material kaca atau keramik juga dapat digunakan sebagai material insulasi. Untuk keperluan pembentukan dimensi, material tidak konduktif apapun boleh dianggap sebagai isolator asalkan kesesuaian untuk persyaratan 6.6 harus diikuti.

#### **6.5.2 Material polimerik**

##### **6.5.2.1 Umum**

Material polimerik harus mampu bertahan lama dan aman terhadap stres listrik, mekanis, termal, lingkungan, dan korosif yang terjadi dalam penerapan, dan harus tahan terhadap degradasi sifat listrik dan mekanis.

Subpasal 6.5.2.2 hingga 6.5.2.4 menjelaskan persyaratan umum dan metode uji. Untuk beberapa komponen, metode untuk memenuhi persyaratan ini diberikan dalam Standar Internasional tersendiri. Agar modul FV memenuhi persyaratan Standar ini, komponen tersebut harus dievaluasi dengan metode dan memenuhi persyaratan yang dijelaskan dalam dokumen yang berlaku pada tingkat komponen, yaitu:

- IEC 62788-2-1 untuk lembaran depan dan lembaran belakang;
- IEC 62790 untuk *junction box* modul FV;
- IEC 62852 untuk konektor penerapan DC dalam sistem FV;

- IEC 62930 (atau EN 50618 untuk tipe 131) untuk kabel listrik pada sistem FV.

### **6.5.5.2 Material polimerik yang digunakan sebagai insulasi elektrik**

#### **6.5.2.2.1 Umum**

Material polimerik dapat memiliki berbagai fungsi insulasi, misalnya sebagai insulasi pada bagian luar dan insulasi antara:

- bagian bertegangan internal dan bagian konduktif yang dapat diakses;
- bagian bertegangan dan permukaan yang dapat diakses;
- bagian bertegangan internal pada potensial yang berbeda.

Material insulasi yang menjalankan lebih dari satu fungsi harus memenuhi seluruh persyaratan yang berlaku. Jika terdapat beberapa persyaratan serupa, persyaratan yang paling ketat akan berlaku.

Material yang berfungsi sebagai insulasi fungsional harus sesuai menurut 6.6.4.4. Material yang ditetapkan untuk insulasi dalam lapisan tipis harus sesuai untuk penggunaannya menurut 6.6.4.2. Setiap material insulasi harus dievaluasi dalam ketebalan signifikan yang paling tipis yang digunakan untuk penerapan spesifik.

Insulasi harus tidak terganggu oleh stres termal jangka pendek atau jangka panjang yang dapat terjadi dalam proses pabrikasi, transportasi, dan selama pengoperasian normal, oleh stres elektrik dan pelapukan sampai pada batas insulasi tidak memenuhi persyaratan dalam Standar ini.

#### **6.5.2.2.2 Ketahanan terhadap stres elektrik**

Material yang digunakan sebagai insulasi elektrik harus tahan terhadap stres elektrik yang terjadi dalam penerapannya.

Material yang ditetapkan untuk insulasi (RUI) harus memiliki kekuatan kerusakan yang cukup dan harus sesuai dengan 6.6.4.2.

Metode uji untuk lembaran depan dan lembaran belakang dijelaskan dalam IEC TS 62788-2. Untuk material insulasi polimerik lain yang tidak terdaftar dalam 6.5.2, mengacu ke IEC 60243-1 dan IEC 60243-2.

Material polimerik yang merupakan bagian dari *potential tracking path* harus tahan terhadap *surface tracking*, sesuai dengan dimensi desain pada 6.6.3.

- Jika tingkat polusi 1 ditunjukkan, lingkungan mikro sedemikian rupa sehingga kelompok material tidak relevan.
- Untuk tingkat polusi yang lebih tinggi, jarak rambat minimum ditentukan berdasarkan kelompok material berdasarkan rating CTI menurut IEC 60112. Untuk material insulasi polimer tanpa rating CTI, diterapkan 150% dari jarak rambat kelompok material III. Untuk lembaran depan atau lembaran belakang, uji *lamination protrusion* IEC 62788-2-1 digunakan untuk menetapkan lapisan kelompok materialnya (atau kekurangannya) yang digunakan untuk menentukan rambatan minimum pada 6.6.3.3.

Selain itu, uji modul FV pada IEC 61730-2 berikut berlaku:

- uji insulasi (MST 16) sebelum dan sesudah prakondisi;

- uji arus bocor (MST 17);
- uji tegangan impuls (MST 14).

#### 6.5.2.2.3 Ketahanan terhadap stres termal – RTE (RTI) atau TI (mekanis/elektris)

Material yang digunakan sebagai RUI harus memiliki RTE, RTI atau TI minimum yang sesuai dengan IEC 60216-5 atau IEC 60216-1 setidaknya 90 °C. Untuk memastikan bahwa sifat elektrik dan mekanis dimiliki selama masa pakai yang diharapkan, nilai TI dan RTE (RTI) harus dievaluasi sebagai sifat mekanis dan elektrik menurut IEC 60216-2.

Nilai RTI relevan yang dievaluasi sesuai dengan UL 746B diperbolehkan sebagai alternatif RTE.

#### 6.5.2.2.4 Ketahanan terhadap stres lingkungan

Material polimer harus tahan terhadap stres lingkungan yang terjadi selama penerapan.

Penuaan yang dipercepat digunakan untuk memverifikasi kemampuan material untuk menahan stres lingkungan yang disimulasikan termasuk panas, kelembapan, dan radiasi sinar UV. Ketahanan material harus diperiksa kesesuaiannya dengan IEC 61730-2 pada tingkat modul. Komponen harus sesuai dengan persyaratan dalam Standar Internasional masing-masing yang berlaku.

Uji penuaan biasanya dikombinasikan dengan inspeksi visual serta uji material sebelum dan sesudah paparan terhadap faktor stres spesifik, untuk menilai perubahan karakteristik material mekanis dan elektrik yang menyebabkan bahaya keselamatan.

#### 6.5.2.3 Flammability

Modul FV dapat terpapar pada kondisi kebakaran eksternal selama masa pakainya. Oleh karena itu, modul harus diuji untuk ketahanan api terhadap paparan sumber api yang berasal dari luar modul FV. Sumber tersebut termasuk bangunan tempat modul FV diinstal atau yang diintegrasikan; juga dapat berasal dari bangunan yang berdekatan. Persyaratan ketahanan api untuk modul FV yang ditujukan untuk dipasang di bangunan ditentukan dalam kode bangunan lokal atau nasional.

BAPV dan BIPV tunduk pada persyaratan keselamatan khusus terkait kebakaran yang berasal dari kode bangunan nasional. Persyaratan dasar untuk keselamatan kebakaran belum diselaraskan secara internasional. Sehingga tidak dapat didefinisikan persyaratan umum mengenai topik ini dalam Standar ini.

CONTOH BIPV dan BAPV dapat berfungsi sebagai atap yang menutup material, elemen untuk integrasi bangunan atau dipasang pada bangunan.

Bagian polimerik eksternal modul FV yang kerusakannya dapat mengganggu keselamatan harus memenuhi semua persyaratan tambahan berikut:

- kelas *flammability* minimum: V-1 menurut IEC 60695-11-10, semua bagian polimer eksternal kecuali insulasi dalam lapisan tipis (tercakup hanya oleh MST 24);
- uji penyalaan (MST 24) pada penerapan akhir (baik pada tingkat laminasi atau modul FV);
- bagian polimerik yang bukan merupakan komponen laminasi yang kerusakannya dapat mengganggu keselamatan modul FV dievaluasi dengan uji penyalaan tingkat modul MST 24.

CATATAN Bagian tersebut juga tunduk pada persyaratan kode lokal tambahan.

## RSNI3 IEC 61730-1:2023

Untuk material polimer antara dua bagian potensial berbeda, jarak internal boleh dikategorikan ulang seperti yang dijelaskan dalam 6.6.4.4 jika *encapsulant* memiliki HB minimum dalam uji *flammability* sesuai dengan IEC 60695-11-10, atau metode untuk verifikasi jarak ditetapkan dalam proses produksi.

### 6.5.2.4 Material polimerik yang kaku digunakan untuk fungsi mekanis

Material polimerik kaku yang digunakan untuk fungsi mekanis (misalnya rangka polimer, *bracket* terintegrasi, rel belakang) harus lulus uji seperti yang dijelaskan di bawah ini.

- 1) Kekuatan mekanis pada temperatur rendah, IEC 62790:2020, 5.3.8 diikuti MST 01 (inspeksi visual) IEC 61730-2.
- 2) Uji ketahanan cuaca, IEC 62790:2020, 5.3.11 diikuti MST 01 (inspeksi visual) IEC 61730-2.
- 3) Kelas *flammability*, IEC 60695-11-10 (minimum V-1).
- 4) Uji tekan bola, IEC 60695-10-2 (90 °C, diameter < 2 mm).
- 5) RTI/RTE/TI ( $\geq 90$  °C), IEC 60216-5 (hanya bagian mekanis), IEC 60216-6 (hanya bagian mekanis), UL 746B (hanya mekanis yang berdampak).

### 6.5.3 Material metalik

#### 6.5.3.1 Umum

Komponen metalik dalam modul FV harus didesain agar tahan terhadap korosi minimum kategori atmosferik tingkat C2 seperti yang ditentukan di Tabel B.1 dalam ISO 9224:2012, Lampiran B. Tingkat proteksi dari korosi yang lebih tinggi (C3 atau C4) diperlukan tergantung pada lokasi modul FV diinstal.

Sesuai dengan IEC 60950-1, bagian metalik yang didesain untuk penerapan pada iklim dengan kondisi basah atau lembap harus tidak bersentuhan dengan bagian metalik lainnya jika potensial elektrokimianya berbeda lebih dari 600 mV. Perbedaan potensial elektrokimia yang lebih besar dari batas ini hanya diperbolehkan jika titik kontak antara material metalik yang berbeda didesain untuk tetap kering. Kombinasi material yang terdaftar dalam Tabel J.1 IEC 60950-1:2005 berfungsi sebagai panduan untuk menentukan potensi elektrokimia umum antara dua material. Potensi elektrokimia harus ditentukan untuk setiap pasangan material tertentu.

Besi atau baja ringan sebagai bagian dari produk harus dilapisi, dicat, atau dilapisi enamel untuk proteksi terhadap korosi. Proteksi dari korosi minimum setidaknya harus setara dengan *coating* seng dengan ketebalan 0,015 mm. Tepian yang digunting atau dipotong sederhana dan lubang sebagai fitur pada bagian metalik yang dilindungi tidak perlu diberi perlindungan tambahan, asalkan kemungkinan korosi pada fitur ini tidak mengganggu ikatan mekanis, pemasangan, atau kinerja struktural modul FV.

Kesesuaian diperiksa dengan inspeksi (MST 01).

#### 6.5.3.2 Bagian pembawa arus

Dalam pengoperasian normal, bagian pembawa arus harus memiliki kekuatan mekanis yang cukup dan konduktivitas listrik. Jika kondisi lingkungan dapat menyebabkan korosi, material pembawa arus (berbahan dasar metal, polimer, dll.) harus diproteksi terhadap korosi, misalnya dengan *coating*.

Jika bagian pembawa arus terdiri dari metal yang dilapisi untuk proteksi terhadap korosi, *coating* tersebut harus mampu mencegah korosi yang memenuhi persyaratan dari salah satu ISO 1456, ISO 1461, ISO 2081, atau ISO 2093. Jika bagian pembawa arus dapat menerima stres akibat abrasi, bagian lapisan metalik tidak diperbolehkan.

Oleh karena itu, material lain harus diproteksi.

#### 6.5.4 Bahan perekat

Bahan perekat harus sesuai untuk penerapannya. Kesesuaiannya diperiksa dengan uji yang relevan dari IEC 61730-2, termasuk uji kekuatan *lap shear* (MST 36), uji pengelupasan (MST 35), uji kekuatan terminasi (MST 42), uji beban mekanis (MST 34), dan inspeksi visual (MST 01), uji aksesibilitas (MST 11), uji arus bocor basah (MST 17) urutan sebelum dan sesudah pengujian, jika memungkinkan.

Jika bahan perekat diandalkan untuk insulasi (RUI) maka harus memenuhi persyaratan 6.5.2.2.3

### 6.6 Proteksi terhadap kejutan listrik

#### 6.6.1 Umum

Modul FV harus diberikan proteksi yang cukup terhadap kontak dengan bagian bertegangan yang berbahaya dan tidak boleh menimbulkan risiko kejutan listrik.

#### 6.6.2 Proteksi terhadap aksesibilitas ke bagian bertegangan yang berbahaya

##### 6.6.2.1 Umum

Modul FV harus disusun untuk memberikan proteksi yang memadai terhadap aksesibilitas ke bagian bertegangan yang berbahaya (>35 V DC).

Untuk modul FV Kelas 0, bagian yang dapat diakses harus dipisahkan dari bagian bertegangan yang berbahaya setidaknya dengan insulasi dasar.

Modul FV Kelas II harus disusun dan ditutup sedemikian rupa sehingga hanya bagian yang dipisahkan dari bagian bertegangan yang berbahaya dengan insulasi ganda atau insulasi yang diperkuat yang dapat diakses.

Dalam modul FV Kelas III, bagian bertegangan tidak dianggap berbahaya, sehingga tidak perlu dipisahkan dari bagian yang dapat diakses. Untuk memastikan fungsionalitas dan proteksi yang memadai terhadap busur api pencahayaan yang berbahaya, bagian bertegangan dari polaritas yang berbeda harus dipisahkan setidaknya dengan insulasi fungsional.

Kesesuaiannya diperiksa dengan inspeksi visual (MST 01) dan uji aksesibilitas (MST 11).

Material polimer yang digunakan untuk memberikan proteksi terhadap aksesibilitas bagian bertegangan yang berbahaya melalui *enclosure*, barrier insulasi atau RUI harus memenuhi persyaratan 6.5.2.

##### 6.6.2.2 Proteksi dengan menggunakan *enclosure* dan barrier insulasi

*Enclosure* atau barrier insulasi harus didesain sedemikian rupa sehingga, setelah pemasangan, bagian bertegangan tidak dapat diakses. Persyaratan ini harus dipenuhi meskipun terdapat perubahan bentuk pada *housing* dan/atau penutup sebagai akibat dari

stres mekanis dan termal, yang dapat terjadi selama penggunaan normal. Selain itu, tingkat proteksi *housing* harus tidak terganggu oleh kemungkinan perubahan bentuk ini.

Bagian *enclosure* dan barrier insulasi yang memberikan proteksi sesuai dengan persyaratan ini tidak boleh dilepas tanpa menggunakan alat. Tutup yang dipasang tanpa sekrup harus memiliki satu atau beberapa fitur yang dapat dideteksi, misalnya ceruk, yang memungkinkan penerapan alat untuk melepas tutup. Jika tutup dilepas dengan benar, seharusnya alat tidak bersentuhan dengan bagian bertegangan.

Barrier insulasi harus dipertahankan pada tempatnya dan tidak boleh dipengaruhi oleh pengaruh yang diperkirakan selama pengoperasian normal sejauh sifat elektrik dan mekanis yang diperlukan berada di bawah nilai minimum yang dapat diterima untuk penerapannya.

Bagian harus dicegah dari kekenduran atau perubahan arah, jika kedua hal tersebut dapat mengakibatkan risiko kebakaran, kejutan elektrik, atau cedera personal.

**6.6.2.3 Proteksi dengan menggunakan insulasi bagian bertegangan**

Material insulasi yang memberikan insulasi tunggal di antara bagian bertegangan dan bagian metalik yang dapat diakses atau antara bagian bertegangan non-insulasi yang potensi listriknya tidak sama harus memiliki ketebalan yang memadai dan dari bahan yang sesuai untuk penerapan.

Setiap bagian konduktif, yang tidak dipisahkan oleh setidaknya insulasi dasar dari bagian yang dapat beroperasi pada potensial di atas 35 V DC, dianggap sebagai bagian bertegangan. Bagian metalik yang dapat diakses dianggap konduktif jika permukaannya tidak ditutupi atau ditutupi dengan lapisan insulasi yang tidak sesuai dengan persyaratan insulasi dasar.

Gambaran umum insulasi yang diperlukan diberikan pada Tabel 2, berdasarkan IEC 61140.

**Tabel 2 – Jenis insulasi yang diperlukan**

Kelas Proteksi (dari IEC 61140)	Proteksi yang diperlukan terhadap kontak langsung	Insulasi antara bagian bertegangan dan bagian metalik yang dapat diakses	Insulasi antara bagian bertegangan dan permukaan yang dapat diakses	Insulasi antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul FV
<b>Kelas 0</b>	Ya	B	B	F
<b>Kelas II</b>	Ya	R	R	F
<b>Kelas III</b>	Tidak	F	F	F

F: insulasi fungsional.  
 B: insulasi dasar.  
 R: insulasi yang diperkuat atau insulasi ganda.

Penunjukan jenis insulasi dapat menerapkan persyaratan material dan jarak yang terkoordinasi, seperti yang dijelaskan dalam 6.6.3.

Sel surya berdekatan yang dihubungkan secara seri tidak memiliki persyaratan insulasi khusus jika disipasi daya maksimum antara dua sel yang berdekatan kurang dari 15 W (berdasarkan

*rating* sel surya).

CATATAN Untuk sel c-Si khusus dengan tegangan rangkaian terbuka ~0,7 V dan arus hubung-singkat ~9,0 A, kriteria di atas terpenuhi (6,3 W).

### 6.6.3 Koordinasi insulasi

#### 6.6.3.1 Umum

Untuk keperluan koordinasi insulasi, jarak bagian bertegangan dan pemilihan material saling terkait dan harus dipertimbangkan dalam koordinasi satu sama lain.

IEC 60664-1 adalah standar referensi untuk mengevaluasi nilai minimum yang diperlukan dan untuk mengukur jarak ruang dan jarak rambat yang ada serta memberikan persyaratan umum koordinasi insulasi yang digunakan di Standar ini. Persyaratan lebih lanjut dan penjelasan tentang bagaimana persyaratan dalam Standar ini diperoleh tersedia pada Lampiran B.

Persyaratan untuk jarak ruang dan jarak rambat diberikan di bagian atas Tabel 3 untuk modul Kelas II, dan Tabel 4 untuk modul Kelas 0.

Untuk modul Kelas III (tegangan sistem  $\leq 35$  V), koordinasi insulasi memerlukan setidaknya insulasi fungsional antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda dalam modul FV, dengan nilai jarak rambat dan jarak ruang dari Tabel 4. DTI tidak diperlukan.

Detail lebih lanjut mengenai faktor yang memengaruhi seperti tingkat polusi, kelompok material, jarak rambat, dan jarak ruang diberikan dalam pasal berikut. Contoh kasus penggunaan spesifik diberikan pada Lampiran C.

Persyaratan yang tertulis di sini untuk jarak ruang dan jarak rambat tidak berlaku untuk dimensi inheren dalam komponen yang ditentukan.

Terlepas dari dimensi inheren dalam modul dan komponen yang ditentukan, persyaratan untuk koordinasi insulasi juga harus dipenuhi setelah pemasangan dan terminasi komponen. Jadi, harus diverifikasi bahwa setelah *junction box* dipasang, pita diarahkan sedemikian rupa sehingga jarak antara pita dan permukaan luar yang dapat diakses memenuhi persyaratan jarak minimum. Dalam hal lembaran belakang yang mengandung lapisan aluminium, jarak ruang dan jarak rambat antara lembaran belakang dan pita harus dipenuhi (lihat Gambar C.8).

Tabel 3 – Jarak ruang (cl) minimum, jarak rambat (cr), dan jarak lewat insulasi solid untuk modul FV Kelas II

Tegangan <sup>b</sup> :	≤35 VDC <sup>e</sup>			100 V DC			150 V DC			300 V DC			600 V DC			1.000 V DC			1.500 V DC								
	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III						
Kelompok bahan																											
Jarak ruang <sup>a,b</sup> dan jarak rambat <sup>g</sup> (mm)																											
1) Insulasi Ganda/Insulasi yang Diperkuat <sup>f</sup>	1	0,5	1,2	1,7	2,4	1,5	0,5	0,6	1,4	5,5	3,0	1,6	2,2	3,1	8,0	6,1	8,6	12,0	14,0	10,0	14,2	20,0	19,4	15,0	20,8	30,0	
	2	0,5	1,2	1,7	2,4	1,5	0,5	0,6	1,4	5,5	3,0	1,6	2,2	3,1	8,0	6,1	8,6	12,0	14,0	10,0	14,2	20,0	19,4	15,0	20,8	30,0	
2) Insulasi Dasar/Fungsional: Jarak antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul <sup>c,d</sup>	1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,7	1,7	0,3	0,3	0,3	0,3	5,5	3,0	4,3	6,0	8,0	5,0	7,1	10,0	11,0	7,5	10,4	15,0	
	2	0,2	0,6	1,0	1,2	0,5	0,7	1,0	1,4	1,5	0,8	1,1	1,6	3,0	1,5	2,1	3,0	3,0	4,3	6,0	8,0	5,0	7,1	10,0	11,0	7,5	10,4
Jarak melalui bahan (mm), menurut tegangan																											
3) DTFI – Insulasi Fungsional: jarak antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda (satu enkapsulan, lihat Gambar C.3)																											
a) tanpa pengujian tambahan		0,2			0,5			1,5			3,0			5,5			8,0			11,0							
b) dengan pengujian tambahan (6.6.4.4)		0,03			0,03			0,3			0,7			1,7			3,2			5,2							
4) Lapis tipis (DTI)		0,03			0,03			0,03			0,03			0,06			0,15			0,3							
5) Sambungan tersemen		0,2			0,3			0,5			1,0			1,5			2,0			3,5							

- a. Jika jarak ruang terukur antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar yang dapat diakses kurang dari nilai minimum (tetapi lebih besar dari atau sama dengan jarak rambat), uji insulasi dan uji tegangan impuls IEC 61730-2 MST 57 harus memastikan bahwa jaraknya memadai
- b. Tegangan relevan yang berlaku adalah tegangan sistem, kecuali untuk baris 2). Untuk tegangan pada nilai tengah, interpolasi dapat digunakan.
- c. Untuk baris 2), hal ini dimaksudkan untuk kasus dengan dua enkapsulan yang berbeda. Tegangan kerja antara komponen dengan potensial yang berbeda pada STC bersifat relevan; untuk modul dua sisi, gunakan aBSI.
- d. Jika jarak ruang yang terukur di antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda kurang dari nilai minimum (tetapi lebih besar atau sama dengan jarak rambat), uji insulasi MST 57 harus memverifikasi bahwa jarak memadai dan bahaya kebakaran harus dikurangi.
- e. Untuk desain di mana tegangan kerjanya di bawah 20 V, nilai langsung dari IEC 60664-1 harus diterapkan.
- f. Untuk baris 1) dalam kasus di mana insulasi ganda berasal dari beberapa bagian jalur pelacakan (kelompok bahan atau tingkat polusi yang berbeda), jarak untuk setiap jalur pelacakan harus memenuhi persyaratan insulasi dasar menurut baris 1) Tabel 4.
- g. Jika kelompok bahan belum ditentukan, nilai jarak rambat minimum adalah 150% dari nilai untuk kelompok bahan III (hanya untuk tingkat polusi 2).

Tabel 4 – Jarak ruang (cl) minimum, jarak rambat (cr), dan jarak melalui insulasi solid untuk modul FV Kelas 0

Tegangan b:	≤35 V DC °			100 V DC			150 V DC			300 V DC			600 V DC			1.000 V DC			1.500 V DC						
	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III	cl	cr	III				
																						Kelompok bahan			
	Jarak ruang <sup>ab</sup> dan jarak rambat <sup>g</sup> (mm)																								
1) Insulasi Dasar:	1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	1,7	3,2	5,2	11,0	7,5	10,4	15,0								
Jarak antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar permukaan <sup>a</sup>																									
ATAU	2	0,2	0,6	1,0	1,2	0,5	0,7	1,0	1,4	1,5	0,8	1,1	1,6	3,0	1,5	2,1	3,0	5,5	3,0	4,3	6,0	8,0	5,0	7,1	10,0
2) Jarak antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul FV <sup>c,d</sup>																									
	Jarak melalui bahan (mm), menurut tegangan																								
3) DTFI – Insulasi Fungsional: jarak antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda (satu enkapsulan, lihat Gambar C.3)																									
a) Tanpa pengujian tambahan	0,2			0,5	1,5	3,0	5,5	8,0	11,0																
b) Dengan pengujian tambahan (6.6.4.4)	0,2			0,3	0,3	0,7	1,7	3,2	5,2																
4) Lapis tipis (DTI)	tidak berlaku			0,03	0,03	0,03	0,06	0,15	0,3																
5) Sambungan tersemen	tidak berlaku			0,2	0,25	0,5	0,7	1,0	1,7																

- a. Jika jarak ruang terukur antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar yang dapat diakses kurang dari nilai minimum (tetapi lebih besar dari atau sama dengan jarak rambat), uji insulasi dan uji tegangan impuls IEC 61730-2 MST 57 harus memastikan bahwa jaraknya memadai
- b. Tegangan relevan yang berlaku adalah tegangan sistem, kecuali untuk baris 2). Untuk tegangan pada nilai tengah, interpolasi dapat digunakan.
- c. Untuk baris 2), hal ini dimaksudkan untuk kasus dengan dua enkapsulan yang berbeda. Tegangan kerja antara komponen dengan potensial yang berbeda pada STC bersifat relevan; untuk modul dua sisi, gunakan aBSI.
- d. Jika jarak ruang yang terukur di antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda kurang dari nilai minimum (tetapi lebih besar atau sama dengan jarak rambat), uji insulasi MST 57 harus memverifikasi bahwa jarak memadai dan bahaya kebakaran harus dikurangi.
- e. Untuk desain di mana tegangan kerjanya di bawah 20 V, nilai langsung dari IEC 60664-1 harus diterapkan.
- f. Untuk baris 1) dalam kasus di mana insulasi ganda berasal dari beberapa bagian jalur pelacakan (kelompok bahan atau tingkat polusi yang berbeda), jarak untuk setiap jalur pelacakan harus memenuhi persyaratan insulasi dasar menurut baris 1) Tabel 4.
- g. Jika kelompok bahan belum ditentukan, nilai jarak rambat minimum adalah 150% dari nilai untuk kelompok bahan III (hanya untuk tingkat polusi 2).

### 6.6.3.2 Faktor yang memengaruhi

#### 6.6.3.2.1 Tingkat polusi

Secara umum, menurut IEC 60664-1, lingkungan makro untuk modul FV secara keseluruhan dianggap sebagai tingkat polusi 3, dan dengan proteksi minimum terhadap masuknya air dan debu setara dengan IP55 sebagaimana didefinisikan oleh IEC 60529, lingkungan mikro untuk evaluasi jarak rambat dan jarak ruang minimum dalam modul FV dapat dianggap sebagai tingkat polusi 2. Kesesuaian terhadap persyaratan minimum IEC 61730-2 sudah cukup untuk membuktikan hal ini.

Debu dan/atau uap air yang masuk selama proses pembuatan harus tidak merusak sifat insulasi. Ketentuan untuk tingkat polusi 1 boleh diterapkan jika persyaratan tambahan terpenuhi menurut IEC 61730-2, rangkaian uji B.1. Selain itu, tindakan pencegahan harus dilakukan untuk mencegah kekosongan di dalam *encapsulant* yang dapat mengurangi sifat insulasi.

Sehubungan dengan menentukan persyaratan untuk cr dan ci dalam Tabel 3 dan Tabel 4:

- ketentuan untuk tingkat polusi 2 berlaku jika persyaratan minimum IEC 61730-2 terpenuhi;
- ketentuan untuk tingkat polusi 1 boleh diterapkan jika persyaratan tambahan terpenuhi menurut IEC 61730-2, rangkaian uji B.1.

Di dalam *enclosure* (di belakang *gasket* yang dilengkapi IP55) *junction box*, tingkat polusi 2 yang disetujui berlaku. Jika bahan *potting* digunakan untuk mengurangi tingkat polusi menjadi tingkat polusi 1, persyaratan IEC 61730-2 harus dipenuhi.

#### 6.6.3.2.2 Kelompok material

Material insulasi polimer yang dapat menjadi bagian *tracking path* dapat dikategorikan ke dalam kelompok material menggunakan IEC 60112 untuk evaluasi jarak rambat minimum. Dalam Standar ini, kelompok material IIIa dan IIIb digabungkan menjadi satu ke dalam kelompok material III.

Persyaratan untuk jarak rambat tidak berlaku untuk permukaan yang terbukti sebagai sambungan tersemen seperti dalam 6.6.4.3.

#### 6.6.3.3 Jarak rambat

Nilai minimum untuk jarak rambat diberikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 untuk tegangan, kelompok bahan, dan tingkat polusi yang berlaku.

Nilai untuk tingkat polusi 2 harus diterapkan. Jika persyaratan tambahan dari IEC 61730-2, rangkaian uji B.1 terpenuhi, maka persyaratan untuk tingkat polusi 1 dapat digunakan.

Untuk *tracking path* antara dua material yang termasuk dalam dua kelompok material berbeda, atau jika kelompok material berbeda di antara berbagai bagian yang terlibat dalam pengukuran jarak rambat, kelompok material yang lebih tinggi harus dipertimbangkan untuk menetapkan jarak rambat minimum. Uji *lamination protrusion* pada IEC 62788-2-1 boleh digunakan untuk menentukan material yang dievaluasi. Untuk tingkat polusi 1, penunjukan kelompok material tidak diperlukan.

Tegangan relevan untuk jarak antar bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses akan menjadi tegangan sistem (baris 1 pada Tabel 3 dan Tabel 4). Untuk jarak antar bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul FV (baris 2

Tabel 3 dan Tabel 4), tegangan kerja rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) di STC bersifat relevan. Perbedaan tegangan akan bergantung pada lokasi dalam *string* sel, dan tegangan terburuk dalam modul FV dipilih.

Untuk tujuan menentukan jarak ruang atau jarak rambat dari bagian konduktif ke bagian yang dapat diakses, permukaan *enclosure* insulasi yang dapat diakses harus dianggap seolah-olah permukaan tersebut bersifat konduktif, yaitu permukaan tersebut ditutupi oleh lapisan metal di mana pun permukaan tersebut dapat diakses dengan *test finger* standar menurut Gambar 2, pemeriksaan uji B pada IEC 61032:1997. Jarak ini harus memiliki dimensi yang memadai terkait dengan tegangan sistem yang relevan.

Kesesuaian diperiksa dengan uji MST 57 pada IEC 61730-2.

Untuk *junction box*, hal berikut ini berlaku setelah instalasi dan terminasi pita.

- Persyaratan jarak rambat minimum antara bagian bertegangan dengan potensial berbeda di dalam *junction box* harus diverifikasi agar dimensinya sesuai dengan Tabel 3 dan Tabel 4 terkait dengan tegangan kerja yang relevan dengan mempertimbangkan tingkat polusi 2, atau tingkat polusi 1 jika diverifikasi dengan pengujian dalam IEC 61730-2.

Contoh diberikan dalam Gambar C.9 dan Gambar C.10.

#### 6.6.3.4 Jarak ruang

Nilai jarak ruang harus dipenuhi untuk celah udara antara bagian konduktif. Selain itu, nilai jarak ruang harus dipertimbangkan untuk antarmuka yang berpotensi terpisah selama masa pakai dan memberikan celah udara, dan harus diterapkan kecuali persyaratan sambungan tersemen terpenuhi (6.6.4.3).

Nilai jarak ruang yang lebih rendah dari nilai yang dicantumkan dalam Tabel 3 atau Tabel 4 boleh diterima jika modul berhasil melalui uji tegangan impuls yang diikuti uji insulasi. Nilai jarak ruang tidak dapat dikurangi di bawah jarak rambat yang terkait.

Hal ini tidak berlaku untuk komponen terpasang yang harus memenuhi standar yang relevan.

Nilai jarak ruang dalam Tabel 3 dan Tabel 4 dapat digunakan untuk modul FV pada ketinggian hingga dan termasuk 2.000 m di atas permukaan laut. Jika modul FV dan seluruh peralatannya dinilai beroperasi pada ketinggian lebih dari 2.000 m di atas permukaan laut, jarak ruang antara bagian bertegangan yang memiliki potensial berbeda di dalam modul dan antara bagian bertegangan dan bagian luar yang dapat diakses ketika udara memisahkan komponen tersebut (seperti konektor dan *junction box* tanpa *potting*) harus dikalikan dengan faktor yang berlaku sebagaimana tercantum dalam Tabel 5.

Kesesuaian diperiksa dengan uji MST 57 pada IEC 61730-2.

Untuk *junction box*, hal berikut ini berlaku setelah instalasi dan terminasi pita.

- Persyaratan jarak ruang minimum antara bagian bertegangan dengan potensial berbeda di dalam *junction box* harus diverifikasi agar dimensinya sesuai dengan Tabel 3 dan Tabel 4 terkait dengan tegangan kerja yang relevan.

Contoh untuk penggunaan spesifik diberikan dalam Gambar C.9 dan Gambar C.10.

**Tabel 5 – Faktor pengali jarak ruang *rating* peralatan untuk pengoperasian pada ketinggian lebih dari 2.000 m di atas permukaan laut**

Rating ketinggian operasi (m)	Faktor pengali
Hingga 2.000	1,00
2.001 hingga 3.000	1,14
3.001 hingga 4.000	1,29
4.001 hingga 5.000	1,48
5.001 hingga 6.000	1,70
6.001 hingga 7.000	1,95

Contoh ilustratif diberikan dalam Lampiran B.

#### **6.6.4 Jarak lewat insulasi fungsional dan insulasi yang diandalkan**

##### **6.6.4.1 Umum**

Sifat material yang digunakan untuk insulasi elektrik didefinisikan pada 6.5.2.2. Termasuk material yang diandalkan untuk insulasi dalam lapisan tipis (6.6.4.2) dan sambungan tersemem. Yang terakhir adalah kombinasi lapisan RUI yang antarmukanya telah terbukti tersemem (6.6.4.3).

Insulasi fungsional, misalnya *encapsulant*, dipertimbangkan untuk digunakan di antara dua bagian konduktif. Persyaratan untuk material yang digunakan sebagai insulasi fungsional dijelaskan dalam 6.6.4.4.

##### **6.6.4.2 Lapisan tipis – insulasi yang diandalkan**

Untuk insulasi yang terbuat dari material kaca atau keramik lainnya, tidak ada persyaratan tambahan yang berlaku.

Persyaratan desain untuk lembaran depan dan lembaran belakang didefinisikan dalam IEC 62788-2-1.

Untuk material lain yang digunakan sebagai insulasi yang diandalkan, ketebalannya harus diverifikasi dengan uji ketebalan insulasi (MST 04) pada penerapan akhir. Untuk memastikan bahwa proteksi terhadap kejutan elektrik tetap diberikan jika terjadi stres pemutusan, uji insulasi (MST 16) harus dilakukan setelah uji kerentanan potong (MST 12).

Komponen yang digunakan untuk memberikan insulasi dalam lapisan tipis harus memenuhi persyaratan berikut.

Hanya material yang telah didefinisikan sebagai insulasi yang diandalkan (RUI) harus memenuhi persyaratan ketebalan dan kekuatan dielektrik untuk komponen tersebut; persyaratan ini dapat dipenuhi dengan satu lapisan, atau kombinasi beberapa lapisan seperti yang dijelaskan dalam IEC 62788-2-1.

Persyaratan ketebalan (DTI) baris 4) pada Tabel 3 dan Tabel 4 harus dipenuhi (lihat Lampiran C untuk contohnya).

Lapisan RUI yang berkontribusi pada DTI harus memenuhi persyaratan berikut di setiap lokasi,

sebagaimana berlaku untuk setiap kasus yang terdaftar.

- a) Untuk komponen dengan konstruksi lapisan tunggal:
- RTE, RTI, atau TI harus sesuai dengan 6.5.2.2.3.
  - Kekuatan dielektrik sebagaimana yang didefinisikan dalam Tabel 2:  
Kelas II (insulasi yang diperkuat): 2.000 V + 4 kali tegangan sistem;  
Kelas 0 (insulasi fungsional atau dasar): 1.000 V + 2 kali tegangan sistem.
  - Ketebalan minimum harus memenuhi persyaratan lapisan tipis dalam Tabel 3 atau Tabel 4, jika berlaku.
- b) Untuk komponen yang terdiri dari banyak lapisan:  
Setiap lapisan yang memberikan RUI harus memenuhi persyaratan berikut:
- RTI, RTE, atau TI harus sesuai dengan 6.5.2.2.3,  
dan
  - satu lapisan harus memenuhi persyaratan kekuatan dielektrik untuk insulasi yang diperkuat,  
atau
  - setidaknya dua lapisan masing-masing harus memenuhi persyaratan kekuatan dielektrik untuk insulasi dasar (1.000 V + 2 kali tegangan sistem).

Setiap konstruksi multi-lapis penuh harus memenuhi persyaratan berikut:

- Nilai DTI adalah jumlah ketebalan individu dari semua material yang ditetapkan sebagai RUI dan harus sesuai dengan nilai menurut baris 4) "DTI" pada Tabel 3 dan Tabel 4. Ketebalan lapisan yang tidak memenuhi RTI/RTE/TI dikecualikan dari nilai DTI.
- Kekuatan dielektrik konstruksi harus disesuaikan dengan mengambil persentase nilai terukur sama dengan persentase ketebalan lapisan RUI yang menyusun seluruh ketebalan komponen; nilai yang disesuaikan ini harus memiliki kekuatan dielektrik yang sesuai dengan Tabel 2:  
Kelas II (insulasi yang diperkuat): 2.000 V + 4 kali tegangan sistem;  
Kelas 0 atau III (insulasi fungsional atau dasar): 1.000 V + 2 kali tegangan sistem.

#### 6.6.4.3 Sambungan tersemen

Sambungan tersemen terdiri dari dua material yang direkatkan satu sama lain agar tahan lama, yang kesesuaiannya dibuktikan oleh persyaratan di bawah ini. Baris 5) "sambungan tersemen" Tabel 3 atau Tabel 4 berlaku (lihat Lampiran B untuk contoh).

Lapisan dapat berupa lapisan kaca atau polimer. Material polimer untuk bagian insulasi yang disemen harus terbukti sebagai insulasi yang diandalkan dan harus sesuai dengan 6.5.2.

Untuk sambungan tersemen antara dua komponen kaku selain yang digunakan untuk *junction box*, persyaratan berikut harus dipenuhi:

- Inspeksi visual (bagian yang berlaku dari MST 01) untuk memverifikasi bahwa tidak ada

retakan atau rongga pada senyawa insulasi; jika ada, retakan atau lubang tersebut, baik sendiri atau bersama-sama, akan mengurangi jarak rambat melalui sambungan tersebut di bawah nilai yang disyaratkan.

- Uji insulasi (MST 16) dengan menerapkan tegangan uji 1,35 kali lebih tinggi.
- Uji arus bocor basah (MST 17) dengan menerapkan tegangan uji 1,35 kali lebih tinggi.
- Bahan perekat/*sealant* yang terinsulasi listrik, jika berlaku, harus memiliki resistivitas volume yang lebih besar dari  $50 \times 10^6 \Omega \text{ cm}$  (kering) dan lebih besar dari  $10 \times 10^6 \Omega \text{ cm}$  (basah), dengan resistivitas volume yang diukur menurut IEC 62788-1-2, metode A.
- Uji *lap shear* (MST 36) (tidak berlaku untuk *junction box*).
- Untuk sambungan antara bagian kaku dan fleksibel atau antara dua lapisan fleksibel, uji harus mengikuti daftar yang sama, dengan pengecualian bahwa Uji pengelupasan (MST 35) harus menggantikan Uji *lap shear* (MST 36).

Untuk sambungan tersebut antara dua bagian (kaku ke kaku atau kaku ke fleksibel) yang digunakan untuk *junction box*, persyaratan berikut harus dipenuhi:

- Jarak lewat sambungan tersebut pada area perekat *junction box*, IEC 61730-2 (MST 57).

#### **6.6.4.4 Jarak lewat insulasi fungsional**

Insulasi fungsional, misalnya *encapsulant*, boleh digunakan di antara dua bagian konduktif jika tidak ada kemungkinan untuk pelacakan (rambat). Sifat ditetapkan melalui pengujian dasar dalam IEC 61730-2. Nilai minimum untuk jarak lewat insulasi fungsional, DTFI, dicantumkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 baris 3. Hal ini tidak berlaku saat dua *encapsulant* yang berbeda digunakan (lihat Gambar C.3).

Tanpa pengujian lebih lanjut, nilai dari baris 3) a) pada Tabel 3 dan Tabel 4 berlaku.

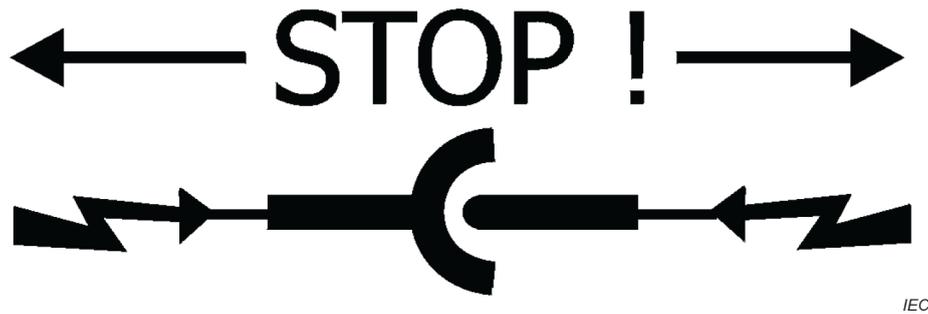
Nilai dalam baris 3) b) harus digunakan jika persyaratan berikut terpenuhi:

Modul lulus uji insulasi MST 57, dan:

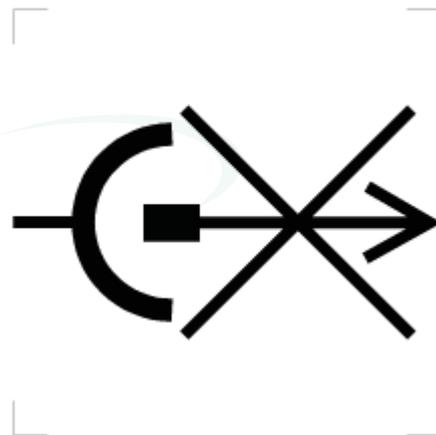
- *encapsulant* memenuhi persyaratan *flammability*, HB minimum menurut IEC 60695-11-10, atau
- metode untuk memverifikasi jarak disertakan dalam proses produksi.

**Lampiran A**  
(normatif)  
**Simbol "Jangan diputus saat ada beban"**

Simbol berikut pada Gambar A.1 dan Gambar A.2 boleh digunakan untuk menunjukkan bahwa konektor FV tidak boleh diputus dalam kondisi bermuatan.



**Gambar A.1 – Simbol "Jangan diputus saat ada beban"**



**Gambar A.2 – Simbol IEC 60417-6070:2011-06: "Jangan diputus saat ada beban"**

**Lampiran B**  
(normatif)  
**Dasar untuk dimensi koordinasi insulasi**

**B.1 Umum**

Persyaratan insulasi untuk modul FV berdasarkan pada persyaratan standar horizontal dalam seri IEC 60664. Standar ini menentukan persyaratan untuk jarak ruang, jarak rambat, dan insulasi solid untuk peralatan berdasarkan kriteria kinerjanya.

Karena hubungan antara sistem yang dijelaskan dalam seri IEC 60664 dan sistem FV sangat kompleks, Lampiran B ini memberikan latar belakang bagaimana persyaratan yang ditetapkan dalam 6.6.3 dan 6.6.4 diperoleh. Jarak rambat dan ruang didasarkan pada IEC 60664-1:2020. Nilai untuk lapisan tipis (DTI) diambil dari IEC 60664-3:2016, Tabel 1.

Nilai untuk jarak melalui sambungan tersemen diambil dari IEC 61558-1.

**B.2 Faktor-faktor yang memengaruhi**

**B.2.1 Umum**

Faktor-faktor berikut ini dipertimbangkan untuk koordinasi insulasi:

- tegangan yang dapat terjadi dalam sistem (tegangan lebih);
- tegangan yang dihasilkan oleh perangkat dalam sistem (tegangan sistem);
- tegangan sistem atau tegangan kerja;
- proteksi individu dan objek (kelas menurut IEC 61140);
- kondisi lingkungan (tingkat polusi); dan
- sifat insulasi (kelompok bahan).

**B.2.2 Kategori tegangan lebih dan tegangan impuls pengenalan**

Kategori tegangan lebih adalah nilai yang menentukan kondisi terkait tegangan lebih transien. Tegangan lebih kategori III berlaku untuk modul FV. Kategori ini digunakan untuk menentukan tegangan impuls pengenalan. Nilai tegangan ini diperoleh dari IEC 60664-1:2020, Tabel F.1 untuk tegangan lebih kategori III.

Dalam seri IEC 61730, tegangan impuls pengenalan digunakan untuk menentukan tingkat uji tegangan impuls dalam IEC 61730-2 (MST 14), dan jarak ruang yang diperlukan dalam SNI IEC 61730-1.

Tegangan impuls pengenalan bergantung pada kategori tegangan lebih dan tegangan yang berlaku untuk jarak ruang yang relevan. Nilai tegangan impuls pengenalan yang diperoleh untuk tegangan lebih kategori III, untuk insulasi dasar dan insulasi yang diperkuat, ditunjukkan pada Tabel B.1.

Tabel 3 dan Tabel 4 Standar ini mempertimbangkan nilai tegangan pengenalan Tabel B.1 tetapi

telah dihitung pada tegangan yang relevan.

**Tabel B.1 – Tegangan impuls pengenalan**

Tegangan pengenalan V DC	Tegangan impuls pengenalan, $U_{ratedIV}$ kV (1,2/50 $\mu$ s)	
	Insulasi dasar	Insulasi yang diperkuat
50	0,8	1,5
100	1,5	2,5
150	2,5	4,0
300	4,0	6,0
600	6,0	8,0
1.000 <sup>a</sup>	8,0	12,0
1.250 <sup>a</sup>	8,0	12,0
1.500	10,0	16,0

CATATAN Nilai diperoleh dari IEC 60664-1:2020, Tabel F.1 untuk tegangan lebih kategori III.  
<sup>a</sup> Nilai untuk tegangan pengenalan 1.250 V sama dengan nilai 1.000 V.

### B.2.3 Tegangan kerja

Tegangan yang relevan akan menjadi tegangan sistem untuk jarak antara bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses (baris 1 Tabel 3 dan Tabel 4). Untuk jarak antar bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul FV (baris 2 dan 3 Tabel 3 dan Tabel 4), tegangan kerja rangkaian terbuka ( $V_{OC}$ ) pada STC adalah relevan. Perbedaan tegangan akan bergantung pada lokasi dalam *string*, dan kasus terburuk dalam modul FV yang dipilih. Kegagalan pembumian tidak dianggap sebagai bagian dari evaluasi tegangan kerja.

### B.2.4 Tingkat polusi

Diambil dari IEC 60664-1:2020, subpasal polusi.

Lingkungan mikro menentukan dampak polusi pada insulasi.

Untuk tujuan evaluasi jarak rambat dan jarak ruang dalam modul FV, tiga tingkat polusi dalam lingkungan mikro dipertimbangkan:

- Tingkat polusi 1  
Tidak ada polusi atau hanya terjadi polusi kering dan non-konduktif. Polusi tidak berpengaruh.
- Tingkat polusi 2  
Hanya polusi non-konduktif yang terjadi kecuali kadang-kadang diperkirakan terjadi konduktivitas sementara yang disebabkan oleh kondensasi.
- Tingkat polusi 3  
Terjadi polusi konduktif atau terjadi polusi non-konduktif kering, yang menjadi konduktif karena kondensasi yang diharapkan.

Lingkungan makro harus diperhatikan saat mempertimbangkan lingkungan mikro. Secara umum, menurut IEC 60664-1, lingkungan makro untuk seluruh modul FV dianggap sebagai

tingkat polusi 3. Lingkungan mikro yang relevan dapat dikurangi dengan pengujian yang sesuai.

Untuk jarak antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar yang dapat diakses, dan antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam modul FV, kondisi untuk tingkat polusi 2 berlaku jika persyaratan dasar IEC 61730-2 terpenuhi, karena persyaratan tersebut cukup untuk menunjukkan minimum proteksi terhadap air dan debu IP55 menurut IEC 60529.

Apabila modul telah lulus pengujian sesuai dengan persyaratan IEC 61730-2, rangkaian pengujian B.1, maka tingkat polusi 1 berlaku, dengan jarak minimum yang berlaku antara bagian konduktif di bagian dalam modul.

Hal ini tidak berlaku untuk komponen terpasang yang harus memenuhi standar yang relevan

### **B.2.5 Material insulasi – grup material**

Uji untuk indeks pelacakan komparatif (CTI) yang sesuai dengan IEC 60112 dirancang untuk membandingkan kinerja berbagai material insulasi di bawah kondisi uji. Ini memberikan perbandingan kualitatif tentang kecenderungan material insulasi yang berbeda untuk membentuk jalur. Nilai yang ditentukan adalah nilai referensi dan berdasarkan pada tegangan uji IEC 60112. Tegangan uji tidak berhubungan dengan tegangan apa pun (tegangan sistem, tegangan kerja, dan lain-lain.) dari modul atau sistem FV, namun didasarkan pada bahan referensi dan tegangan uji IEC 60112.

IEC 60664-1 (dan Standar ini) mengkategorikan material insulasi ke dalam empat grup sesuai dengan indeks pelacakan komparatif (CTI), saat diuji sesuai dengan IEC 60112:

Grup material I	$CTI \geq 600$
Grup material II	$400 \leq CTI < 600$
Grup material IIIa	$175 \leq CTI < 400$
Grup material IIIb	$100 \leq CTI < 175$

Dalam Standar ini, grup material IIIa dan IIIb digabungkan menjadi satu ke dalam grup material III.

### **B.3 Jarak ruang**

Persyaratan untuk evaluasi jarak ruang minimum didasarkan pada persyaratan umum IEC 60664-1.

Nilai jarak ruang pada Tabel 3 dan Tabel 4, kolom "cl", didasarkan pada Tabel B.2, diambil dari IEC 60664-1:2020, dalam kondisi yang disyaratkan (tingkat polusi 1 dan 2, dan nilai minimum dari bidang homogen dari IEC 60664-1), dengan mempertimbangkan tegangan pada Tabel B.1. Nilai untuk insulasi yang diperkuat pada Tabel 3 diperoleh sebagaimana dijelaskan dalam IEC 60664-1:2020.

Nilai jarak ruang yang lebih rendah dari nilai yang dicantumkan dalam Tabel 3 atau Tabel 4 dapat diterima jika modul berhasil lulus uji tegangan impuls yang diikuti uji insulasi MST 57. Nilai jarak ruang tidak dapat dikurangi di bawah jarak rambat yang terkait.

CATATAN Konsep ini tercermin dalam nilai untuk jarak lewat insulasi fungsional (DTFI, B.5.3). Meskipun jarak ruang didefinisikan sebagai "jarak terpendek di udara antara dua bagian

konduktif", nilai jarak ruang juga harus dipertimbangkan jika material dan/atau antarmuka antara bagian konduktif belum terbukti mengandalkan insulasi. Untuk kasus ini, nilai jarak ruang harus tercermin dalam desain, menggunakan nilai dari Tabel 3 dan Tabel 4 sebagai jarak minimum, kecuali pengujian tambahan dilakukan. Koreksi ketinggian tidak diperlukan jika jarak ruang antar bagian konduktif melalui material selain udara.

**Tabel B.2 – Jarak ruang minimum untuk bidang *inhomogeneous***

Nilai <i>rating</i> tegangan impuls, $U_{ratedIV}$ kV (1,2/50 $\mu$ s)	Jarak ruang minimum untuk bidang <i>inhomogeneous</i> (mm)		
	Tingkat polusi		
	1	2	3
0,8	0,1	0,2	0,8
1,5	0,5	0,5	0,8
2,5	1,5	1,5	1,5
4,0	3,0	3,0	3,0
6,0	5,5	5,5	5,5
8,0	8,0	8,0	8,0
12,0	14,0	14,0	14,0
16,0 <sup>a</sup>	19,4	19,4	19,4

a Nilai 16,0 ditentukan dengan interpolasi.

## B.4 Jarak rambat

### B.4.1 Umum

Persyaratan untuk evaluasi jarak rambat minimum didasarkan pada persyaratan umum IEC 60664-1. Jarak rambat yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 telah diambil dari IEC 60664-1:2020, Tabel F.5, untuk insulasi yang dimaksudkan untuk berada di bawah stres tegangan dalam jangka waktu yang lama.

### B.4.2 Bagian tertutup

“Bagian tertutup” sehubungan dengan Standar ini dapat berupa:

- bagian pembawa arus yang dilindungi oleh enkapsulasi; dan
- bagian pembawa arus dalam *junction box*, dilindungi oleh *potting*.

Kesesuaian dengan persyaratan yang relevan menurut IEC 61730-2 harus menunjukkan bahwa bagian tertutup atau *encapsulated* untuk melindungi dari debu dan kelembapan. Selama proses pembuatan, tidak boleh ada debu yang masuk dan/atau kelembapan yang dapat merusak sifat insulasi. Selain itu, tindakan pencegahan harus diambil untuk memastikan bahwa tidak akan ada rongga dalam enkapsulasi atau *potting*, karena hal ini dapat mengurangi sifat insulasi di bawah persyaratan yang ditentukan.

Jarak rambat harus diukur sepanjang permukaan, dengan mempertimbangkan grup material untuk material penutup dan untuk material enkapsulasi/*potting*. Jika grup material berbeda, jarak rambat harus memenuhi persyaratan material dengan nilai CTI terendah (penunjukan grup material yang lebih tinggi). Jika kesesuaian telah ditunjukkan melalui pengujian sesuai

dengan IEC 61730-2, rangkaian pengujian B.1, jarak rambat minimum yang disyaratkan dapat berupa nilai yang dikurangi sebagaimana dinyatakan untuk tingkat polusi 1.

Biasanya, material enkapsulasi atau *potting* hanya berfungsi untuk menjamin proteksi terhadap masuknya debu dan kelembapan. Material tersebut tidak dianggap sebagai bagian dari material yang mengandalkan insulasi, namun bagaimanapun juga, material tersebut harus memiliki sifat insulasi yang memadai sehingga tidak mengurangi jarak minimum antara bagian bertegangan yang polaritasnya berbeda atau antara bagian bertegangan dan bagian yang dapat diakses.

Material yang dapat diakses secara eksternal harus memiliki sifat ketahanan terhadap percikan api/panas yang memadai jika terjadi kebakaran sesuai dengan MST 24.

Persyaratan untuk mengurangi tingkat polusi dengan menggunakan *coating* atau *potting* di dalam *junction box* tercantum dalam Lampiran B IEC 62790:2020.

## **B.5 Distance through insulation**

### **B.5.1 Sambungan tersemen**

Dua material terpisah yang telah disemen menjadi satu, misalnya dengan material perekat insulasi, dapat dianggap sebagai material insulasi solid jika perekat tersebut dinilai memiliki daya rekat pada jenis material tertentu, dinilai berdasarkan temperatur penggunaan, dan dinilai pelapukannya terhadap paparan termasuk air dan UV, tergantung pada paparan pada aplikasi akhir.

Material perekat, jika ada, harus diaplikasikan di antara bagian sedemikian rupa sehingga tidak ada rongga yang dapat mengurangi jarak insulasi menjadi di bawah nilai minimum yang disyaratkan. Seluruh persyaratan subpasal 6.6.4.3 harus dipenuhi. Dalam hal ini, jarak rambat dan jarak ruang tidak perlu diukur, namun jarak melalui sambungan tersemen berlaku.

Karena IEC 60664 tidak memuat referensi untuk sambungan tersemen, nilai jarak melalui sambungan tersemen pada baris 5 Tabel 3 dan Tabel 4 diambil dari IEC 61558-1:2017, Tabel 13.

Contoh kasus penggunaan khusus yang melibatkan sambungan tersemen tercantum dalam Lampiran C.

### **B.5.2 Insulasi dalam lapisan tipis (DTI)**

Proteksi tipe 2 yang dijelaskan dalam IEC 60664-3 dianggap serupa dengan insulasi solid yang dijelaskan dalam IEC 60664-1. Persyaratan untuk insulasi solid yang ditentukan dalam IEC 60664-1 berlaku dan jaraknya harus tidak kurang dari yang ditentukan dalam IEC 60664-3:2020 Tabel 1. Nilai ini berlaku untuk insulasi dasar, insulasi tambahan, dan insulasi yang diperkuat. Nilai yang relevan dari IEC 60664-3:2020, Tabel 1 tercantum pada Tabel B.3.

Dengan memperhatikan *pinholes* pada *thin film* seperti yang dijelaskan dalam IEC 61558-1, DTI minimum untuk film lapisan tunggal adalah 0,03 mm.

Tabel B.3 – Jarak minimum untuk lapisan tipis

Tegangan maksimum kV	Jarak minimum mm
$\geq 0,4$ dan $< 0,5$	0,04
$\geq 0,5$ dan $< 0,6$	0,06
$\geq 0,6$ dan $< 0,8$	0,1
$\geq 0,8$ dan $< 1,0$	0,15
$\geq 1,0$ dan $< 1,2$	0,2
$\geq 1,2$ dan $\leq 1,5$	0,3

Nilai ketebalan minimum tidak didasarkan pada analisis sederhana kekuatan dielektrik atau ketahanan terhadap stres tegangan jangka panjang, namun menggabungkan variabilitas sifat material yang berbeda, dan memerhatikan reliabilitas jangka panjang. Dari IEC 60664-1, berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan.

Kekuatan elektrik yang tinggi dari suatu material jarang dimanfaatkan dalam praktik. Dalam sistem insulasi, kesenjangan dapat terjadi antara elektrode dan insulasi serta antara lapisan insulasi yang berbeda. Sejumlah pengaruh merugikan terakumulasi selama masa pakai insulasi solid. Pengaruh ini mengikuti pola yang kompleks dan mengakibatkan penuaan. Oleh karena itu, stres elektrik dan stres lainnya (misalnya panas, lingkungan) ikut memengaruhi dan berkontribusi terhadap penuaan. Terdapat hubungan umum antara ketebalan insulasi solid dan mekanisme kegagalan yang disebutkan di atas. Dengan pengurangan ketebalan insulasi solid, kekuatan medan meningkat dan menyebabkan risiko kegagalan yang lebih tinggi. Karena karakteristik elektrik individu dari material, tidak mungkin untuk menghitung ketebalan insulasi solid yang diperlukan.

Konsep koordinasi insulasi mungkin dapat direalisasikan dengan material insulasi yang tepat. Perilaku insulasi dari insulasi solid secara langsung dipengaruhi oleh karakteristik material intrinsiknya. Stres elektrik, mekanis, dan stres lainnya yang dapat memengaruhi perilaku insulasi selama masa pakai produk harus dipertimbangkan.

Banyak stres yang dapat merusak insulasi dan konsekuensinya perlu dipertimbangkan oleh komite teknis.

Komite teknis IEC 82 menetapkan bahwa meskipun uji pelepasan parsial dicantumkan dalam IEC 60664-1:2020 untuk menentukan stabilitas terhadap stres tegangan pada sistem AC, uji ini bukanlah ukuran yang efektif untuk sistem DC, dan telah dihapus sebagai kriteria untuk insulasi yang diandalkan. Karena hal ini merupakan persyaratan ketebalan *de facto*, pertimbangan selanjutnya diberikan pada stres yang berbeda, baik secara individual maupun berurutan, yang perlu dipertimbangkan untuk mengevaluasi ketahanan insulasi jangka panjang.

Dalam kasus laminasi modul FV, material polimer yang digunakan sebagai insulasi yang diandalkan paling sering digunakan secara praktis sebagai lembaran depan dan lembaran belakang. Material-material ini sering kali merupakan material multi-layer, termasuk beberapa material yang merupakan RUI dan bukan RUI, dengan tiap layer yang menjalankan fungsi berbeda. Dalam kasus penggunaan umum, layer terluar dapat memberikan perlindungan UV pada layer dalam, termasuk perekat untuk menyatukan layer-layer tersebut dan material insulasi elektrik inti; kedua layer dalam ini dapat terkena degradasi UV jika layer proteksi luarnya hilang karena delaminasi atau erosi, yang bisa terjadi dalam penerapannya. Profil degradasi bergantung pada masing-masing material dan kombinasi dari material-material

tersebut, sehingga menimbulkan kompleksitas yang tinggi.

Sebagai solusi praktis terhadap masalah kompleks ini, reliabilitas material diverifikasi dengan kombinasi persyaratan ketebalan pada Table B.3 dengan serangkaian uji lingkungan pada IEC 62788-2-1.

### **B.5.3 *Distance through functional insulation (DTFI)***

DTFI mengacu pada jarak melalui material solid non-RUI antara dua bagian konduktif dalam sebuah modul. Pada SNI IEC 61730-1 edisi sebelumnya, persyaratan jarak ditentukan oleh jarak ruang. Karena jarak ruang didefinisikan dalam 3.4.16 sebagai "jarak terpendek di udara di antara dua bagian konduktif atau antara bagian konduktif dan permukaan yang dapat diakses", namun tidak ada udara yang tampak, ini menjadi sumber kebingungan yang telah dibahas dalam edisi ketiga ini.

Jika material di antara bagian konduktif belum terbukti sebagai insulasi yang diandalkan, misalnya *encapsulant*, material tersebut tidak dapat diharapkan akan ada selama masa penggunaan, dan nilai jarak ruang harus dipertimbangkan. Nilai jarak rambat dan jarak ruang harus tercermin dalam desain. *Distance for functional insulation (DTFI)* pada Tabel 3 dan Tabel 4 didasarkan pada nilai jarak rambat dan jarak ruang terkait yang lebih besar untuk tingkat polusi 1.

Situasi ini menimbulkan potensi bahaya kebakaran jika jarak yang diperlukan tidak dipertahankan. Jika strategi mitigasi digunakan, ketebalan dapat diklasifikasikan kembali jika pengujian tambahan dilakukan sebagaimana dijelaskan pada 6.6.4.4.

## Lampiran C (informatif) Kasus penggunaan spesifik

### C.1 Modul

#### C.1.1 Umum

Desain modul pada umumnya akan memiliki banyak dimensi yang perlu diverifikasi dengan dimensi yang dijelaskan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Kategori berikut disertakan, sesuai dengan baris 1 hingga 5 dalam tabel tersebut:

- a) Jarak antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar yang dapat diakses (baris 1)

Contohnya meliputi:

- di sepanjang tepi laminasi modul, dan
- melalui permukaan depan atau belakang laminasi modul. Tingkat tegangan yang relevan akan menjadi tegangan sistem.

- b) Jarak antara bagian bertegangan dengan potensial berbeda di dalam modul FV (baris 2) dan *distance through functional insulation* (DTFI) (baris 3)

Contohnya meliputi:

- antara sel dalam satu *string*,
- antara sel dengan *busbar* di dekatnya, dan
- antara dua *string* paralel dalam sebuah modul. Tegangan yang relevan akan bergantung pada posisi bagian pembawa arus di dalam *string* sel dan pada panjang *string* sel; tegangan terburuk adalah tegangan rangkaian terbuka pada STC modul FV. Jarak dapat dikurangi dari nilai default dengan pengujian tambahan.

Ketika dua *layer encapsulant* yang sama digunakan untuk membuat bagian yang *fully encapsulated*, DTFI (baris 3) berlaku. Jika dua jenis *encapsulant* yang berbeda digunakan, maka jarak antara bagian bertegangan dengan potensial berbeda (baris 2) berlaku. Contoh diberikan untuk keduanya, dan juga membandingkan jarak dengan dan tanpa pengujian tambahan.

- c) Lapisan tipis (DTI) (baris 4)

DTI adalah ketebalan minimum *layer* RUI antara bagian bertegangan dengan permukaan luar. Contoh yang umum termasuk lembaran depan dan belakang polimer, yang ditentukan oleh tegangan sistem. Contoh diberikan untuk lembaran belakang *multilayer* dengan *layer* dalam yang dapat disesuaikan, dan *layer* belakang dengan lapisan aluminium.

- d) Sambungan tersemen (baris 5)

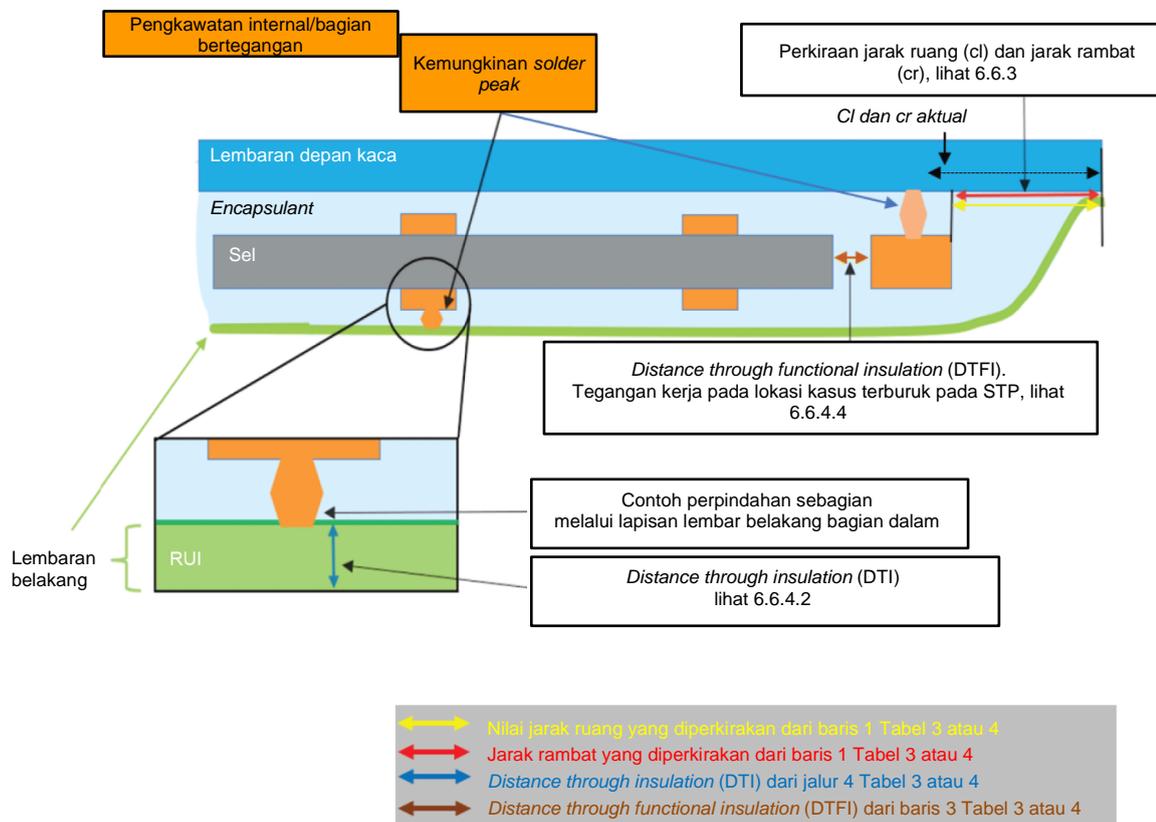
Ini berlaku ketika kedua sisi "sambungan" didokumentasikan sebagai RUI, dan pengujian tambahan sebagaimana dijelaskan dalam 6.6.4.3 telah dilakukan. Contoh sambungan tersemen yang menggabungkan kaca dan segel tepi diberikan, dibandingkan dengan sambungan non-tersemen antara kaca dan segel tepi.

**C.1.2 Diagram koordinasi insulasi**

**C.1.2.1 Kasus umum**

Gambar C.1 menunjukkan konsep berikut:

- DTI dari lapisan belakang polimer dengan *layer* yang dapat dideformasi, dengan perpindahan parsial oleh *solder peak*. Hanya material yang tidak dipindahkan dan didokumentasikan sebagai material RUI yang dapat berkontribusi pada ketebalan yang ditentukan (detail dapat dilihat di IEC 62788-2-1).
- Jarak antara bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses: Jarak ruang dan jarak rambat dari *solder peak* potensial ke tepi modul yang dapat diakses. Perhatikan perbedaan antara nilai “aktual” dan “perkiraan”. Nilai perkiraan diambil dari lokasi terburuk, paling dekat dengan tepi.
- DTFI antara bagian-bagian yang berbeda potensial dengan modul. Tegangan yang relevan diambil antara dua sel yang berdekatan tetapi tidak terhubung pada lokasi dengan beda potensial tertinggi, pada tegangan rangkaian terbuka pada STC.



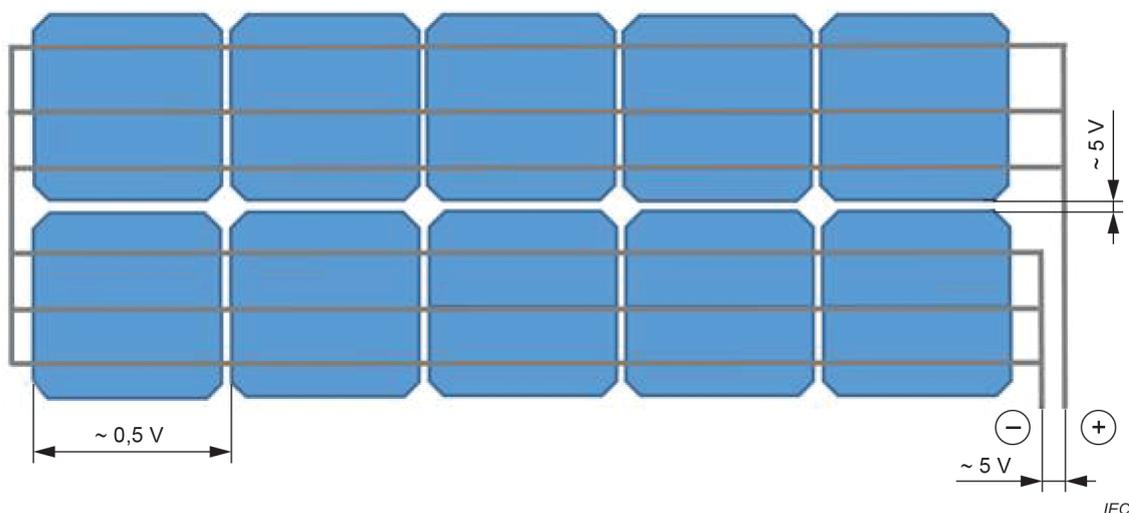
IEC

**Gambar C.1 – Kasus umum untuk jarak ruang, jarak rambat, dan DTI**

**C.1.2.2 Jarak antara bagian bertegangan yang berbeda potensial di dalam sebuah modul FV**

Tegangan kerja relevan, diambil antara dua sel yang berdekatan tetapi tidak terhubung secara langsung pada lokasi dengan beda potensial tertinggi, pada tegangan rangkaian terbuka di STC. Biasanya, ini akan direferensikan ke dua sel berdekatan yang tidak terpasang pada tepi modul (yaitu dua ujung *substring*), seperti pada Gambar C.2.

CATATAN Sel surya yang berdekatan yang dihubungkan secara seri tidak memiliki persyaratan insulasi khusus jika disipasi daya maksimum antara dua sel yang berdekatan kurang dari 15 W (berdasarkan *rating* sel surya).



**Gambar C.2 – Lokasi beda potensial tertinggi dalam modul**

Jika disipasi daya maksimum antara dua sel yang berdekatan lebih besar dari 15 W, contoh diberikan untuk desain yang menggunakan dua *encapsulant* berbeda, dan untuk *encapsulant* yang sama pada kedua *layer*. Situasi seperti ini biasanya akan menggunakan nilai untuk tegangan kerja  $\leq 35$  V. Nilai yang diambil dari Tabel 3 dan Tabel 4 ditunjukkan pada Tabel C.1. Diagram ilustrasi ditunjukkan pada Gambar C.3.

**Tabel C.1 – Jarak antara bagian dengan potensial yang berbeda dalam modul FV (nilai untuk modul Kelas II dengan tegangan kerja  $\leq 35$  V)**

	Tingkat polusi	cl (mm)	cr (mm)			
			grup material			
			I	II	III	Tidak ditentukan
2) Jarak antara bagian bertegangan yang memiliki potensial berbeda di dalam sebuah modul FV (Insulasi Dasar/Fungsional)	1	0,1	0,2			
	2	0,2	0,6	1,0	1,2	1,8
3) <i>Distance through functional insulation</i> (DTFI)						
a) tanpa uji tambahan	Tidak ada	0,2				
b) diverifikasi dengan uji tambahan						
Nilai diambil dari Tabel 3 dan Tabel 4.						

Dalam kasus *encapsulant* tunggal, DTFI berlaku. Untuk tegangan kerja  $\leq 35$  V, jarak DTFI minimum adalah 0,2 mm (dari baris 3a). Dalam hal ini, jarak tidak dapat dikurangi lagi.

Dalam kasus dua *encapsulant* berbeda, persyaratan cl dan cr berlaku. Jika *encapsulant* memiliki grup material yang berbeda, maka angka yang lebih tinggi akan berlaku.

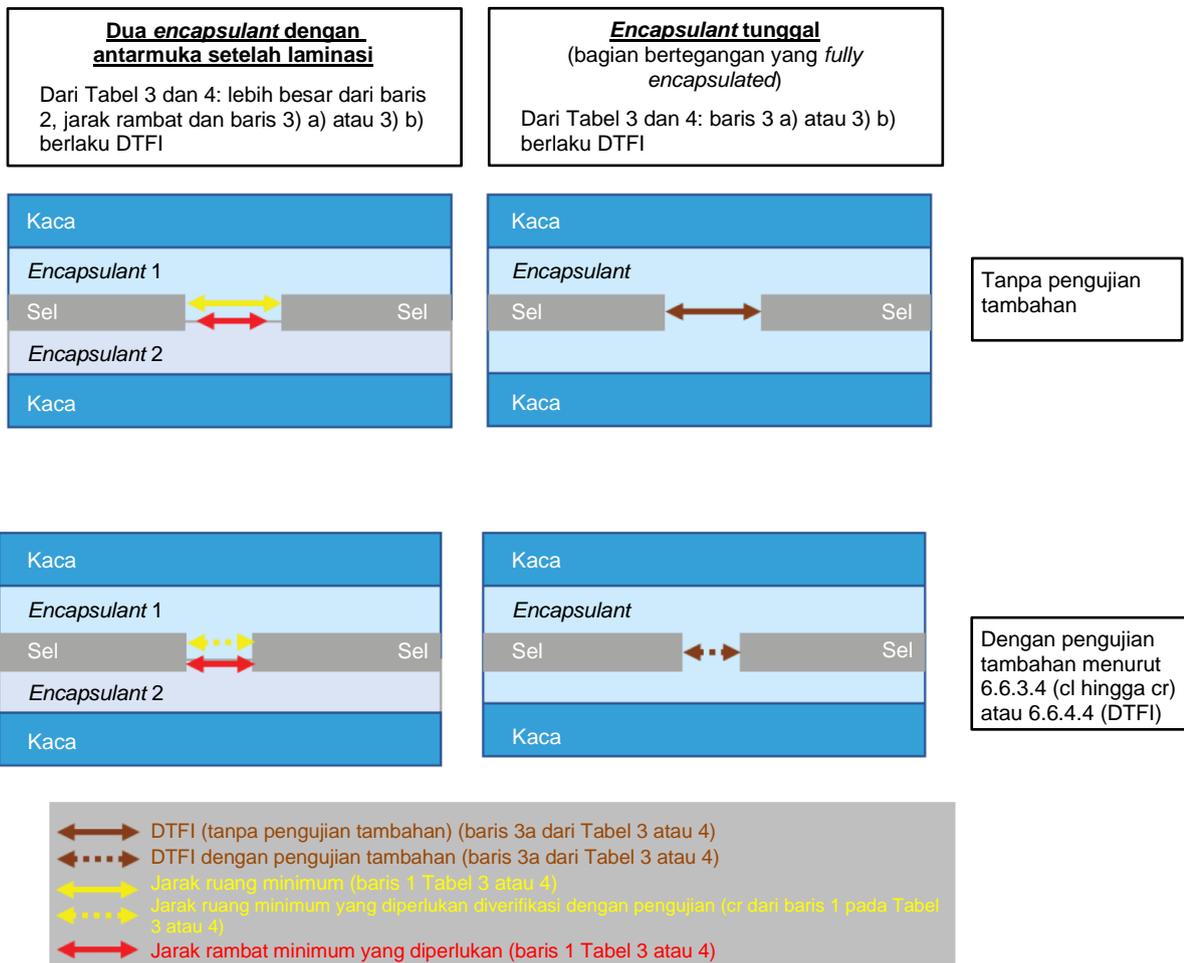
Untuk tegangan kerja  $\leq 35$  V, dengan penetapan tingkat polusi 2, jika grup material tidak ditentukan, nilai jarak ruang dan jarak rambat minimum dari baris 2 adalah 0,2 mm dan 1,8

mm. Jarak minimum adalah 1,8 mm, berdasarkan nilai yang lebih besar.

Nilai jarak rambat minimum dapat dikurangi dengan salah satu atau kedua aspek berikut.

- Penetapan grup material (dengan uji CTI).  
Melanjutkan contoh tingkat polusi 2, jarak cr minimum dikurangi menjadi 1,2 mm dengan grup material III, 1,0 mm dengan grup material II, dan 0,6 mm dengan grup material I.
- Rangkaian uji B.1 dari IEC 61730-2 (menetapkan tingkat polusi ke 1).  
Dengan tingkat polusi 1, grup material tidak relevan dan jarak cr minimum adalah 0,2 mm.

Untuk tegangan kerja  $\leq 35$  V, nilai jarak ruang yang tercantum kurang dari cr dalam semua kasus, sehingga jarak ruang tidak dapat dikurangi.



IEC

**Gambar C.3 – Contoh persyaratan jarak antara bagian bertegangan dengan potensial yang berbeda di dalam sebuah modul**

### C.1.2.3 Jarak antara bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses

Untuk laminasi modul, situasi ini berlaku ketika ada antarmuka di tepi modul, misalnya antara *encapsulant* dan kaca, dua *layer encapsulant*, atau segel tepi ke kaca. Persyaratan jarak untuk cr dan cl berlaku kecuali jika terdapat sambungan tersemen. Nilai yang diambil dari Tabel 3

ditunjukkan pada Tabel C.2. Diagram ilustrasi ditunjukkan pada Gambar C.4.

**Tabel C.2 – Jarak antara bagian bertegangan dan permukaan luar yang dapat diakses (nilai untuk modul Kelas II dengan tegangan sistem pengenal 1.500 V)**

	Tingkat polusi	cl (mm)	cr (mm)			
			grup material			
			I	II	III	tidak ditentukan
1) Jarak antara bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses (insulasi yang diperkuat/ganda untuk modul Kelas II)	1	19,4	10,4			
	2		15,0	20,8	30,0	45,0
5) Jarak sambungan tersemen		3,5 mm				

Saat antarmuka belum terbukti merupakan sambungan tersemen, jarak minimum ditentukan oleh jarak ruang yang lebih besar dan jarak rambat yang dinilai.

Contoh diberikan dalam Gambar C.4 untuk laminasi modul dengan ruang antara bagian bertegangan dan permukaan yang dapat diakses berisi *encapsulant* dan segel tepi. Ketika *encapsulant* tunggal digunakan, jarak rambat yang diperlukan dinilai dengan presumsi potensi *solder peak* konduktif di tepi material konduktif, seperti yang ditunjukkan.

Berikut ini adalah analisis untuk modul Kelas II dengan nilai tegangan sistem 1.500 V.

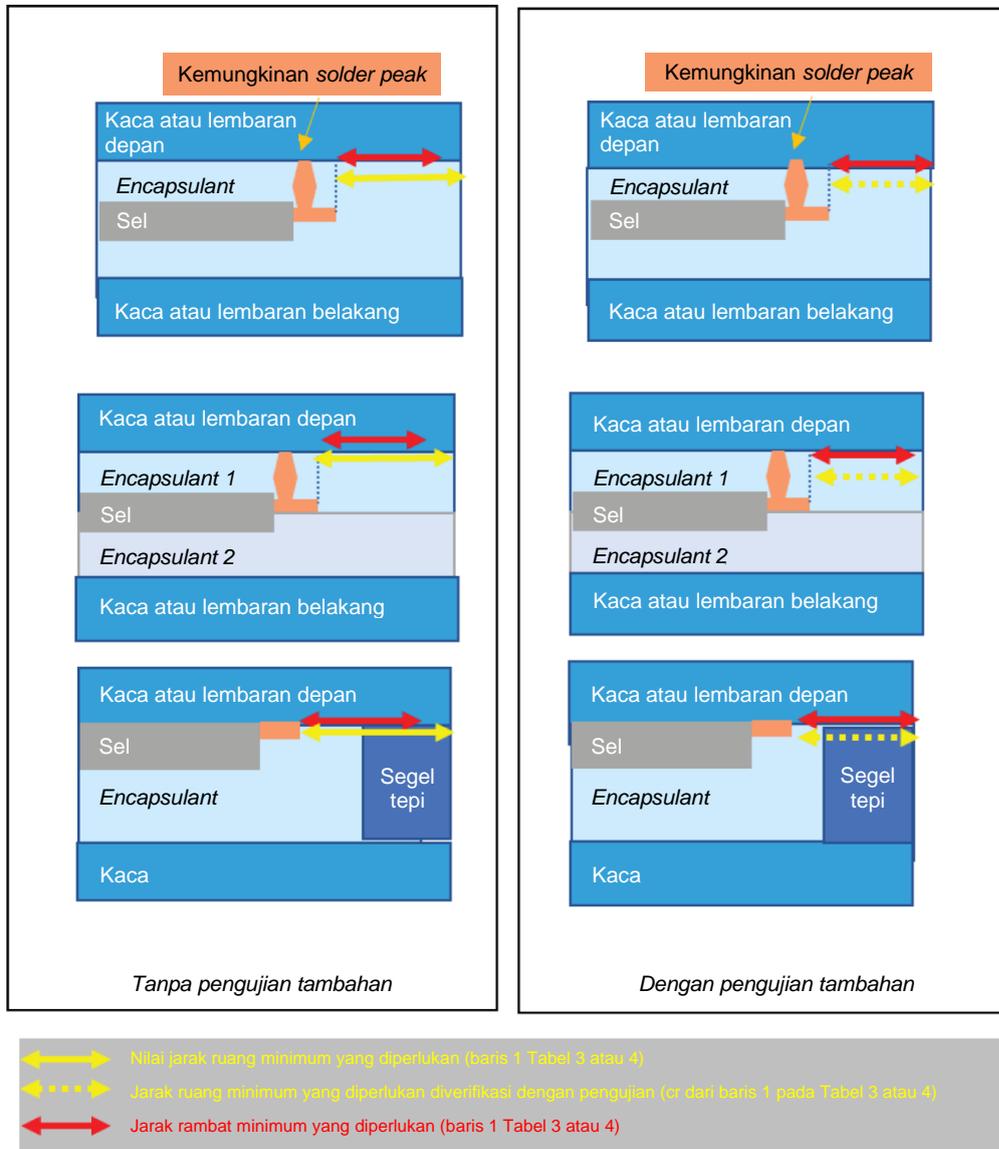
Dengan penetapan tingkat polusi 2, dan grup material tidak ditentukan, maka minimum cl dan cr yang tercantum masing-masing adalah 19,4 mm dan 45,0 mm. cr dan cl yang lebih besar adalah yang berlaku, dan jarak minimumnya adalah 45 mm.

Nilai jarak minimum dapat dikurangi dengan salah satu atau seluruh aspek berikut:

- 1) Penetapan grup material (dengan uji CTI).  
Melanjutkan contoh tingkat polusi 2:
  - a) untuk grup material II dan III, jarak minimum ditetapkan oleh cr, yaitu 30 mm untuk grup material III, 20,8 mm untuk grup material II;
  - b) untuk grup material I, cr adalah 15,0 mm, yaitu di bawah cl minimum sebesar 19,4 mm; jarak minimum didasarkan pada cl sebesar 19,4 mm.
- 2) Penetapan tingkat polusi 1 (rangkaian pengujian B.1 dari IEC 61730-2).
  - a) Dengan tingkat polusi 1, grup material tidak relevan dan cr minimum adalah 10,4 mm; karena ini di bawah nilai cl sebesar 19,4 mm, maka jarak minimum didasarkan pada cl sebesar 19,4 mm.
- 3) Verifikasi cl dengan pengujian.  
Dalam situasi dengan jarak minimum ditentukan oleh cl, nilai jarak ruang dapat dikurangi menjadi jarak rambat dengan melewati uji tegangan impuls yang diikuti dengan uji insulasi (MST 57).
  - a) Dari contoh 1b di atas, (tingkat polusi 2, grup material I), jarak minimum dikurangi dari 19,4 mm menjadi 15,0 mm.

- b) Dari contoh 2a di atas, (tingkat polusi 1), jarak minimum dikurangi dari 19,4 mm menjadi 10,4 mm.

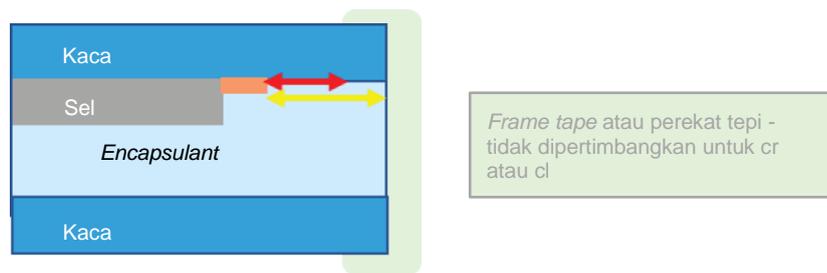
Ketika segel tepi digunakan di tepi laminasi, logika yang sama berlaku, menggunakan grup material yang lebih tinggi untuk *encapsulant* dan segel tepi



IEC

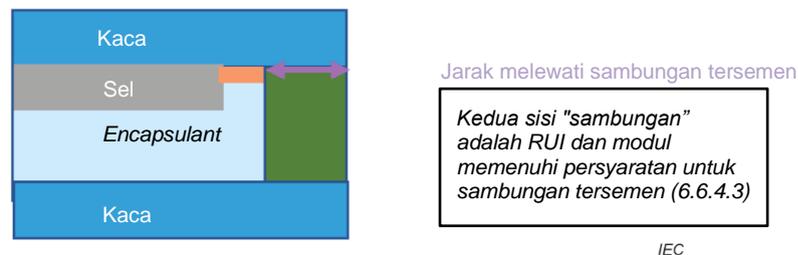
**Gambar C.4 – Jarak ruang dan jarak rambat antara bagian bertegangan internal dan bagian luar permukaan yang dapat diakses**

Penggunaan *frame tape* atau perekat tepi dianggap dapat menyebabkan gelembung udara, dan sebaiknya gelembung tidak ada dalam *spacing* untuk jarak ruang dan jarak rambat (kecuali terbukti dibuat dengan proses yang tidak menyebabkan gelembung) (Gambar C.5).



**Gambar C.5 – Pengaruh *frame tape* atau perekat tepi pada jarak ruang dan jarak rambat**

Jika antarmuka pada tepi seperti pada Gambar C.6 telah terbukti merupakan sambungan tersemen sesuai dengan 6.6.4.3 maka satu-satunya *spacing* yang diperlukan adalah pada baris 5 Tabel 3 dan Tabel 4, jarak melewati sambungan tersemen. Untuk modul Kelas II dengan nilai tegangan sistem 1.500 V, ini adalah 3,5 mm.



**Gambar C.6 – Jarak antara bagian bertegangan internal dan permukaan luar yang dapat diakses dengan sambungan tersemen**

#### C.1.2.4 Lembaran belakang dengan *layer* aluminium

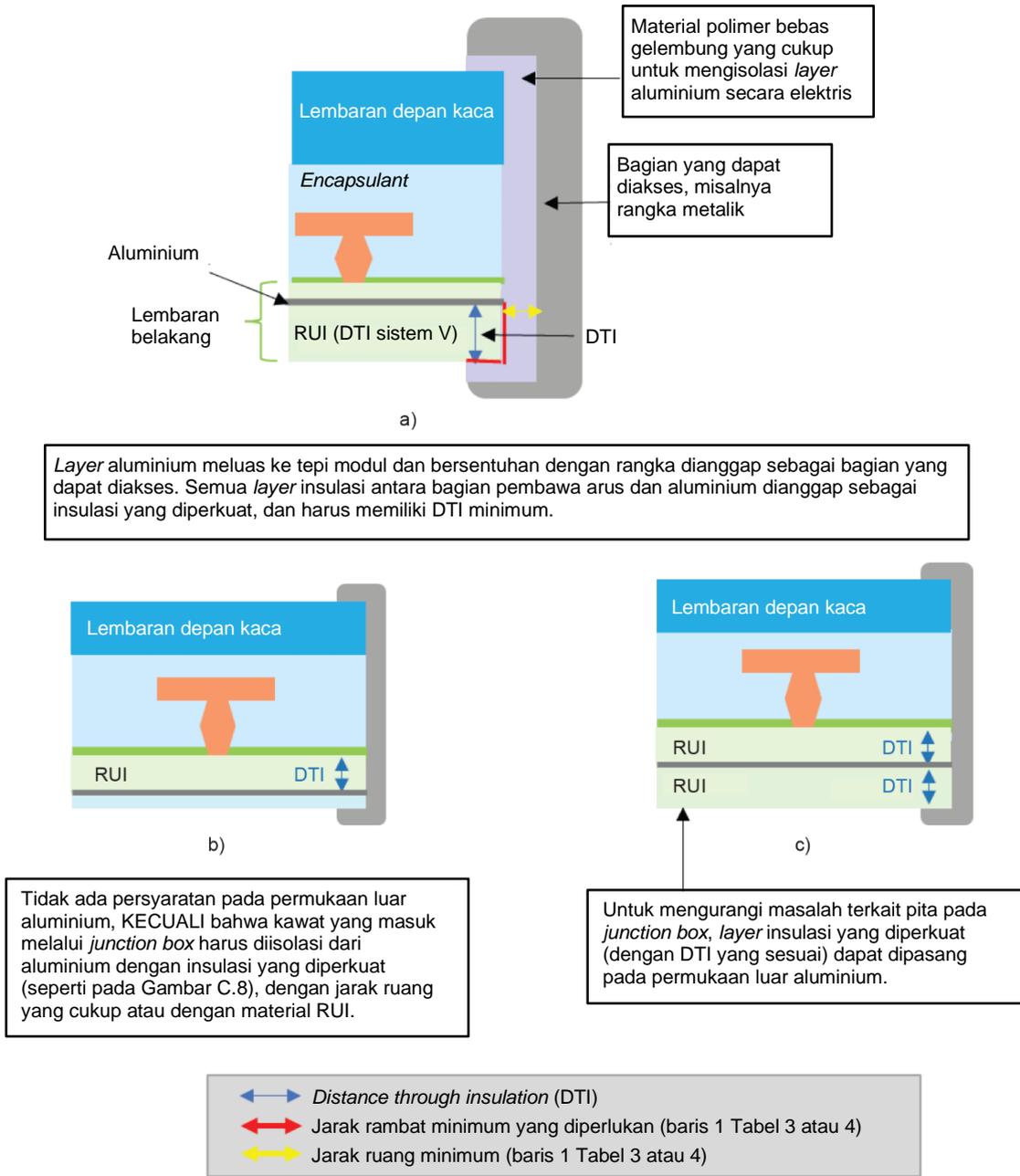
*Layer* aluminium di dalam lembaran belakang dianggap sebagai bagian yang dapat diakses, kecuali diinsulasi secara elektrik dari rangka seperti pada Gambar C.7 a). Isolasi elektrik memerlukan insulasi yang diperkuat, dengan jarak minimum berdasarkan nilai jarak ruang dari baris 1, atau penggunaan insulasi yang diandalkan dengan ketebalan DTI minimum.

Contoh lembaran belakang yang mengandung *layer* aluminium tanpa isolasi elektrik ditunjukkan pada Gambar C.7 b). Material yang mengandalkan insulasi pada bagian dalam aluminium harus memiliki DTI minimum, dan memenuhi persyaratan insulasi yang diperkuat (modul Kelas II):

- RTI, RTE atau TI minimum (6.5.2.2.3);
- kekuatan dielektrik untuk insulasi yang diperkuat (2.000 V + 4 kali tegangan sistem).

*Layer* luar aluminium tidak memiliki persyaratan insulasi, kecuali kekhawatiran setelah pemasangan *junction box*, pada lokasi kawat *junction box* (seperti pada Gambar C.8). Kekhawatiran ini dapat diatasi dengan *layer* insulasi yang diperkuat di luar aluminium seperti pada Gambar 1.

Selain itu, keberadaan *layer* konduktif mempersulit analisis kordinasi insulasi pada lembaran belakang di area antara tepi *junction box* dan kabel, dan dibahas dalam C.2.2.



**Gambar C.7 – Lembaran belakang dengan *layer* aluminium**

**C.2 Koordinasi insulasi setelah pemasangan komponen**

**C.2.1 Umum**

Koordinasi insulasi untuk komponen tertentu ditentukan dalam standar khusus. Koordinasi insulasi yang dijelaskan dalam Standar ini juga berlaku untuk modul setelah *junction box* dipasang, seperti yang dijelaskan dalam C.2.2 dan C.2.3.

### C.2.2 Lembaran belakang

Untuk lembaran belakang dengan aluminium foil, jika aluminium bersentuhan dengan rangka, koordinasi insulasi harus dipertimbangkan dengan memperhatikan:

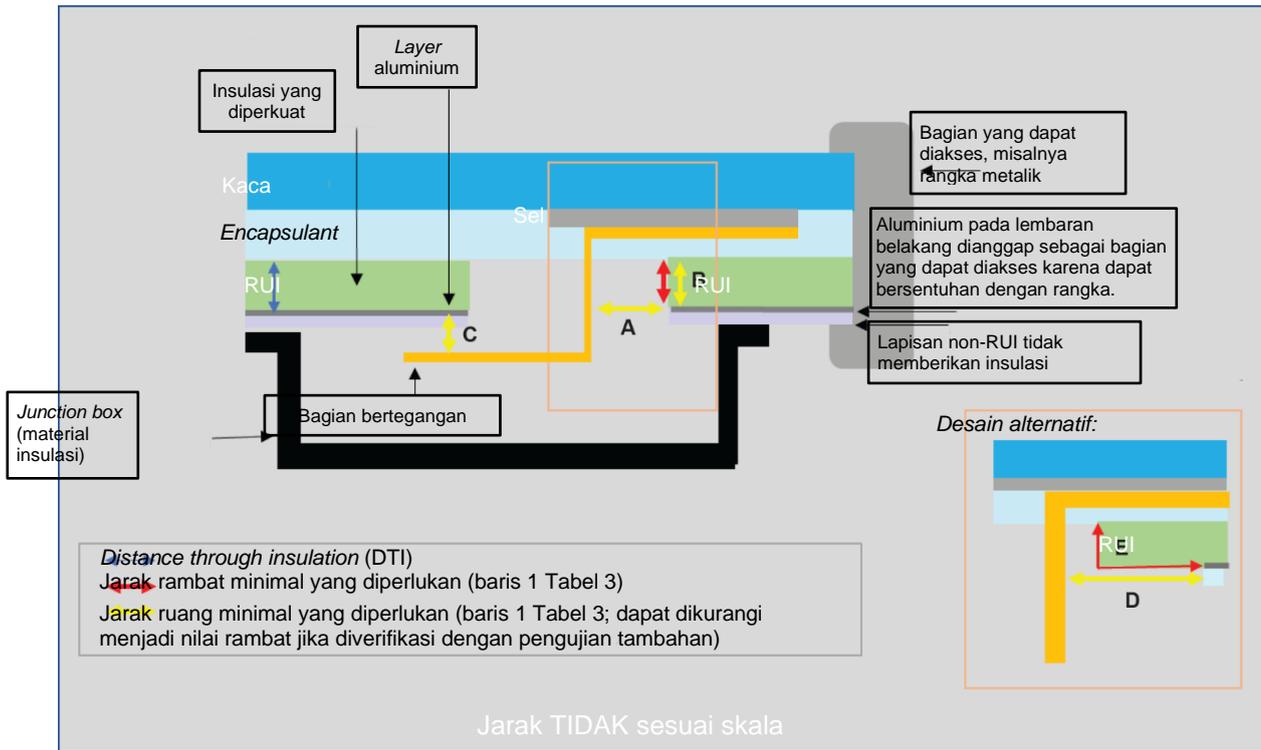
- pita yang berasal dari modul dan melewati lembaran belakang (baik dalam arah horizontal maupun vertikal), dan
- lokasi pita pada permukaan lembaran belakang setelah pemasangan *junction box*.

Nilai untuk insulasi yang diperkuat digunakan (Tabel 3, baris 1). Contoh ilustratif disediakan untuk modul Kelas II berkekuatan 1.500 V (Tabel C.2) pada Gambar C.8, dengan deskripsi jarak berlabel sebagai berikut:

- Jarak A: Jarak ruang pada jarak horizontal antara pita dan aluminium
  - Tanpa pengujian tambahan, jarak minimum adalah 19,4 mm.
  - Dengan pengujian untuk menunjukkan tingkat polusi 1, dan tegangan impuls serta uji insulasi MST 57, jarak minimum dapat dikurangi menjadi jarak rambat yang diperlukan sebesar 10,4 mm.
- Jarak B: Jarak ruang dan jarak rambat antara aluminium dan pita yang terpasang pada sel (kasus terburuk dipertimbangkan – tidak ada *encapsulant* antara pita dan RUI)
  - Tanpa pengujian tambahan, jarak minimum adalah 45 mm (jarak ruang minimum 19,4 mm, jarak rambat yang diperlukan 45 mm (150% grup material III)).
  - Dengan pengujian untuk menunjukkan tingkat polusi 1, dan tegangan impuls serta uji insulasi MST 57, jarak minimum dapat dikurangi menjadi jarak rambat yang diperlukan sebesar 10,4 mm.
- Jarak C: Jarak ruang pada jarak vertikal antara pita pada lembaran belakang dan aluminium
  - Tanpa pengujian tambahan, jarak minimum adalah 19,4 mm.
  - Dengan pengujian untuk menunjukkan tingkat polusi 1, dan tegangan impuls serta uji insulasi MST 57, jarak minimum dapat dikurangi menjadi jarak rambat yang diperlukan sebesar 10,4 mm.

Meskipun jarak A dapat dicapai secara wajar dengan ukuran lubang yang dibuat pada lembaran belakang, untuk mencapai jarak B, kemungkinan besar ini tidak praktis. Pilihan lainnya adalah menghilangkan aluminium dari sebagian lembaran belakang seperti yang ditunjukkan pada sisipan Gambar C.8:

- Jarak D: Jarak ruang yang diperlukan adalah 19,4 mm
  - Jarak minimum dapat dikurangi menjadi jarak rambat minimum sebesar 10,4 mm dengan pengujian untuk menunjukkan tingkat polusi 1 dan uji tegangan impuls serta uji insulasi MST 57.
- Jarak E: Jarak rambat yang diperlukan (pada baris gabungan) adalah 45 mm
  - Jarak minimum dapat dikurangi menjadi 10,4 mm dengan pengujian untuk menunjukkan tingkat polusi 1.



**Gambar C.8 – Persyaratan jarak antara pita *junction box* dan *layer aluminium* lembaran belakang**

**C.2.3 Junction box**

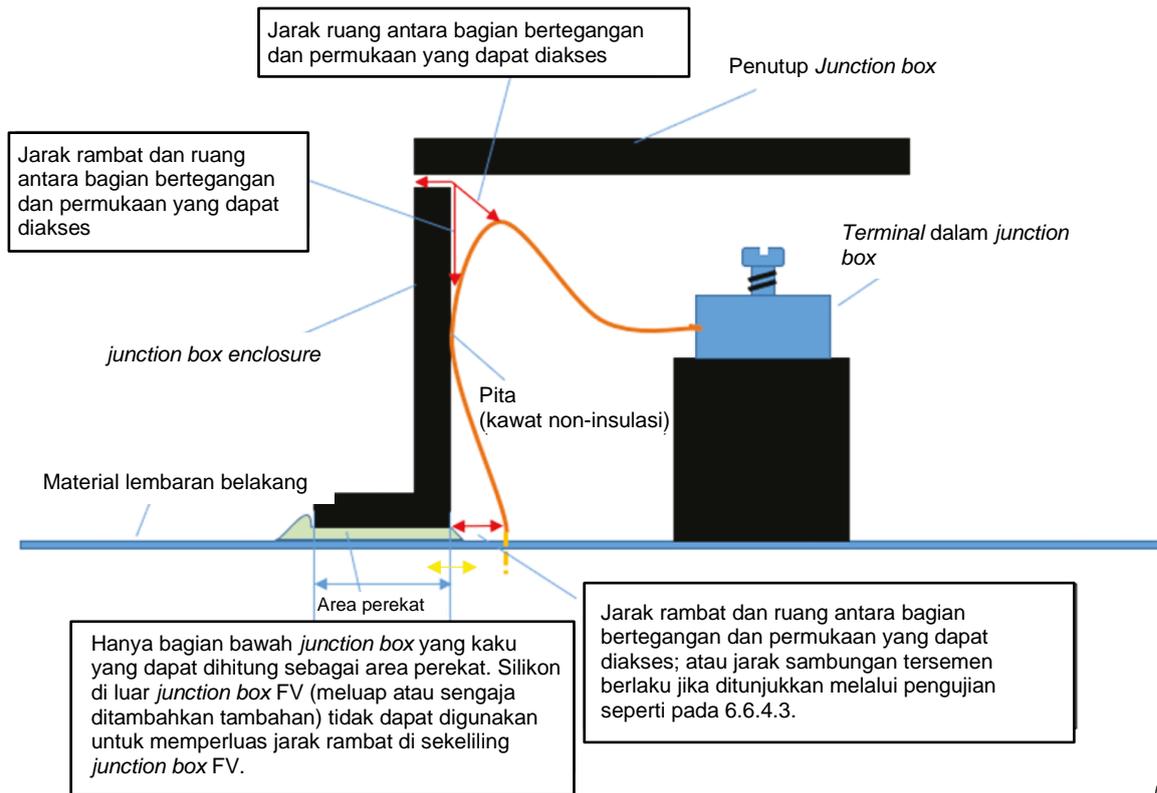
Jarak di dalam *junction box* dinilai selama uji *junction box* yang dirinci dalam IEC 62790, namun beberapa jarak juga harus dinilai setelah pemasangan *junction box*.

Harus dipastikan bahwa setelah pita pada terminal terkait dipasang, jarak rambat dan jarak ruang antara bagian bertegangan dan bagian luar yang dapat diakses untuk konstruksi kelas II diukur untuk insulasi yang diperkuat atau insulasi ganda untuk tegangan pengenalan dengan mempertimbangkan tingkat polusi sebagai berikut:

Jarak di dalam *enclosure* harus diukur untuk tingkat polusi 2, atau tingkat polusi 1 dapat diterapkan jika persyaratan untuk tingkat polusi 1 dalam IEC 61730-2 terpenuhi.

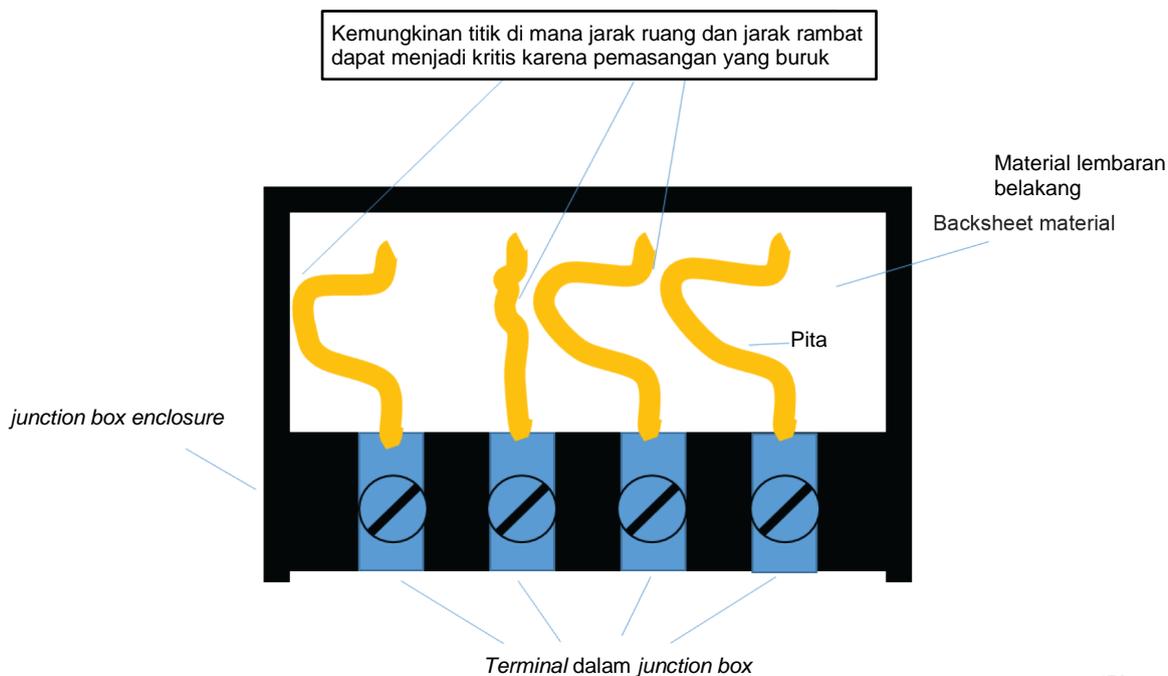
CATATAN Nilai jarak rambat yang tercantum dalam Tabel 3 IEC 62790:2020 adalah untuk insulasi dasar. Nilai ganda untuk insulasi yang diperkuat atau insulasi ganda untuk tingkat polusi 1 dan 2 sesuai dengan baris 1 Tabel 3 Standar ini.

Gambar C.9 dan Gambar C.10 menunjukkan kemungkinan jarak ruang dan jarak rambat antara bagian bertegangan dan permukaan luar yang dapat diakses setelah instalasi dan terminasi *junction box*. Titik kritis adalah tempat pita dapat bersentuhan satu sama lain atau pada dinding *junction box*.



IEC

**Gambar C.9 – Pertimbangan jarak ruang dan jarak rambat antara bagian bertegangan dan permukaan luar yang dapat diakses setelah instalasi dan terminasi *junction box* (J-box)**



IEC

**Gambar C.10 – Potensi titik kritis karena instalasi yang tidak benar**

## Bibliografi

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-195, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electric shock*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-212, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 411: Rotating machinery*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-426, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 426: Explosive atmospheres*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, control gear and fuses*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-442, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 442: Electrical accessories*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-581, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 581: Electromechanical components for electronic equipment*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60050-903, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 903: Risk assessment*, tersedia di [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

IEC 60079 (semua bagian), *Explosive atmospheres*

IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60664-3:2016, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution*

IEC 61191-1, *Printed board assemblies – Part 1: Generic specification – Requirements for soldered electrical and electronic assemblies using surface mount and related assembly technologies*

IEC 61558-1, *Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof – Part 1: General requirements and tests*

IEC 61701, *Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules*

IEC 62109-3, *Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 3: Particular requirements for electronic devices in combination with photovoltaic elements*

- IEC 62688, *Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies – Safety qualification*
- IEC 62716, *Photovoltaic (PV) modules – Ammonia corrosion testing*
- IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting*
- IEC 62938, *Photovoltaic (PV) modules – Non-uniform snow load testing*
- IEC 63092-1, *Photovoltaics in buildings – Part 1: Requirements for building-integrated photovoltaic modules*
- UL 746C, *Standard for Safety Polymeric Materials – Use in electrical equipment evaluation*

**Informasi perumus SNI IEC 61730-1:2023**

**[1] Komite Teknis Perumusan SNI**

Komite Teknis 27-08 Energi Surya

**[2] Susunan Keanggotaan Komite Teknis Perumusan SNI**

Ketua : Oo Abdul Rosyid

Wakil Ketua : Tony Susandy

Sekretaris : Shelty Juliavionni

Anggota : Adjat Sudrajat  
Pahlawan Sagala  
Ian Jack Permana  
Katrין Rifanni Pamela  
Kharisma Surya Gautama  
Asep Sopandi  
Yusup  
Harry Indrawan  
Kevin Marojahan  
Chairiman

**[3] Konseptor rancangan SNI**

Kharisma Surya Gautama  
Ian Jack Permana  
Harry Indrawan

**[4] Sekretariat Pengelola Komite Teknis perumusan SNI**

Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan  
Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi  
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral