

Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan untuk pengujian

(IEC 61730-2:2023, 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	vi
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	3
4 Kategori uji	3
4.1 Umum	3
4.2 Uji stres lingkungan	3
4.3 Uji inspeksi umum	4
4.4 Uji bahaya kejutan listrik	4
4.5 Uji bahaya kebakaran	4
4.6 Uji stres mekanis	5
5 Kelas dan prosedur uji yang diperlukan	5
6 Pengambilan sampel	7
7 Laporan uji	8
8 Pengujian	8
9 Kriteria kelulusan	11
10 Prosedur uji	11
10.1 Umum	11
10.2 Inspeksi visual MST 01	11
10.2.1 Tujuan	11
10.2.2 Prosedur	11
10.2.3 Kriteria kelulusan	12
10.3 Kinerja pada STC MST 02	14
10.3.1 Tujuan	14
10.3.2 Prosedur	14
10.3.3 Kriteria kelulusan	14
10.4 Penentuan daya maksimum MST 03	14
10.4.1 Tujuan	14
10.4.2 Prosedur	14
10.4.3 Kriteria kelulusan	14
10.5 Uji ketebalan insulasi MST 04	15
10.5.1 Tujuan	15
10.5.2 Prosedur	15
10.5.3 Kriteria kelulusan	15
10.6 Ketahanan penandaan MST 05	15
10.7 Uji ketajaman tepi MST 06	16
10.7.1 Tujuan	16
10.7.2 Peralatan	16
10.7.3 Prosedur	17
10.7.4 Pengukuran akhir	18

10.7.5	Kriteria kelulusan.....	18
10.8	Uji fungsionalitas diode <i>bypass</i> MST 07.....	18
10.9	Uji aksesibilitas MST 11.....	18
10.9.1	Tujuan.....	18
10.9.2	Peralatan.....	18
10.9.3	Prosedur.....	19
10.9.4	Pengukuran akhir.....	19
10.9.5	Kriteria kelulusan.....	19
10.10	Uji kerentanan terhadap potongan MST 12.....	19
10.10.1	Tujuan.....	19
10.10.2	Peralatan.....	19
10.10.3	Prosedur.....	20
10.10.4	Pengukuran final.....	20
10.10.5	Kriteria kelulusan.....	20
10.11	Uji kontinuitas ikatan ekuipotensial MST 13.....	21
10.11.1	Tujuan.....	21
10.11.2	Peralatan.....	22
10.11.3	Prosedur.....	22
10.11.4	Pengukuran final.....	22
10.11.5	Kriteria kelulusan.....	22
10.12	Uji tegangan impuls MST 14.....	22
10.12.1	Tujuan.....	22
10.12.2	Peralatan.....	22
10.12.3	Prosedur.....	23
10.12.4	Pengukuran final.....	24
10.12.5	Kriteria kelulusan.....	24
10.13	Uji insulasi MST 16.....	24
10.14	Uji arus bocor basah MST 17.....	24
10.15	Bagian <i>placeholder</i> , sebelumnya Uji temperatur MST 21.....	24
10.16	Uji ketahanan titik panas MST 22.....	24
10.17	Uji kebakaran MST 23.....	25
10.18	Uji kemampuan tersulut MST 24.....	25
10.18.1	Tujuan.....	25
10.18.2	Peralatan.....	25
10.18.3	Sampel uji.....	26
10.18.4	Pengondisian.....	27
10.18.5	Prosedur.....	27
10.18.6	Durasi uji.....	30
10.18.7	Pernyataan hasil.....	30
10.18.8	Kriteria kelulusan.....	30
10.19	Uji termal diode <i>bypass</i> MST 25.....	30
10.20	Uji beban lebih arus balik MST 26.....	30
10.20.1	Tujuan.....	30
10.20.2	Peralatan.....	30
10.20.3	Prosedur.....	31

10.20.4	Kriteria kelulusan	32
10.21	Uji kerusakan modul MST 32	32
10.21.1	Tujuan	32
10.21.2	Peralatan	32
10.21.3	Prosedur	32
10.21.4	Kriteria kelulusan	33
10.22	Uji sambungan sekrup MST 33.....	36
10.22.1	Uji sambungan sekrup secara umum MST 33a.....	36
10.22.2	Pengujian pengunci sekrup MST 33b.....	38
10.23	Uji beban mekanis statis MST 34	38
10.23.1	Umum	38
10.23.2	Kriteria kelulusan	38
10.24	Uji pengelupasan MST 35	38
10.24.1	Tujuan.....	38
10.24.2	Persyaratan sampel.....	38
10.24.3	Peralatan	39
10.24.4	Prosedur	40
10.24.5	Kriteria kelulusan	42
10.25	Uji kekuatan <i>lap shear</i> MST 36	43
10.25.1	Tujuan.....	43
10.25.2	Sampel uji.....	43
10.25.3	Peralatan	44
10.25.4	Prosedur	44
10.25.5	Kriteria kelulusan	45
10.26	Uji <i>creep</i> pada material MST 37.....	46
10.26.1	Tujuan.....	46
10.26.2	Peralatan	46
10.26.3	Prosedur	46
10.26.4	Pengukuran final.....	46
10.26.5	Kriteria kelulusan	47
10.27	Uji kekuatan terminasi MST 42	47
10.28	Uji siklus termal MST 51.....	47
10.29	Uji kelembapan-beku MST 52	47
10.30	Uji panas-lembap MST 53.....	47
10.31	Uji UV MST 54	47
10.32	Uji pengondisian dingin MST 55.....	48
10.32.1	Tujuan.....	48
10.32.2	Peralatan	48
10.32.3	Prosedur	48
10.32.4	Kriteria kelulusan	48
10.33	Uji pengondisian panas kering MST 56.....	48
10.33.1	Tujuan.....	48
10.33.2	Peralatan	48
10.33.3	Prosedur	48
10.33.4	Kriteria kelulusan	49

10.34	Evaluasi koordinasi insulasi MST 57	49
10.34.1	Tujuan	49
10.34.2	Peralatan.....	49
10.34.3	Prosedur	49
10.34.4	Kriteria kelulusan	52
Lampiran A (informatif) Rekomendasi untuk pengujian modul FV dari produksi. 53		
A.1	Umum	53
A.2	Daya output modul.....	53
A.3	Uji insulasi basah.....	53
A.4	Inspeksi visual	54
A.5	Diode <i>bypass</i>	54
A.6	Uji kontinuitas ikatan ekuipotensial.....	55
Lampiran B (informatif) Uji kebakaran, uji penyebaran api (<i>spread-of-flame test</i>), dan uji <i>burning-brand</i> untuk modul FV		
B.1	Umum	56
B.2	Uji kebakaran untuk modul FV berdasarkan ENV 1187	56
B.2.1	Umum.....	56
B.2.2	Eksposur api eksternal pada atap	56
B.2.3	Klasifikasi berdasarkan EN 13501-5	58
B.3	Uji kebakaran untuk modul FV berdasarkan ANSI/UL 61730-2	58
Lampiran C (normatif) Penggunaan sampel representatif untuk modul berukuran sangat besar.....		
Bibliografi.....		
Gambar 1 – Urutan pengujian – Kriteria kelulusan.....		
Gambar 2 – Penilaian gelembung untuk evaluasi jarak ruang dan jarak rambat, atau <i>distance through insulation</i>		
Gambar 3 – Peralatan uji MST 06		
Gambar 4 – Posisi peralatan uji		
Gambar 5 – Uji kerentanan terhadap potongan		
Gambar 6 – Bentuk gelombang tegangan impuls menurut IEC 60060-1.....		
Gambar 7 – Penerapan burner untuk produk multi-lapis.....		
Gambar 8 – Penghantam		
Gambar 9 – Kerangka uji benturan 1		
Gambar 10 – Kerangka uji benturan 2		
Gambar 11 – Persiapan sampel sambungan tersemen ≤ 10 mm menggunakan lembar pelepas		
Gambar 12 – Modul FV dengan posisi untuk sampel pengelupasan pada lembaran depan atau lembaran belakang		
Gambar 13 – Kurva pengukuran pengelupasan yang umum.....		
Gambar 14 – Sampel uji lap shear untuk membuktikan sambungan tersemen ..		
Gambar 15 – Alur uji lap-shear		
Gambar B.1 – Contoh pengaturan uji untuk uji kebakaran.....		
Gambar C.1 – Contoh kemungkinan potongan.....		

Tabel 1 – Uji stres lingkungan	3
Tabel 2 – Uji inspeksi umum	4
Tabel 3 – Uji bahaya kejutan listrik	4
Tabel 4 – Uji bahaya kebakaran	5
Tabel 5 – Uji stres mekanis	5
Tabel 6 – Uji yang diperlukan, tergantung pada Kelas	6
Tabel 7 – Pita untuk test finger	17
Tabel 8 – Uji torsi pada sekrup menurut IEC 60598-1:2014, Tabel 4.1	37
Tabel 9 – Faktor koreksi ketinggian untuk tegangan uji untuk ketinggian pengoperasian (instalasi) yang lebih tinggi dari 2.000 m	50
Tabel 10 – Faktor koreksi ketinggian untuk tegangan uji untuk ketinggian pengujian (laboratorium) yang lebih rendah dari 2.000 m.....	51
Tabel 11 – Rating tegangan impuls	51
Tabel C.1 – Gambaran umum uji	60

Prakata

SNI IEC 61730-2:2023, *Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan pengujian*, merupakan standar revisi dari SNI IEC 61730-2:2016, *Kualifikasi keamanan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan pengujian*. Standar ini disusun dengan jalur adopsi tingkat keselarasan identik dari IEC 61730-2:2023, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*, dengan metode adopsi terjemahan satu bahasa dan ditetapkan oleh BSN Tahun 2024.

Perubahan dalam Standar ini meliputi:

- a) MST 06: Uji ketajaman tepi direvisi.
- b) MST 14: Uji tegangan impuls berisi koreksi teknis pada Gambar 4.
- c) MST 21: Uji temperatur telah dihapus dari standar ini karena modul yang diuji secara individual dalam sistem pemasangan yang tidak dibatasi di iklim terbuka di bawah 40 °C beroperasi pada atau di bawah temperatur pengoperasian persentil ke-98, yaitu 70 °C. Dengan demikian, persyaratan IEC 61730-1 yang ada untuk RTI/RTE/TI minimum 90 °C sudah memadai. Untuk mengatasi modul yang beroperasi pada temperatur lebih tinggi, IEC TS 63126 menyertakan lampiran informatif guna menjelaskan pengujian dan teknik analisis yang sesuai untuk memperkirakan temperatur pengoperasian persentil ke-98. Ini mencakup efek sistem seperti metode pemasangan yang membatasi aliran udara dan mengakibatkan temperatur pengoperasian modul persentil ke-98 melebihi 70 °C.
- d) MST 24: Uji kemampuan tersulut direvisi.
- e) MST 26: Uji beban lebih arus balik direvisi.
- f) MST 32: Uji kerusakan modul tidak lagi diperlukan untuk modul Kelas 0.
- g) MST 54: Alih-alih pengujian berurutan dengan satu modul, sekarang satu modul untuk rangkaian B harus diradiasi dari sisi depan dan modul lainnya dari belakang selama siklus 60 kWh/m².
- h) MST 57: Evaluasi koordinasi insulasi ditambahkan.
- i) Semua referensi MQT diperbarui ke seri IEC 61215 yang direvisi Ed.2.0 2021.
- j) Modul dua sisi: Persyaratan diperbarui untuk Kinerja pada STC MST 02, Uji fungsionalitas diode *bypass* MST 07, Uji ketahanan titik panas MST 22, Uji termal diode *bypass* MST 25, dan Uji siklus termal MST 51 (TC200).
- k) Istilah “Modul yang sangat besar” didefinisikan dan Lampiran C (normatif) “Penggunaan sampel ukuran contoh untuk modul yang sangat besar” ditambahkan.

Dalam Standar ini istilah “*this document*” diterjemahkan menjadi “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 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use – Part 1: General requirements* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 61010-1:2016, *Persyaratan keselamatan perlengkapan listrik untuk penggunaan pengukuran, kontrol, dan laboratorium – Bagian 1: Persyaratan umum*.
- 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 61730-1, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC 61730-1:2016, *Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan konstruksi.*
- 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 TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting* telah diadopsi dengan tingkat keselarasan identik menjadi SNI IEC TS 62915:2018, *Modul fotovoltaik (F) – Pengesahan jenis, kualifikasi desain dan keselamatan – Pengujian ulang.*

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 konsensus 7 Agustus 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 20 September 2024 sampai dengan 4 Oktober 2024 dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Apabila terdapat keraguan atas terjemahan ini, maka disarankan melihat pada dokumen asli standar IEC 61730-2:2023, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing* 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 2: Persyaratan pengujian

1 Ruang lingkup

Ruang lingkup IEC 61730-1 juga berlaku pada bagian IEC 61730 ini. IEC 61730-1 menguraikan persyaratan konstruksi, sementara standar ini mencantumkan uji yang perlu dilakukan pada modul FV untuk memenuhi kualifikasi keselamatan. Standar ini hanya berlaku untuk kualifikasi keselamatan sesuai dengan IEC 61730-1.

Rangkaian uji yang tercantum dalam standar ini mungkin tidak dapat menguji semua aspek keselamatan terkait penggunaan modul FV di semua penerapannya. Standar ini menggunakan rangkaian uji terbaik yang tersedia pada saat penulisannya.

Tujuan dari standar ini adalah untuk memberikan rangkaian pengujian yang dimaksudkan untuk memverifikasi keamanan modul FV yang konstruksinya telah dinilai oleh IEC 61730-1. Rangkaian uji dan kriteria kelulusan dirancang untuk mendeteksi potensi kerusakan komponen internal dan eksternal modul FV yang dapat mengakibatkan kebakaran, kejutan listrik, dan/atau cedera personal. Standar ini menjelaskan persyaratan uji keselamatan dasar dan uji tambahan yang merupakan fungsi dari aplikasi penggunaan akhir modul FV. Kategori uji meliputi inspeksi umum, bahaya kejutan listrik, bahaya kebakaran, stres mekanis, dan stres lingkungan.

Persyaratan pengujian tambahan yang diuraikan dalam standar ISO terkait, atau kode nasional atau lokal yang mengatur instalasi dan penggunaan modul FV ini di lokasi yang dimaksudkan, dipertimbangkan sebagai tambahan dari persyaratan yang terdapat dalam standar ini.

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 amendemen) yang berlaku.

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60068-2-1:2007, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2:2007, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-3-5, *Environmental testing – Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers*

IEC 60598-1:2020, *Luminaires – Part 1: General requirements and tests*

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

IEC 60695-2-10, *Fire hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*

RSNI3 IEC 61730-2:2023

IEC 60950-1:2005, *Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements*
IEC 60950-1:2005/AMD1:2009
IEC 60950-1:2005/AMD2:2013

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use – 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 61215-2, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures*

IEC 61730-1:2023, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

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

IEC 62788-2-1:2023, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2-1: Polymeric materials – Frontsheet and backsheets – Safety requirements*

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

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification – Retesting*

ISO 813, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of adhesion to a rigid substrate – 90 degree peel method*

ISO 4587:2003, *Adhesives – Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies*

ISO 5893, *Rubber and plastics test equipment – Tensile, flexural and compression types (constant rate of traverse) – Specification*

ISO 11925-2:2020, *Reaction to fire tests – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test*

ISO 23529, *Rubber – General procedures for preparing and conditioning test pieces for physical test methods*

ANSI/UL 1703:2015, *Flat-plate photovoltaic modules and panels*

ANSI Z97.1:2009, *Standard – Safety Glazing Materials Used in Buildings – Safety Performance Specifications and Methods of Test*

3 Istilah dan definisi

Untuk keperluan Standar ini, istilah dan definisi yang tercantum dalam IEC 61730-1 dan IEC TS 61836, dan berikut yang berlaku.

ISO dan IEC mengelola basis data terminologi 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

sampel representatif

sampel yang mencakup semua komponen modul, kecuali beberapa bagian yang berulang

3.2

modul yang sangat besar

modul yang salah satu bagian dimensinya melebihi 2,2 m atau dua sisinya memiliki dimensi yang melebihi 1,5 m

CONTOH: modul berukuran 2,3 m × 0,3 m dapat dikatakan sangat besar, begitu pula modul berukuran 1,6 m × 1,6 m.

4 Kategori uji

4.1 Umum

Bahaya yang dijelaskan dalam subpasal berikut dapat memengaruhi keselamatan modul FV. Prosedur dan kriteria uji dijelaskan sesuai dengan bahaya ini. Uji spesifik untuk modul FV akan bergantung pada aplikasi penggunaan akhir yang uji minimumnya ditentukan dalam Pasal 5.

CATATAN Uji keselamatan modul FV diberi label MST.

Tabel 1 hingga Tabel 5 menampilkan asal uji yang diperlukan. Untuk beberapa uji, kolom ketiga mencantumkan asal uji hanya sebagai informasi; persyaratan uji yang sesuai tercantum dalam 10.1 hingga 10.34. Uji lainnya didasarkan pada atau identik dengan pengujian MQT yang ditentukan dalam seri IEC 61215. Acuan uji yang relevan tercantum pada kolom terakhir. Beberapa uji yang berdasar pada IEC 61215 telah dimodifikasi untuk IEC 61730-2 dan disertakan dalam 10.1 hingga 10.34.

4.2 Uji stres lingkungan

Tabel 1 – Uji stres lingkungan

Uji	Judul	Standar acuan	Berdasar pada
			IEC 61215-2
MST 51	Siklus termal (TC50 atau TC200)	–	MQT 11
MST 52	Kelembapan-beku (HF10)	–	MQT 12
MST 53	Panas-lembap (DH200 atau DH1000)	–	MQT 13
MST 54	Prakondisi UV	–	MQT 10
MST 55	Pengondisian dingin	IEC 60068-2-1	–
MST 56	Pengondisian panas kering	IEC 60068-2-2	–

4.3 Uji inspeksi umum

Tabel 2 – Uji inspeksi umum

Uji	Judul	Standar acuan	Berdasar pada
			IEC 61215-2
MST 01	Inspeksi visual	–	MQT 01
MST 02	Kinerja pada STC	–	MQT 6.1
MST 03	Penentuan daya maksimum	–	MQT 02
MST 04	Ketebalan insulasi	–	–
MST 05	Ketahanan penandaan	IEC 60950-1	–
MST 06	Uji ketajaman tepi	–	–
MST 07	Uji fungsionalitas diode <i>bypass</i>	–	–
MST 57	Evaluasi koordinasi insulasi	IEC 60664-1	–

4.4 Uji bahaya kejutan listrik

Uji ini dirancang untuk menilai risiko pada manusia ketika terjadi kejutan listrik atau cedera saat kontak dengan bagian modul FV bermuatan listrik akibat desain, konstruksi, atau kegagalan yang disebabkan oleh lingkungan atau pengoperasian.

Tabel 3 – Uji bahaya kejutan listrik

Uji	Judul	Standar acuan	Berdasar pada
			IEC 61215-2
MST 11	Uji aksesibilitas	IEC 61032	–
MST 12	Uji kerentanan terhadap potongan	ANSI/UL 1703:2015	–
MST 13	Uji kontinuitas ikatan ekuipotensial	ANSI/UL 1703:2015	–
MST 14	Uji tegangan impuls	IEC 60060-1	–
MST 16	Uji insulasi	–	MQT 03
MST 17	Uji arus bocor basah	–	MQT 15
MST 42	Uji kekuatan terminasi	IEC 62790	MQT 14
MST 57	Evaluasi koordinasi insulasi	IEC 60664-1	-

4.5 Uji bahaya kebakaran

Uji ini menilai potensi bahaya kebakaran akibat pengoperasian modul FV atau kegagalan komponennya.

Tabel 4 – Uji bahaya kebakaran

Uji	Judul	Standar acuan	Berdasar pada
			IEC 61215-2
MST 22	Uji ketahanan titik panas	–	MQT 09
MST 23 ^a	Uji kebakaran	–	Kode Nasional/Lokal
MST 24	Uji kemampuan tersulut	ISO 11925-2:2020	–
MST 25	Uji termal diode <i>bypass</i>	–	MQT 18
MST 26	Uji beban lebih arus balik	–	–
a Uji kebakaran diatur oleh pemerintah lokal dan biasanya hanya diperlukan untuk bangunan yang terintegrasi atau produk tambahan bangunan, biasanya untuk memverifikasi ketahanan bangunan terhadap kebakaran dari sumber eksternal.			

4.6 Uji stres mekanis

Uji ini bertujuan untuk meminimalkan potensi cedera akibat kegagalan mekanis.

Tabel 5 – Uji stres mekanis

Uji	Judul	Standar acuani	Berdasar pada
			IEC 61215-2
MST 32	Uji kerusakan modul	ANSI Z97.1	–
MST 33	Uji sambungan sekrup	IEC 60598-1	–
MST 34	Uji beban mekanis statis	–	MQT 16
MST 35	Uji pengelupasan	ISO 5893	–
MST 36	Uji kekuatan <i>lap shear</i>	ISO 4587:2003	–
MST 37	Uji <i>creep</i> pada material	–	–
MST 42	Uji kekuatan terminasi	–	MQT 14

Rekomendasi untuk pengujian modul FV dari produksi tercantum dalam Lampiran A.

5 Kelas dan prosedur uji yang diperlukan

Uji spesifik yang akan dilakukan pada modul FV, bergantung pada Kelas yang ditentukan dalam IEC 61730-1 yang mengacu pada IEC 61140, dijelaskan pada Tabel 6. Urutan pelaksanaan uji harus sesuai dengan Gambar 1. Beberapa uji harus dilakukan sebagai uji prakondisi.

Tabel 6 – Uji yang diperlukan, tergantung pada Kelas

Kelas menurut IEC 61140			Uji
II	0	III	
			Uji stres lingkungan:
X	X	X	MST 51 Siklus termal (T50 atau T200)
X	X	X	MST 52 Kelembapan-beku (HF10)
X	X	X	MST 53 Panas-lembap (DH200 atau DH1.000)
X	X	X	MST 54 Prakondisi UV (15 kWh/m ² atau 60 kWh/m ²)
X ^a	X ^a	X ^a	MST 55 Pengondisian dingin
X ^a	X ^a	X ^a	MST 56 Pengondisian panas kering
			Uji inspeksi umum:
X	X	X	MST 01 Inspeksi visual
X	X	X	MST 02 Kinerja pada STC
X	X	X	MST 03 Penentuan daya maksimum
X ^c	X ^c	-	MST 04 Ketebalan insulasi
X	X	X	MST 05 Ketahanan penandaan
X	X	X	MST 06 Uji ketajaman tepi
X	X	X	MST 07 Evaluasi koordinasi insulasi
			Uji bahaya kejutan listrik:
X	X	-	MST 11 Uji aksesibilitas
X ^c	X ^c	-	MST 12 Uji kerentanan terhadap potongan
X	X	-	MST 13 Uji kontinuitas untuk ikatan ekuipotensial
X	X	-	MST 14 Uji tegangan impuls
X	X	X	MST 16 Uji insulasi
X	X	-	MST 17 Uji arus bocor basah
X	X	X	MST 42 Uji kekuatan terminasi
X	X	X	MST 57 Evaluasi koordinasi insulasi
			Uji bahaya kebakaran:
X	X	X	MST 22 Uji ketahanan titik panas
X ^b	X ^b	X ^b	MST 23 Uji kebakaran
X	X	X	MST 24 Uji kemampuan tersulut
X	X	X	MST 25 Uji termal diode <i>bypass</i>
X	X	-	MST 26 Uji beban lebih arus balik
			Uji stres mekanis:
X	-	X	MST 32 Uji kerusakan modul
X	X	X	MST 33 Uji sambungan sekrup
X	X	X	MST 34 Uji beban mekanis statis
X ^{c,e}	X ^{c,e}	X ^{c,e}	MST 35 Uji pengelupasan
X ^{d,e}	X ^{d,e}	X ^{d,e}	MST 36 Uji kekuatan <i>lap shear</i>
X	X	X	MST 37 Uji <i>creep</i> pada material

- X Uji diperlukan.
- Uji tidak perlu dilakukan.
 - ^a Hanya diperlukan untuk membuktikan penurunan Tingkat Polusi PD=2 menjadi PD=1.
 - ^b Uji kebakaran diatur secara nasional dan biasanya hanya diperlukan untuk bangunan yang terintegrasi atau produk tambahan bangunan. Oleh karena itu, penerapan uji kebakaran tidak bergantung pada Kelas, namun pada lokasi pemasangan.
 - ^c Uji ini tidak berlaku untuk rakitan dengan rekatan kaku-ke-kaku (misalnya modul FV kaca/kaca).
 - ^d Uji ini tidak berlaku untuk rakitan dengan rekatan kaku-ke-fleksibel atau fleksibel-ke-fleksibel.
 - ^e Hanya diperlukan untuk bukti sambungan tersemen di sekitar tepi modul FV.

6 Pengambilan sampel

Minimum 10 modul FV dan dua modul FV tanpa *frame* digunakan untuk pengujian keselamatan (ditambah cadangan sesuai keinginan). Untuk membuktikan penurunan Tingkat Polusi ke PD 1, diperlukan satu modul FV tambahan. Jika uji Rangkaian F dilakukan secara paralel, diperlukan antara satu hingga tiga modul tambahan.

Jika sambungan tersemen menurut MST 35 atau MST 36 memenuhi syarat, maka diperlukan salah satu dari hal-hal berikut:

- Dua modul FV tanpa *frame* diuji dalam rangkaian pengujian B, satu modul dengan sisi depan menghadap cahaya dan modul yang lain dengan sisi belakang menghadap cahaya. Sampel uji dengan sisi depan terpapar harus digunakan dalam evaluasi. Satu modul FV tanpa *frame* tambahan diperlukan untuk menguji kekuatan rekatan awal jika uji pengelupasan (MST 35) digunakan untuk evaluasi.
- Untuk konstruksi Kaca/Kaca, diperlukan 20 sampel tambahan sesuai dengan 10.25.2 untuk uji kekuatan *lap shear* (MST 36) guna membuktikan sambungan tersemen.

Seluruh sampel uji harus identik secara teknis (memiliki komponen yang sama). Untuk MST 24 dan MST 32, modul FV yang lengkap dalam setiap detailnya namun tidak berfungsi atau berdaya rendah, dan lain-lain, dapat diterima.

Semua sampel uji kecuali sampel uji untuk MST 35 dan MST 36 sebaiknya diambil secara acak dari satu atau lebih *batch* produksi.

Modul FV tambahan untuk MST 23 mungkin diperlukan (modul FV yang lengkap dalam setiap detailnya namun tidak berfungsi atau berdaya rendah, dan lain-lain, dapat diterima).

Modul FV harus dibuat dari material dan komponen tertentu sesuai dengan gambar dan lembar proses yang relevan, serta telah menjalani inspeksi normal, prosedur kendali mutu, dan penerimaan produksi dari pabrikan modul. Modul FV harus lengkap dalam setiap detailnya dan harus disertai dengan instruksi penanganan, pemasangan, dan penyambungan dari pabrikan. Jika modul FV yang hendak diuji merupakan prototipe desain baru dan bukan dari produksi, fakta ini harus dicantumkan dalam laporan uji (lihat Pasal 7). Untuk pengambilan sampel dalam konteks uji ulang, misalnya multipel *bill of material* (BOM), silakan lihat Pasal 8 serta IEC TS 62915.

Penggunaan sampel representatif sebagai pengganti modul yang sangat besar dijelaskan dalam Lampiran C.

7 Laporan uji

Hasil penilaian terkait IEC 61730-1 dan IEC 61730-2 harus dituangkan dalam satu laporan uji gabungan atau dua laporan uji terpisah. Hasil penilaian harus dilaporkan, biasanya dalam laporan uji dan harus mencakup semua informasi yang diminta oleh klien dan diperlukan untuk interpretasi uji dan semua informasi yang diperlukan oleh metode yang digunakan:

- a) judul;
- b) nama dan alamat laboratorium uji serta lokasi uji dilakukan;
- c) identifikasi unik dari laporan dan dari setiap halaman;
- d) nama dan alamat klien, jika diperlukan;
- e) deskripsi dan identifikasi *item* yang diuji;
- f) karakterisasi dan kondisi *item* uji;
- g) tanggal penerimaan *item* uji dan tanggal uji, jika diperlukan;
- h) identifikasi metode uji yang digunakan;
- i) referensi terkait prosedur pengambilan sampel, jika relevan;
- j) setiap penyimpangan dari, penambahan pada, atau pengecualian dari metode uji, dan informasi lain apa pun yang relevan dengan uji spesifik, seperti kondisi lingkungan atau metode uji atau prosedur uji;
- k) pengukuran, pemeriksaan dan hasil turunan yang didukung oleh tabel, grafik, sketsa dan foto yang sesuai, termasuk tegangan sistem maksimum, Kelas menurut IEC 61140, teknik pemasangan dan setiap kegagalan yang diamati;
- l) pernyataan yang menunjukkan apakah uji tegangan impuls dilakukan pada modul FV atau laminasi (modul FV tanpa *frame*);
- m) pernyataan perkiraan ketidakpastian hasil uji (jika relevan);
- n) tanda tangan dan jabatan, atau tanda pengenal yang setara dari orang yang bertanggung jawab atas isi laporan, dan tanggal penerbitan;
- o) jika relevan, pernyataan yang menyatakan bahwa hasil hanya berhubungan dengan *item* yang diuji;
- p) pernyataan bahwa laporan harus tidak dibuat salinannya kecuali secara lengkap, tanpa izin tertulis dari laboratorium.

Salinan laporan ini harus disimpan oleh pabrikan sebagai referensi.

8 Pengujian

Modul FV harus dibagi menjadi beberapa kelompok dan menjalani uji keselamatan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1, sesuai dengan urutan yang ditentukan. Modul FV harus dipilih sedemikian rupa sehingga uji stres lingkungan 4.2 terpenuhi. Setiap kotak di Gambar 1 mengacu pada subpasal sesuai yang dijelaskan dalam Pasal 4.

Modul FV cadangan dapat disertakan dalam program uji keselamatan asalkan modul tersebut telah diuji secara lingkungan untuk memenuhi prasyarat yang diperlukan.

Prosedur dan kriteria uji, termasuk pengukuran awal dan akhir jika diperlukan, dirinci dalam 10.2 hingga 10.34. Beberapa uji serupa dengan uji dalam IEC 61215-2 dan dirujuk dalam Pasal 4. Dalam melakukan uji ini, instruksi penanganan, pemasangan, dan penyambungan dari pabrikan harus dipatuhi dengan ketat.

Satu modul FV untuk urutan B harus diradiasi dari sisi depan sampel uji dan satu modul lagi dari sisi belakang selama siklus 60 kWh/m² (MST 54).

Pengukuran kontrol antara (MST 01, MST 16, MST 17) setelah setiap uji stres di Gambar 1 bersifat informatif dan boleh dilewati. Pengukuran akhir diperlukan.

Waktu tunggu (48 jam hingga 96 jam) pada akhir urutan harus memastikan bahwa waktu minimum antara inspeksi kontrol langsung setelah selesainya setiap uji lingkungan (penghitung waktu dimulai setelah selesainya MST 51, MST 52 dan MST 53) dengan inspeksi visual kedua tetap dipertahankan. Hal ini dikarenakan adanya kemungkinan variasi cacat visual yang terlihat dalam beberapa jam dan dalam beberapa hari setelah uji stres lingkungan. Waktu tunggu tidak berlaku untuk pemeriksaan kontrol selain inspeksi visual.

Uji dalam urutan F dapat dilakukan pada modul terpisah. Uji untuk MST 25 dapat dilakukan pada sampel yang disiapkan secara khusus (misalnya termokopel di dalam laminasi atau *junction box*). Jika salah satu uji individual dari urutan tersebut berdampak pada hasil dari salah satu uji berikutnya, sampel terpisah harus digunakan. Potensi dampak pada output modul dapat diverifikasi oleh MST 02.

Jumlah modul FV yang diperlukan untuk uji kebakaran MST 23 akan bergantung pada prosedur uji yang relevan. Pengujian ulang, misalnya multipel *BOM*, harus dilakukan sesuai dengan IEC TS 62915. Urutan uji yang direkomendasikan telah dipilih untuk mengidentifikasi perubahan buruk pada produk yang dimodifikasi.

9 Kriteria kelulusan

Produk yang harus dievaluasi harus dinilai telah lulus uji kualifikasi keselamatan apabila sampel uji memenuhi semua kriteria setiap uji individu dan tidak terjadi kehilangan kontinuitas listrik selama dilakukan urutan pengujian A hingga F. Produk dianggap tidak memenuhi persyaratan dalam standar ini apabila terdapat sampel yang gagal dalam satu atau lebih uji.

Jika terjadi kegagalan, pabrikan harus menyiapkan analisis kegagalan dan mengusulkan tindakan perbaikan. Tergantung pada modifikasi yang diusulkan, program evaluasi ulang dapat ditentukan sebelum pengujian (IEC TS 62915), termasuk tinjauan desain sesuai IEC 61730-1.

10 Prosedur uji

10.1 Umum

Kecuali ditentukan lain, semua gaya yang diterapkan dalam N harus memiliki akurasi 5%.

Kecuali ditentukan lain, semua torsi (Nm) harus memiliki akurasi 5%.

10.2 Inspeksi visual MST 01

10.2.1 Tujuan

Untuk mendeteksi dan mendokumentasikan segala cacat visual dan perubahan pada modul FV.

10.2.2 Prosedur

Uji ini identik dengan MQT 01 IEC 61215-2 dengan kriteria inspeksi tambahan

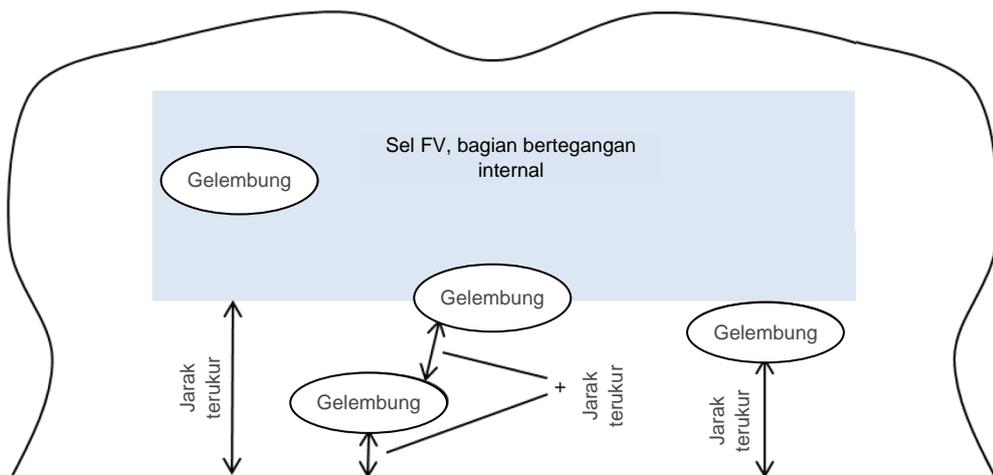
- kondisi lain yang boleh jadi memengaruhi keselamatan.
- selama inspeksi akhir, periksa kesesuaian penandaan pada 5.2 dari IEC 61730-1:2022 setelah Uji ketahanan penandaan (MST 05) sebagaimana dijelaskan dalam 10.6.
- selama inspeksi akhir, periksa tepian yang tajam sebagaimana dijelaskan dalam 10.7 (MST 06).
- selama inspeksi akhir, periksa jarak minimum sebagaimana ditentukan dalam Tabel 3 dan 4 IEC 61730-1:2022 menurut MST 57. Lihat Gambar 2a dan Gambar 2b untuk contoh pengukuran jarak rambat ketika terjadi gelembung. Gelembung diasumsikan konduktif untuk evaluasi ini. Untuk penilaian jarak ruang dan rambat, lihat Lampiran C IEC 61730-1:2022.
Disarankan untuk memeriksa jarak selama inspeksi awal untuk memvalidasi bahwa modul FV memenuhi persyaratan insulasi.
- Selama inspeksi akhir, periksa apakah terdapat tanda-tanda *creeping* pada sambungan antara *junction box* dan modul.

Catat dan/atau foto ciri dan posisi retakan, gelembung, atau de-laminasi, dan lain-lain, yang boleh jadi memperburuk dan berdampak buruk pada keselamatan modul FV pada pengujian berikutnya. Kondisi visual selain cacat utama yang tercantum di bawah ini dapat diterima untuk mendapatkan persetujuan uji keselamatan.

10.2.3 Kriteria kelulusan

Untuk keperluan uji keselamatan ini, hal-hal berikut ini dianggap sebagai cacat visual utama:

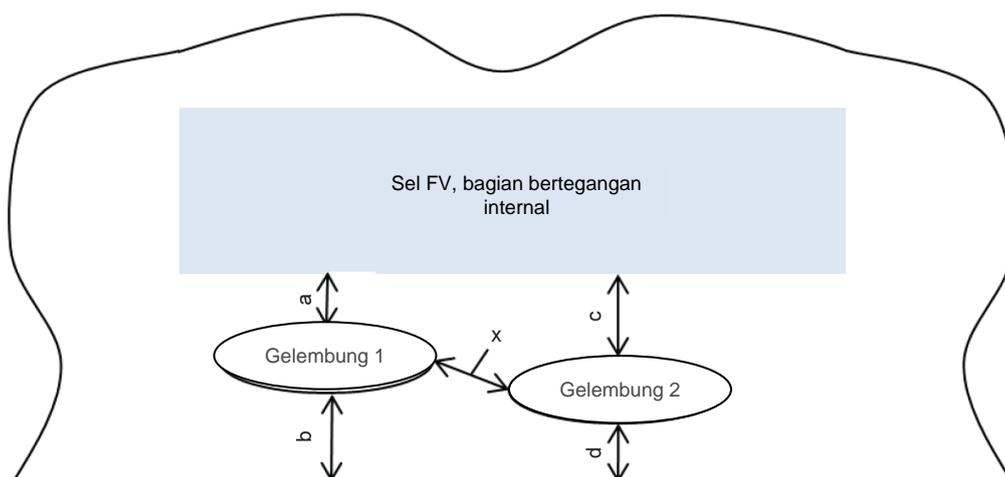
- a) permukaan luar rusak, retak, atau sobek;
- b) permukaan luar bengkok atau tidak sejajar, termasuk lembaran depan, lembaran belakang, *frame* dan *junction box*, sehingga membahayakan keselamatan modul FV;
- c) pada gelembung sambungan tersemen, material asing, atau de-laminasi dengan jarak terdekat satu sama lain ≤ 2 kali jarak minimum yang disyaratkan pada sambungan tersemen (lihat Tabel 3 dan 4 IEC 61730-1:2022) harus dievaluasi sebagai konduktif dan terhubung secara elektrik. Jarak terpendek dari dan ke gelembung atau de-laminasi tersebut melalui material insulasi harus secara total tidak lebih pendek dari jarak minimum yang disyaratkan pada sambungan tersemen. Lihat Gambar 2b sebagai contoh;
- d) pada ikatan perekat selain pada c) gelembung atau de-laminasi dengan jarak terdekat satu sama lain ≤ 2 kali jarak rambat minimum yang disyaratkan (lihat Tabel 3 dan 4 IEC 61730-1:2022) harus dievaluasi sebagai konduktif dan terhubung secara elektrik. Jarak terpendek dari dan ke gelembung atau de-laminasi tersebut melalui material insulasi harus secara total tidak lebih pendek dari jarak rambat minimum yang disyaratkan. Lihat Gambar 2b sebagai contoh;
- e) kehilangan integritas mekanis sehingga keselamatan instalasi dan pengoperasian modul FV akan terganggu;
- f) jika integritas mekanis bergantung pada laminasi atau cara perekatan lainnya, jumlah luas seluruh gelembung tidak boleh melebihi 1% dari total luas modul FV;
- g) terdapat bukti adanya komponen yang meleleh atau terbakar;
- h) penandaan tidak sesuai dengan 5.2 IEC 61730-1:2022 dan uji ketahanan penandaan (MST 05) pada inspeksi akhir;
- i) tepi tidak memenuhi MST 06 uji ketajaman tepi pada inspeksi akhir;
- j) Selama inspeksi akhir harus menunjukkan tidak ada tanda-tanda *creeping* pada sambungan antara *junction box* dan modul.



Tepi laminasi, bagian yang dapat diakses

IEC

a) Contoh penilaian de-laminasi ketika mengukur jarak rambat dan jarak ruang, atau *distance through insulation*



Tepi laminasi, bagian yang dapat diakses

IEC

b) Contoh penilaian jarak de-laminasi (x) ketika mengukur jarak rambat dan jarak ruang, atau *distance through insulation*

Gambar 2 – Penilaian gelembung untuk evaluasi jarak ruang dan jarak rambat, atau *distance through insulation*

CONTOH 1 Sambungan tersemen:

Jika jarak x antar gelembung adalah ≤ 2 kali jarak minimum pada sambungan tersemen, maka jalur terpendek melalui insulasi akan diukur dengan menjumlahkan jarak a dan d . Jika jarak x antar gelembung > 2 kali jarak minimum pada sambungan tersemen, maka jalur terpendek melalui insulasi akan diukur dengan menjumlahkan jarak a dan b dan masing-masing dengan menjumlahkan jarak c dan d . Jumlah yang lebih pendek dari kedua jumlah tersebut perlu mematuhi persyaratan yang ditetapkan dalam IEC 61730-1.

CONTOH 2 Jarak rambat:

Jika jarak x antar gelembung adalah ≤ 2 kali jarak rambat minimum, maka jalur terpendek sepanjang antarmuka (jarak rambat) melalui sistem insulasi akan diukur dengan menjumlahkan jarak a dan d . Jika jarak x antar gelembung > 2 kali jarak rambat minimum, maka jalur terpendek sepanjang antarmuka (jarak rambat) melalui sistem insulasi akan diukur dengan menjumlahkan jarak a dan b dan masing-masing dengan menjumlahkan jarak c dan d . Jumlah yang lebih pendek dari kedua jumlah tersebut perlu mematuhi persyaratan yang ditetapkan dalam IEC 61730-1.

10.3 Kinerja pada STC MST 02

10.3.1 Tujuan

Uji ini harus memverifikasi *rating* arus hubung-singkat (I_{sc}) dan tegangan rangkaian-terbuka (V_{oc}) untuk modul *monofacial*, dan karakterisasi I-V tambahan dari modul *bifacial* seperti yang dijelaskan dalam 10.3.2.

10.3.2 Prosedur

Modul harus distabilkan sesuai dengan MQT 19.1 IEC 61215-2. Prosedur pengujian setara dengan MQT 06.1 di IEC 61215-2.

10.3.3 Kriteria kelulusan

I_{sc} dan V_{oc} yang diukur harus berada dalam toleransi yang diberikan oleh pabrikan.

10.4 Penentuan daya maksimum MST 03

10.4.1 Tujuan

Uji ini harus memverifikasi bahwa modul FV menunjukkan karakteristik elektrik perangkat fotovoltaik yang berfungsi penuh.

10.4.2 Prosedur

Prosedur uji ini setara dengan MQT 02 di IEC 61215-2.

10.4.3 Kriteria kelulusan

Kurva IV harus tidak menunjukkan kelekukan lagi atau karakteristik tidak biasa lainnya jika dibandingkan dengan kurva IV awal yang diambil menurut MST 02 (misalnya disebabkan oleh diode yang “menyala”).

CATATAN Degradasi yang tidak homogen khususnya dalam modul FV merupakan penyebab risiko keselamatan dan kegagalan. Degradasi sel tunggal atau *substring* dapat menyebabkan titik panas, temperatur modul yang tinggi, atau diode yang bekerja secara permanen. MST 03 bertujuan untuk mendeteksi kasus-kasus tersebut.

10.5 Uji ketebalan insulasi MST 04

10.5.1 Tujuan

Uji ini harus memverifikasi kesesuaian hasil uji DTI IEC 62788-2-1 yang menentukan ketebalan insulasi minimum untuk lapisan tipis. Nilai yang diukur boleh lebih rendah dari yang ditentukan dalam IEC 62788-2-1, namun harus tidak lebih rendah dari yang ditentukan dalam Tabel 3 atau Tabel 4 IEC 61730-1:2022 tergantung pada Kelas modul FV menurut IEC 61140.

Uji dilakukan pada lembaran insulasi polimer sisi depan dan/atau sisi belakang.

Uji ini tidak berlaku untuk lapisan kaca.

10.5.2 Prosedur

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- a) Pilih tiga lokasi per sisi pada modul FV yang mewakili ketebalan minimum material insulasi polimer.

CATATAN 1 Biasanya ketebalan minimum dapat ditemukan pada sambungan solder, tepi modul FV tanpa *frame*, atau lekukan membran laminator.

- b) Dengan menerapkan metode yang sesuai, ukur ketebalan masing-masing lapisan yang memisahkan rangkaian listrik dari permukaan luar. Metode yang digunakan harus memiliki ketidakpastian pengukuran yang tidak lebih besar dari $\pm 10\%$ termasuk kemampuan reproduksi. Kemudian tentukan ketebalan bagian lapisan yang mewakili lapisan yang mengandalkan insulasi (lihat IEC 62788-2-1:2022).

CATATAN 2 Metode yang sesuai dapat bersifat destruktif atau non-destruktif, misalnya pemotongan area penampang dan pengukuran optik; pengukuran ultra-sonik, dll.

10.5.3 Kriteria kelulusan

Ketebalan insulasi yang diukur harus lebih besar dari persyaratan yang tercantum dalam Tabel 3 atau Tabel 4 IEC 61730-1:2022 tergantung pada Kelas modul FV menurut IEC 61140 dan mempertimbangkan ketidakpastian pengukuran pada uji dan pengaturannya.

Ketebalan lapisan pada Tabel 3 dan Tabel 4 IEC 61730-1:2022 merupakan persyaratan minimum, oleh karena itu ketidakpastian pengukuran harus dikurangkan dari nilai terukur.

CONTOH Untuk tegangan sistem 1.000 V dan desain modul FV menurut Kelas II, sisa ketebalan dari lapisan insulasi yang diandalkan harus 150 μm . Jika ketidakpastian pengukuran pada uji dan pengaturannya adalah $\pm 10\%$, nilai terukur harus sama dengan atau lebih besar dari 165 μm .

10.6 Ketahanan penandaan MST 05

Semua penandaan yang disyaratkan oleh standar ini harus tahan lama dan mudah dibaca. Dalam mempertimbangkan ketahanan penandaan, pengaruh penggunaan normal harus diperhitungkan.

Kesesuaian diuji melalui inspeksi, dengan pengukuran, dan dengan menggosok tanda dengan tangan, dilakukan dengan tekanan sedang selama 15 detik menggunakan sepotong kain yang dibasahi air, dan lakukan lagi dengan sepotong kain yang dibasahi *petroleum spirits* selama 15 detik. Setelah uji ini, penandaan harus dapat terbaca; pelat penanda harus tidak terlepas dengan mudah atau melengkung.

Petroleum spirits yang digunakan untuk uji tersebut merupakan *aliphatic solvent hexane* dengan kandungan aromatik maksimum 0,1%, nilai *kauri-butenol* 29, titik didih awal sekitar 65 °C, titik pengeringan sekitar 69 °C, dan massa jenis sekitar 0,7 kg/l.

CATATAN Uji ini identik dengan IEC 60335-1:2020, 7.14 dan IEC 60950-1:2013, 1.7.11.

10.7 Uji ketajaman tepi MST 06

10.7.1 Tujuan

Semua permukaan modul FV yang dapat diakses harus halus dan bebas dari tepi tajam, kasar, dan lain-lain, yang boleh jadi merusak insulasi konduktor atau menimbulkan risiko cedera selama penggunaan, penanganan, atau pemeliharaan.

10.7.2 Peralatan

Peralatannya adalah sebagai berikut:

Peralatan sebaiknya dapat digerakkan di sepanjang tepi yang akan diuji, saat memberikan gaya tetap sebesar 6,672 ($\pm 0,133$) N ke tengah sepotong silinder baja bulat (sisi melengkung), dengan diameter luar 12,7 mm, sebagaimana digambarkan dalam Gambar 3. Silinder baja bulat adalah kepala tester.

Potongan baja bulat dibungkus dengan tiga lapis pita, dua lapisan luar berfungsi sebagai pita sensor; lapisan dalam berfungsi sebagai pita penunjuk, atau pita-pita tersebut dipasang pada selongsong yang dapat dilepas berukuran 15,9 mm yang dipasang pada kepala baja 12,7 mm, seperti yang digambarkan dalam Gambar 3.

Pita penunjuk (lapisan dalam) – lebar 19,1 ($\pm 0,2$) mm, dilapisi perekat, dilapisi perekat tunggal, pita busa vinil, berwarna hitam, memiliki sifat pita yang tercantum dalam Tabel 7.

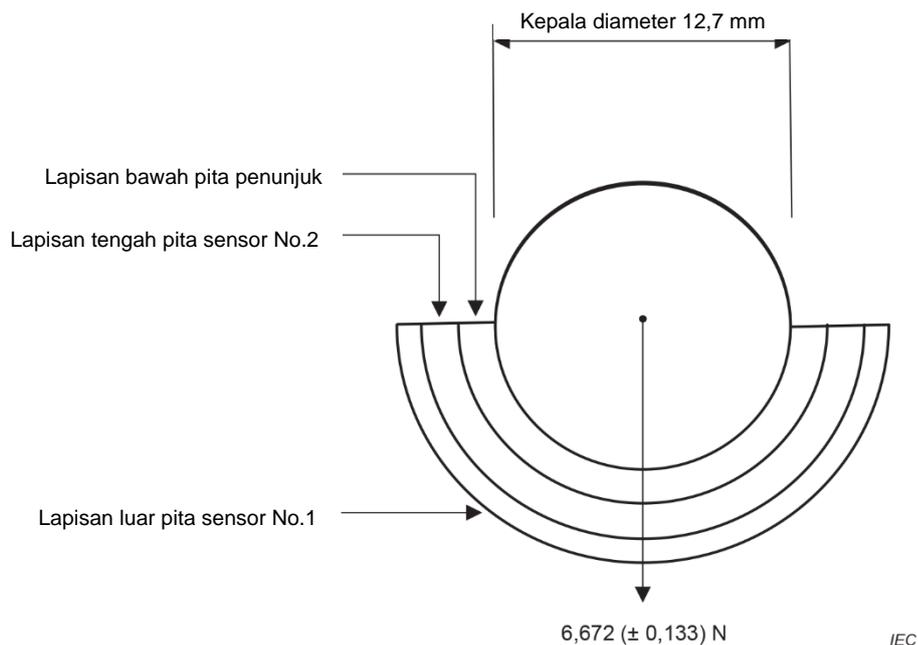
Pita pengindraan No. 2 (lapisan tengah) – lebar 19,1 ($\pm 0,2$) mm, dilapisi perekat ganda, pita busa vinil, berwarna putih, memiliki sifat pita yang tercantum dalam Tabel 7.

Pita pengindraan No. 1 (lapisan luar) – lebar 19,1 ($\pm 0,2$) mm, pita *skived tetraflourethylene* dilapisi perekat tunggal – warna alami, memiliki sifat pita yang tercantum dalam Tabel 7.

Setiap pita perekat harus dipasang pada sudut sekitar 180 derajat lingkaran kepala uji untuk mencegah peregangan pita perekat. Saat memasang pita ke kepala uji, pita tidak boleh diregangkan.

CATATAN 1 Alat uji yang sesuai dengan UL 1439 cukup untuk memenuhi persyaratan ini dan tersedia secara komersial.

CATATAN 2 Peralatan uji serupa dengan yang dijelaskan dalam IEC TR 62854.



Gambar 3 – Peralatan uji MST 06

Tabel 7 – Pita untuk test finger

	Pita penunjuk pita busa vinil hitam	Pita No. 2 pita busa vinil putih	Pita No. 1 pita <i>polytetraflourethylene</i>
Ketebalan [mm]	1,14 sampai 2,03	0,64 sampai 1,02	Total dengan lapisan perekat: 0,114 Lapisan saja: 0,064 sampai 0,089
Densitas [kg/m³]	400 sampai 433	224 sampai 321	-

10.7.3 Prosedur

Prosedurnya adalah sebagai berikut.

Untuk keperluan kemampuan reproduksi, uji ini dilakukan pada kondisi temperatur modul dan ruangan masing-masing $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ dan kelembapan relatif kurang dari 75%.

Kesesuaian ketajaman tepi harus diperiksa dengan inspeksi awal (total sampel empat (lima) masing-masing dari urutan B (B1 jika PD1), C, D, E pada Gambar 1).

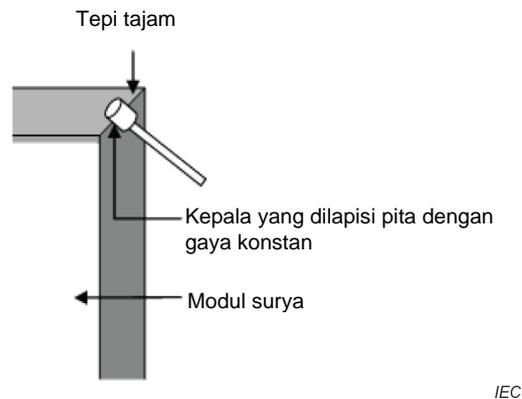
Permukaan kepala *tester* yang melengkung harus ditutup dengan tiga lapis pita sesuai urutan yang dijelaskan dalam 10.7.2.

Bagian tengah kepala *tester* ketajaman tepi yang dilapisi pita harus ditempatkan pada tepi yang akan diuji dengan cara yang diilustrasikan dalam Gambar 4.

Kepala yang dilapisi pita memberikan gaya konstan sebesar $6,672 (\pm 0,133)\text{ N}$ pada tepi yang akan diuji.

Saat terjadi kontak dengan tepi, *tester* harus segera digerakkan sepanjang tepi dan kemudian

digerakkan kembali ke posisi awalnya tanpa terlepas dari tepi. Jarak total sebaiknya tidak melebihi 100 mm. Waktu pergerakan tidak boleh lebih dari 5 detik dan tidak boleh kurang dari 2 detik. *Tester* kemudian harus ditarik dari tepi.



Gambar 4 – Posisi peralatan uji

Kepala yang dilapisi pita kemudian harus diperiksa untuk menentukan apakah telah terjadi penetrasi melalui kedua lapisan pengindraan. Apabila terjadi penetrasi melalui kedua lapisan pengindraan, pita penunjuk hitam akan terlihat melalui sayatan yang terjadi karena penetrasi tersebut.

Setiap tepi yang diuji harus diidentifikasi berdasarkan deskripsi lokasinya.

10.7.4 Pengukuran akhir

Tidak ada.

10.7.5 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut.

Penggunaan *tester* tepi tajam pada tepi yang dapat diakses sebagaimana dijelaskan dalam 10.7.3 harus tidak mengakibatkan terpotongnya dua lapisan luar pita pengindraan dan membuat pita penunjuk hitam terlihat melalui potongan yang dihasilkan.

10.8 Uji fungsionalitas diode *bypass* MST 07

Prosedur uji dan kriteria kelulusan setara dengan MQT 18.2 pada IEC 61215-2. Untuk modul *bifacial* yang diuji menurut Metode A, nilai arus hubung-singkat harus $I_{sc-aBSI}$.

10.9 Uji aksesibilitas MST 11

10.9.1 Tujuan

Untuk menentukan apakah modul FV dibangun dengan memberikan proteksi yang memadai terhadap aksesibilitas ke bagian bertegangan yang berbahaya (>35 V).

10.9.2 Peralatan

Peralatannya adalah sebagai berikut:

- Perlengkapan uji silinder Tipe 11 menurut Gambar 7 pada IEC 61032:1997.

- b) Ohmmeter atau tester kontinuitas.

10.9.3 Prosedur

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- a) Pasang dan kawatkan modul FV uji seperti yang direkomendasikan oleh pabrikan.
- b) Tempelkan ohmmeter atau tester kontinuitas ke terminal hubung-singkat modul FV dan ke perlengkapan uji.
- c) Lepaskan semua penutup, steker, dan koneksi dari modul FV yang dapat dilepas tanpa menggunakan alat.
- d) Selidiki dengan perlengkapan uji di dalam dan di sekitar semua konektor listrik, *junction box*, dan area lain di mana komponen bertegangan modul FV dapat diakses.
- e) Perlengkapan uji harus digunakan dengan menerapkan gaya sebesar 10 N.
- f) Pantau ohmmeter atau tester kontinuitas selama penyelidikan untuk menentukan apakah perlengkapan uji melakukan kontak elektrik ke bagian bertegangan modul FV.

10.9.4 Pengukuran akhir

Tidak ada.

10.9.5 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) Selama uji, harus tidak ada tahanan yang kurang dari 1 M Ω antara perlengkapan uji dan bagian bertegangan modul FV.
- b) Selama uji, *probe* harus tidak menyentuh bagian bertegangan elektrik apa pun.

Uji ini dilakukan pada awal dan akhir urutan sesuai dengan Gambar 1, tetapi juga dapat digunakan kapan saja selama sekuens uji jika terdapat alasan untuk meyakini bahwa rangkaian elektrik aktif telah terekspos salah satu uji lainnya.

10.10 Uji kerentanan terhadap potongan MST 12

10.10.1 Tujuan

Untuk menentukan apakah permukaan depan dan belakang modul FV yang terbuat dari bahan polimer mampu menahan penanganan rutin selama instalasi dan pemeliharaan tanpa membuat personel terkena bahaya kejutan elektrik.

Pengujian ini tidak berlaku untuk rakitan dengan rekatan kaku-ke-kaku (misalnya modul FV kaca/kaca).

10.10.2 Peralatan

Perlengkapan uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, didesain untuk menggambar benda berbentuk tertentu di atas permukaan modul FV dengan gaya yang diterapkan sebesar 8,9 N \pm 0,5 N. Benda berbentuk tertentu tersebut harus merupakan bilah baja yang dikeraskan setebal 0,64 mm \pm 0,05 mm yang cukup kaku agar tidak tertekuk ke samping selama pengujian. Ujungnya harus memiliki sudut atas 90° \pm 2° dan harus dibulatkan dengan radius 0,115 mm \pm 0,025 mm.

Peralatan dalam Gambar 5 adalah contoh dan peralatan lain yang membuktikan parameter

pengujian yang sama (misalnya gaya dan bentuk goresan) juga dapat digunakan jika kesetaraannya telah diverifikasi.

10.10.3 Prosedur

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Posisikan modul FV secara horizontal dengan permukaan uji menghadap ke atas.
- b) Perlengkapan uji ditempatkan di permukaan selama 1 menit dan kemudian ditarik melintasi permukaan modul FV dengan kecepatan $150 \text{ mm/s} \pm 30 \text{ mm/s}$. Ulangi prosedur ini lima kali dalam arah yang berbeda dengan mempertimbangkan titik paling kritis.
- c) Ulangi a) dan b) untuk permukaan polimer lain modul FV jika ada.

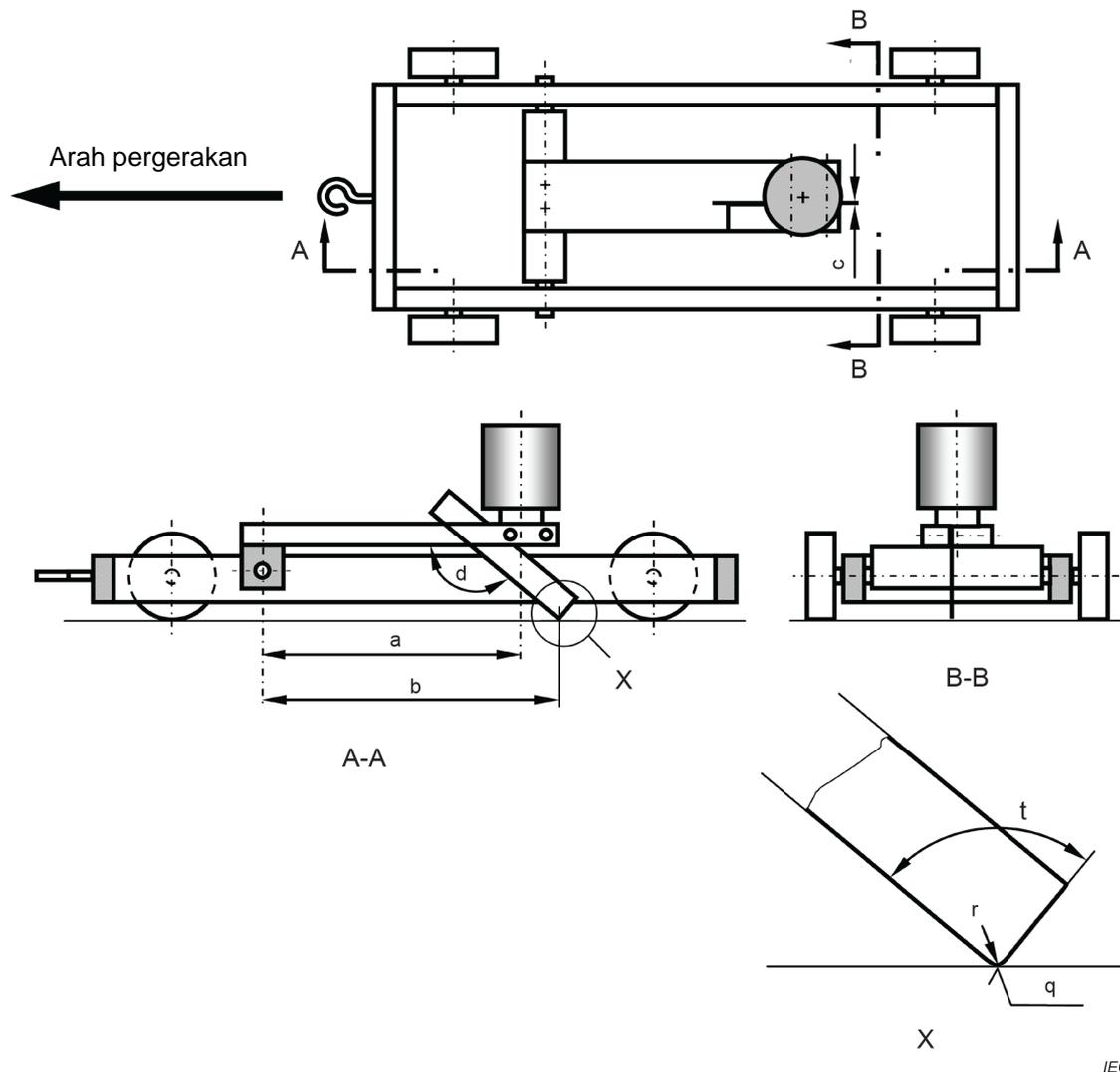
10.10.4 Pengukuran final

Ulangi MST 01, MST 16, dan MST 17. Untuk MST 16, foil konduktif yang memenuhi persyaratan yang dijelaskan dalam IEC 61215-2 MQT 03 harus ditempatkan di seluruh area yang terkena tekanan pemotongan, dan foil tersebut harus memanjang setidaknya 1 cm melewati semua area pemotongan.

10.10.5 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) Tidak ada bukti visual bahwa permukaan lembaran depan atau lembaran belakang telah terpotong sehingga memperlihatkan rangkaian aktif modul FV.
- b) MST 16, MST 17 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.



Keterangan

- a. 150 mm dari sumbu ke pusat berat
- b. 170 mm dari sumbu ke titik uji
- c. Strip baja karbon setebal $0,64 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$
- d. Sudut 140° antara bidang horizontal dan tepi strip
- q. Gaya total yang diberikan pada titik uji $8,9 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$
- r. Ujung bulat dengan radius $0,115 \text{ mm} \pm 0,025 \text{ mm}$
- t. Sudut atas strip baja $90^\circ \pm 2^\circ$

Gambar 5 – Uji kerentanan terhadap potongan

10.11 Uji kontinuitas ikatan ekuipotensial MST 13

10.11.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk memverifikasi jalur kontinu antara komponen konduktif yang dapat diakses dan bersentuhan langsung satu sama lain (contoh bagian rangka metal).

10.11.2 Peralatan

Peralatan pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Pasokan arus konstan yang mampu menghasilkan arus 2,5 kali dari rating perlindungan arus lebih maksimum modul FV yang diuji.
- b) Voltmeter yang sesuai.

Menurut IEC 61730-1, rating perlindungan arus lebih maksimum harus disediakan oleh pabrikan. Rating perlindungan arus lebih maksimum diverifikasi di MST 26.

CATATAN Jenis perangkat proteksi arus lebih yang umum adalah sekering atau pemutus arus.

10.11.3 Prosedur

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Pilih titik yang ditentukan pabrikan untuk ikatan ekuipotensial dan koneksi yang direkomendasikan. Pasang ke salah satu terminal suplai arus konstan.
- b) Pilih komponen konduktif terbuka yang berdekatan (terhubung) dengan perpindahan fisik terbesar dari titik pentanahan dan pasang ke terminal lain suplai arus.
- c) Pasang voltmeter ke dua komponen konduktif yang terpasang pada suplai arus di dekat kabel arus.
- d) Terapkan arus $250\% \pm 10\%$ dari rating perlindungan arus lebih maksimum modul FV selama minimal 2 menit.
- e) Ukur arus dan resultan tegangan jatuh yang digunakan.
- f) Kurangi arus menjadi nol.
- g) Ulangi untuk semua komponen konduktif yang dapat diakses lainnya.
- h) Ulangi pengujian untuk semua koneksi, terminal, dan/atau kabel yang disertakan atau ditentukan oleh pabrikan untuk pentanahan modul FV.

10.11.4 Pengukuran final

Tidak ada.

10.11.5 Kriteria kelulusan

Tahanan listrik antara komponen konduktif terbuka yang dipilih dan setiap komponen konduktif lainnya pada modul FV harus kurang dari $0,1 \Omega$. Tahanan listrik harus dihitung dari arus yang diberikan dan tegangan jatuh yang dihasilkan yang diukur pada titik koneksi modul FV (contoh *frame*).

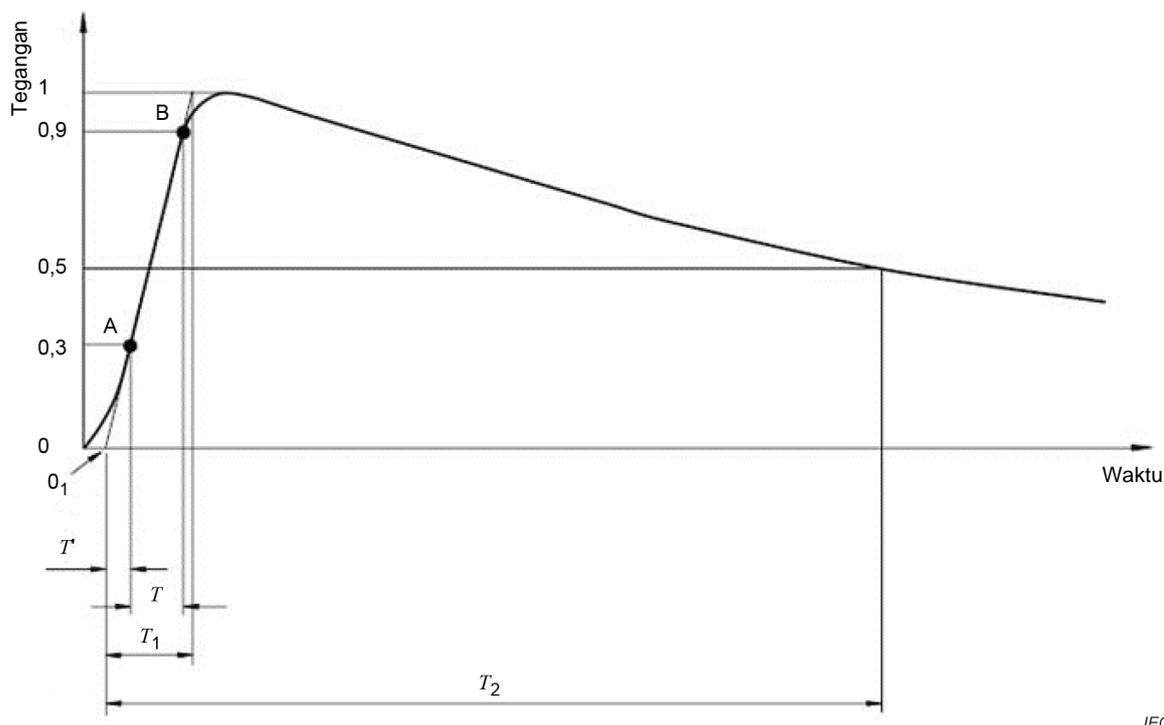
10.12 Uji tegangan impuls MST 14

10.12.1 Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memverifikasi kemampuan insulasi modul FV dalam menahan tegangan lebih yang berasal dari atmosfer. Ini juga mencakup tegangan lebih akibat pensaklaran peralatan tegangan rendah.

10.12.2 Peralatan

Peralatan dan prosedur uji harus sesuai dengan IEC 60060-1. Dikarenakan variabel dan kapasitas banyak sampel yang relatif tinggi, tindakan kompensasi mungkin dapat diterapkan untuk memenuhi toleransi bentuk gelombang yang diperlukan, lihat Gambar 6.



$T_1 = 0,84 \mu\text{s}$ hingga $3,12 \mu\text{s}$. (T_1 dapat dihitung dengan T dibagi 0,6)

$T_2 = 40 \mu\text{s}$ hingga $60 \mu\text{s}$

CATATAN Parameter 0_1 adalah titik awal tegangan impuls. Dalam diagram dengan skala waktu linier, ini adalah titik potong sumbu waktu dan garis yang ditentukan oleh titik A dan B.

Gambar 6 – Bentuk gelombang tegangan impuls menurut IEC 60060-1

10.12.3 Prosedur

Uji ini dilakukan pada modul FV tanpa *frame*. Jika *frame* merupakan bagian integral dari insulasi tepi, pengujian dapat dilakukan dengan modul FV berbingkai. Uji tegangan impuls harus dilakukan sesuai dengan IEC 60060-1.

Untuk keperluan uji reproduktivitas, uji ini dilakukan pada kondisi temperatur ruang dan kelembapan relatif kurang dari 75%. Prosedur adalah sebagai berikut:

- Nonaktifkan perangkat pembatas tegangan apa pun yang terpasang pada modul FV, jika ada.
- Tutup seluruh modul FV dengan foil metal konduktif menggunakan perekat konduktif untuk mencapai kontak terbaik dan menghindari misalnya gelembung yang dapat mempengaruhi hasil uji. Perekat (lem penghantar) harus memiliki tahanan listrik $<1 \Omega$ pada luas 625 mm^2 . Perhatian lebih harus diberikan untuk menghindari partikel atau selungkup udara di antara foil dan modul FV. Hubungkan foil ke terminal negatif atau positif generator tegangan impuls.
- Hubungkan terminal output modul FV yang mengalami hubung singkat ke terminal positif (jika foil dihubungkan ke terminal negatif) atau ke terminal negatif (jika foil dihubungkan ke terminal positif) dari generator tegangan impuls.
- Berikan tegangan impuls lonjakan dengan bentuk gelombang seperti yang ditunjukkan Gambar 6 oleh generator tegangan impuls. Menurut IEC 60060-1 tegangan puncak impuls

RSNI3 IEC 61730-2:2023

lonjakan harus berada dalam $\pm 3\%$ nilai yang diberikan di Tabel B.1 IEC 61730-1:2022. Interpolasi linier tegangan yang tercantum dalam Tabel B.1 IEC 61730-1:2022 diperbolehkan untuk nilai antara tegangan sistem maksimum.

- e) Bentuk gelombang pulsa harus diverifikasi dengan osiloskop yang dihubungkan sedekat mungkin dengan terminal modul FV yang dihubung-singkat atau dengan impedansi terminasi yang cukup pada koneksi kabel pengukuran. Waktu kenaikan dan durasi pulsa harus diperiksa pada setiap uji agar sesuai dengan Gambar 6. Perhatian sebaiknya diberikan dalam memilih probe yang sesuai untuk menjamin pengukuran dapat direproduksi.

CATATAN Dalam IEC 60060-1, fungsi tegangan uji didefinisikan, mewakili respons insulasi yang dapat diterapkan untuk penyaringan sinyal.

- f) Tiga pulsa berturut-turut harus diterapkan.
g) Ubah polaritas pulsa dan terapkan tiga pulsa berturut-turut.

10.12.4 Pengukuran final

Ulangi pemeriksaan visual MST 01 dan uji insulasi MST 16.

Jika terjadi kerusakan, foil konduktif mungkin perlu dilepas saat melakukan pemeriksaan visual untuk mengidentifikasi lokasi kerusakan untuk dianalisis. Foil sebaiknya tidak dilepas hingga uji insulasi MST 16 selesai dilakukan.

10.12.5 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) Tidak ada bukti kerusakan dielektrik atau pelacakan permukaan modul FV selama pengujian.
b) Tidak ada bukti cacat visual mayor sebagaimana didefinisikan dalam MST 01.
c) MST 16 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.

10.13 Uji insulasi MST 16

Prosedur uji ini setara dengan MQT 03 di IEC 61215-2.

10.14 Uji arus bocor basah MST 17

Prosedur uji ini setara dengan MQT 15 di IEC 61215-2.

Sambungan tersemen dalam modul FV harus diuji dengan tegangan uji yang ditingkatkan. Hal berikut ini berlaku: U_{Test} (sambungan tersemen) = $U_{\text{Test}} \cdot 1,35$ sebagaimana disyaratkan oleh IEC 61730-1. Semua sambungan yang tidak tersemen harus diuji dengan U_{Test} .

10.15 Bagian *placeholder*, sebelumnya Uji temperatur MST 21

Uji temperatur MST 21 tidak lagi menjadi bagian dari dokumen ini. Bagian ini dipertahankan agar pada bagian dokumen berikutnya nomor MST cocok dengan nomor bagian.

10.16 Uji ketahanan titik panas MST 22

Uji ini setara dengan MQT 09 di IEC 61215-2. Uji ini berlaku dengan modifikasi berikut: Alih-alih BSI untuk modul dua sisi, pengujian dilakukan dengan *applied bifacial stress irradiance* (aBSI).

10.17 Uji kebakaran MST 23

Modul FV boleh jadi terkena kondisi kebakaran eksternal, dan oleh karena itu harus diuji karakteristik ketahanan apinya ketika terkena sumber api yang berasal dari luar modul FV, yang boleh jadi mencakup bangunan tempat modul tersebut diinstal atau tempat modul tersebut terintegrasi, atau dari gedung yang berdekatan. Persyaratan ketahanan api untuk modul FV yang ditujukan untuk dipasang di bangunan ditentukan dalam peraturan bangunan lokal atau nasional.

Modul FV sebagai produk bangunan – yaitu berfungsi sebagai bahan penutup atap, elemen untuk integrasi bangunan atau yang dipasang pada bangunan – tunduk pada persyaratan keselamatan khusus yang berasal dari peraturan bangunan nasional.

Harus dicatat bahwa persyaratan dasar keselamatan kebakaran tidak sama secara internasional. Oleh karena itu, persyaratan umum keselamatan kebakaran pada modul FV tidak mungkin ditentukan karena pada umumnya hasil pengujian tidak diakui.

Persyaratan uji kebakaran akan dimasukkan sebagai perbedaan nasional dalam standar ini. Negara-negara yang ketahanan produk bangunannya terhadap api eksternal atau panas radiasi tidak tercakup dalam peraturan bangunan dapat mengacu pada Lampiran B.

10.18 Uji kemampuan tersulut MST 24

10.18.1 Tujuan

Uji ini menentukan kemampuan tersulut modul FV dengan pelepasan nyala api kecil secara langsung di bawah iradians nol oleh sumber panas eksternal menggunakan benda uji yang berorientasi vertikal. Pengujian ini tidak menggantikan uji kebakaran; pengujian ini menilai kemampuan tersulut, bukan sifat mudah terbakar pada permukaan luar modul. Metode uji ini didasarkan pada ISO 11925-2:2020.

Uji dapat dilakukan pada modul FV ukuran penuh, karena persiapan sampel uji sesuai ISO 11925-2:2020 (Pasal 5) mungkin tidak selalu dapat dilakukan. Oleh karena itu, persyaratan yang tercantum dalam ISO 11925-2:2020, Pasal 4 hingga 8, diubah sebagaimana dijelaskan di bawah ini.

Jika kesesuaian dengan ISO 11925-2:2020 dapat dibuktikan dengan persetujuan yang ada, uji ini dapat dihapus.

Jika sampel uji dapat disiapkan yang sesuai dengan Pasal 5 ISO 11925-2:2020 dan yang komposisi bahannya identik dengan jenis modul FV yang diuji, prosedur uji yang tercantum dalam Pasal 7 ISO 11925-2:2020 boleh digunakan tanpa modifikasi.

Kinerja uji kemampuan tersulut bisa berbahaya, misalnya karena gas beracun dapat terlepas. Selain itu tindakan pencegahan khusus sebaiknya dilakukan ketika menangani sampel uji selama pengujian.

10.18.2 Peralatan

10.18.2.1 Umum

Pasal 4 ISO 11925-2:2020 berlaku dengan modifikasi berikut. Subpasal 4.8, 4.11, dan 4.12 ISO 11925-2:2020 tidak berlaku.

10.18.2.2 Ruang pembakaran

Subpasal ini menyimpang dari 4.2 ISO 11925-2:2020.

Sistem pembuangan yang sesuai harus memastikan bahwa kecepatan udara 5 cm dari permukaan sampel uji tidak lebih dari 0,2 m/s pada arah vertikal dan 0,1 m/s pada arah horizontal.

10.18.2.3 Burner

Subpasal ini menyimpang dari 4.3 ISO 11925-2:2020.

Burner gas yang sesuai dengan 4.3 ISO 11925-2:2020 harus digunakan, yang dapat digunakan secara vertikal atau dimiringkan pada 45° terhadap sumbu vertikal. Selain itu, *burner* harus dapat diputar pada sumbu vertikalnya sehingga uji nyala api dapat dilakukan pada komponen sampel uji yang tersembunyi (contoh bagian *frame*). *Burner* harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat dipindahkan ke arah dan menjauhi sampel uji tanpa sentakan. Selama penyalaan api, *burner* harus berada pada posisi tetap. *Spacer* menurut 4.9.2 dan 4.9.3 ISO 11925-2:2020 digunakan untuk memposisikan *burner*.

Burner harus dilengkapi dengan katup pengatur yang baik untuk memastikan kontrol ketinggian nyala api yang akurat.

10.18.2.4 Pemegang sampel uji

Pasal ini menyimpang dari 4.5 dan 4.6 ISO 11925-2:2020.

Pemegang sampel uji harus dibuat sedemikian rupa sehingga memungkinkan sampel uji dipasang dengan aman pada posisi vertikal. Sisi bawah sampel uji harus memiliki lebar terbuka minimal 30 cm untuk pelepasan api. Sampel uji harus ditempatkan sedemikian sehingga pelepasan api dapat ditentukan dengan baik. Pemegang sampel uji harus mampu menampung sampel uji dengan berbagai ukuran, baik dalam orientasi memanjang maupun melintang.

10.18.3 Sampel uji

10.18.3.1 Umum

Subpasal ini menggantikan Pasal 5 ISO 11925-2:2020.

Subpasal 5.1, 5.3, dan 5.5 ISO 11925-2:2020 tidak berlaku.

10.18.3.2 Dimensi

Subpasal ini menyimpang dari 5.2 ISO 11925-2:2020.

Jika modul FV diuji maka modul tersebut diuji dalam ukuran aslinya. Untuk kelompok jenis, jenis modul FV representatif dapat dipilih untuk pengujian, yang memiliki komposisi bahan yang sama dengan modul FV yang diwakilinya. Untuk pengujian modul FV kelompok jenis, cukup dilakukan pengujian pada satu ukuran modul FV.

10.18.3.3 Jumlah sampel uji

Subpasal ini menyimpang dari 5.4 ISO 11925-2:2020.

Biasanya satu modul FV cukup untuk melakukan semua pengujian yang diperlukan. Titik penyalaan api harus dipilih dan ditandai sesuai dengan 10.18.5.1.

10.18.4 Pengondisian

Subpasal ini menggantikan Pasal 6 ISO 11925-2:2020.

Sampel uji harus dikondisikan pada temperatur $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ dan kelembapan relatif $50\% \pm 5\%$ untuk jangka waktu minimal 48 jam.

Sampel uji harus diatur dalam lingkungan pengondisian sedemikian rupa sehingga udara dapat bersirkulasi di sekitar masing-masing sampel uji.

10.18.5 Prosedur

10.18.5.1 Umum

Pasal 7 ISO 11925-2:2020 berlaku dengan modifikasi berikut.

10.18.5.2 Operasi pendahuluan

Subpasal ini menyimpang dari 7.2 ISO 11925-2:2020.

Sampel uji harus dipasang pada pemegang sampel uji dan disejajarkan secara vertikal menggunakan *level*.

Periksa untuk memastikan bahwa kecepatan udara pada permukaan sampel uji sesuai dengan 10.18.2.2.

Semua material mudah terbakar yang terbuka harus diuji. Material yang memiliki ketebalan berbeda harus diuji setidaknya pada titik yang paling tebal dan paling tipis. Titik penyalaan api diatur menurut 4.9.2 (paparan tepi) dan 4.9.3 (paparan permukaan) ISO 11925-2:2020 dan harus diberi tanda. Setiap pengujian harus dilakukan pada tiga lokasi sampel uji yang sebanding.

Komponen seperti *junction box*, kabel, dan konektor tidak perlu diuji dengan metode uji ini karena komponen tersebut memiliki persyaratan mudah terbakar terpisah yang ditentukan dalam IEC 61730-1. Demikian pula bahan yang tidak mudah terbakar seperti kaca dan metal tidak perlu diuji dengan metode uji ini.

10.18.5.3 Operasi pengujian

Subpasal 7.3.1 dan 7.3.2 ISO 11925-2:2020 berlaku. Sehubungan dengan 7.3.2, berlaku waktu penyalaan api 15 detik.

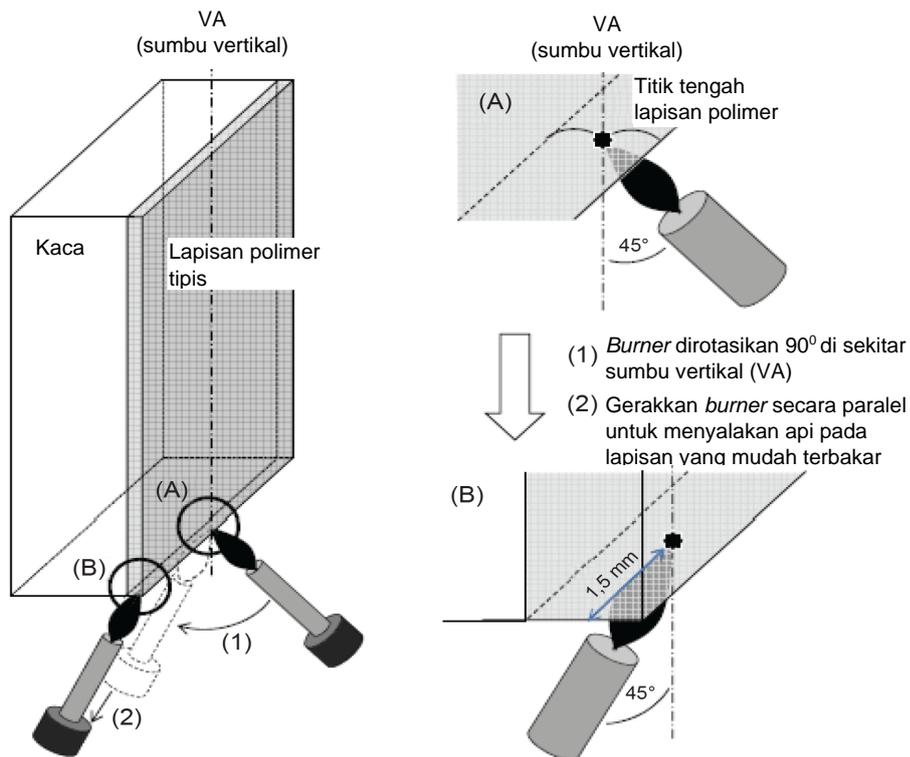
Kondisi pemaparan yang dijelaskan dalam 7.3.3 ISO 11925-2:2020 dimodifikasi sebagai berikut.

- a) Paparan permukaan
Api harus dinyalakan setidaknya 40 mm di atas tepi bawah sampel uji. Setiap permukaan yang berbeda, yang mungkin terpapar dalam praktiknya, harus diuji.

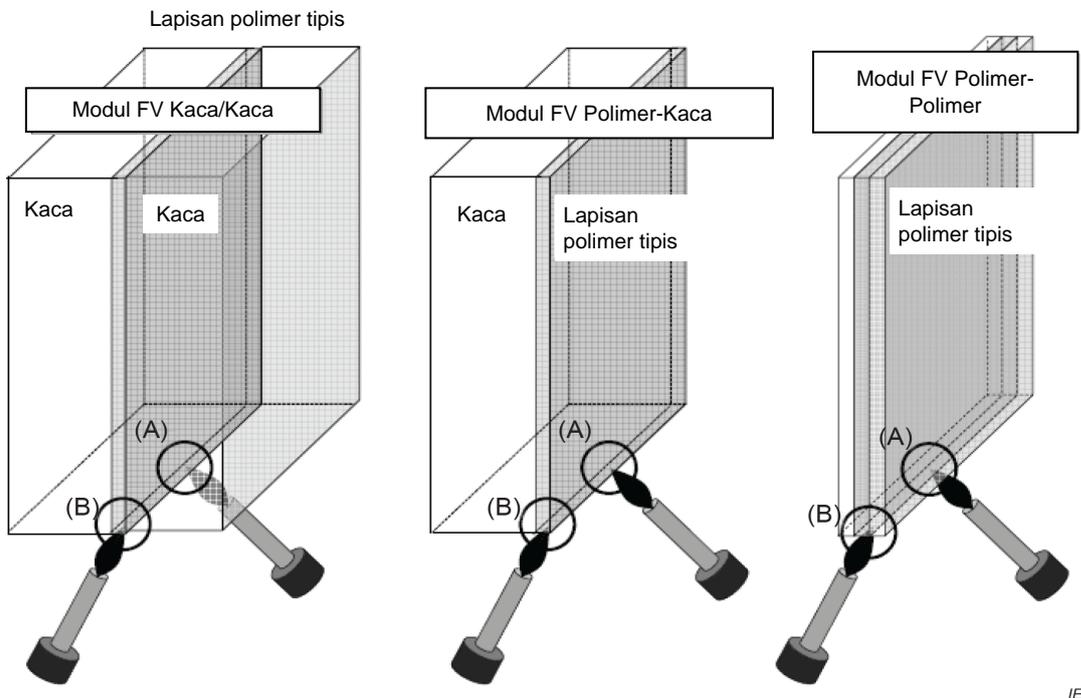
b) Paparan tepi

Api harus dinyalakan pada tepi bawah sampel uji. Titik penyalakan api terletak 1,5 mm di belakang tepi depan. Jika tepi sampel uji terbuat dari bahan yang tidak mudah terbakar (contoh *frame* metal), paparan tepi boleh dihapus. Perekat *frame* boleh diuji pada bagian yang boleh jadi terkena paparan api langsung.

Untuk produk multi-lapis dengan tepi yang tidak terlindungi, uji tambahan harus dilakukan. Dalam hal ini, *burner* harus diputar 90° mengelilingi sumbu vertikalnya untuk menyalakan api pada lapisan yang mudah terbakar di tepi samping sampel uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



a) Penerapan *burner* untuk modul kaca-polimer multi-



b) Ringkasan: Penerapan *burner* untuk modul FV kaca-kaca, kaca-polimer, dan polimer-polimer

Gambar 7 – Penerapan burner untuk produk multi-lapis

RSNI3 IEC 61730-2:2023

Subpasal 7.3.4 ISO 11925-2:2020 tidak berlaku.

10.18.6 Durasi uji

Subpasal 7.4.1 ISO 11925-2:2020 berlaku (waktu penyalaan api 15 detik, total durasi uji 20 detik), 7.4.2 ISO 11925-2:2020 tidak berlaku.

10.18.7 Pernyataan hasil

Subpasal ini menggantikan Pasal 8 ISO 11925-2:2020.

Jenis penggunaan api harus dicatat (paparan permukaan dan/atau paparan tepi).

Untuk setiap uji, hasil berikut harus dicatat:

- a) apakah terjadi penyulutan;
- b) apakah ujung api mencapai ketinggian 150 mm di atas titik penyalaan api, dan waktu terjadinya;
- c) ketinggian nyala api maksimum selama uji;
- d) observasi terkait perilaku sampel uji;
- e) panjang area yang hancur.

10.18.8 Kriteria kelulusan

Harus tidak ada penyalaan atau tidak boleh ada penyebaran api melebihi 150 mm secara vertikal dari titik penyalaan uji nyala api dalam waktu 20 detik dari waktu penyalaan dalam kondisi serangan api permukaan dan jika diperlukan, sambaran api tepi dengan waktu pemaparan 15 detik.

10.19 Uji termal diode *bypass* MST 25

Prosedur uji ini setara dengan MQT 18 di IEC 61215-2. MQT 18.1 dan MQT 18.2 harus dilakukan. Untuk modul *bifacial*, uji harus dilakukan dengan $I_{SC-aBSI}$ sebagai pengganti I_{SC-BSI} .

10.20 Uji beban lebih arus balik MST 26

10.20.1 Tujuan

Modul FV mengandung material penghantar listrik yang terkandung dalam sistem insulasi. Dalam kondisi gangguan arus balik, konduktor listrik dan sel-sel modul FV dipaksa untuk disipasi energi sebagai panas sebelum rangkaian terputus oleh proteksi arus lebih yang terpasang di sistem. Uji ini dimaksudkan untuk menentukan penerimaan risiko penyalaan atau kebakaran akibat kondisi ini atau kerusakan termal parah pada modul.

10.20.2 Peralatan

- a) Temperatur harus direkam menggunakan kamera inframerah dengan spesifikasi dan pengaturan sebagai berikut:
 - Emisivitas ϵ : 0,95 untuk material polimer
 - 0,90 untuk permukaan kaca
 - Resolusi: 1 piksel sama dengan < 5 mm
 - Sensitivitas termal: $\leq 0,1$ K pada 30 °C
 - Kesalahan mutlak pengukuran: ± 5 K
 - Rentang pengukuran: $0 - 200$ °C

- Respons spektrum: 8 – 14 μm
- b) Sarana untuk mengalirkan arus kontinu sebagaimana ditentukan dalam Prosedur 10.20.3.

10.20.3 Prosedur

Modul FV yang diuji sebaiknya dipasang dengan sisi cerah modul menghadap ke bawah jika *junction box* dipasang di sisi belakang. Jarak ruang permukaan depan ke bawah harus merupakan jarak ruang minimum yang ditentukan dalam petunjuk pemasangan pabrikan. Apabila petunjuk menawarkan lebih dari satu pilihan, pilihan yang memberikan jarak ruang terburuk harus digunakan. Jika tidak ada indikasi yang diberikan untuk jarak, atau jika pabrikan modul memperbolehkan pemasangan yang rata dengan permukaan penyangga sesuai pedoman pemasangan produk, maka bagian depan atau belakang modul harus dipasang bersentuhan pada penyangga solid yang memiliki kekuatan mekanis yang cukup untuk menghindari terjadinya lengkungan karena pengaruh temperatur. Konduktivitas termal penyangga harus tidak lebih tinggi dari 0,5 W/(m·K).

Perhatian harus diberikan untuk pemasangan modul sedemikian rupa untuk menghindari gangguan pada *junction box* atau penghalang dengan ketinggian serupa. Oleh karena itu, *junction box* yang dipasang di depan sebaiknya diuji dengan permukaan belakang modul dipasang ke struktur uji, dan jika *junction box* dipasang di permukaan belakang, modul harus dipasang rata ke permukaan depan.

Setiap diode pemblokir (bukan diode *bypass*) yang disediakan harus dimatikan (dihubungkan singkat). Uji harus dilakukan di area yang bebas dari aliran udara (lihat IEC 60695-2-10 untuk persyaratan yang sebanding).

Iradians pada area sel modul FV harus kurang dari 50 W/m² untuk dipastikan melalui lingkungan yang gelap. Jika ada kemungkinan kontribusi terhadap *photocurrent* modul FV (contoh melalui sisi belakang transparan atau konsep sel *bifacial*), hal ini harus dipastikan melalui lingkungan yang gelap. Penutup *shading* tambahan di bagian belakang tidak diperbolehkan karena akan memengaruhi insulasi termal.

Catu daya DC laboratorium harus dihubungkan ke modul FV dengan output positif dihubungkan ke terminal positif modul FV. Arus balik yang dialirkan (I_{TEST}) harus sama dengan 135% dari rating proteksi arus lebih modul FV, sebagaimana ditentukan oleh pabrikan. Arus pasokan uji harus terbatas pada nilai I_{TEST} , dan tegangan pasokan uji harus ditingkatkan agar arus balik mengalir melalui modul FV. Selama periode uji 2 jam, temperatur harus dicatat dan titik terpanas ditentukan menggunakan kamera inframerah. Orientasi kamera harus tegak lurus terhadap bidang modul. Perhatian harus diberikan untuk menghindari panas yang intens atau sumber cahaya yang mungkin terpantul pada permukaan kaca. Uji harus dilakukan pada temperatur udara sekitar 23 °C \pm 5 °C di lingkungan dengan udara sekitar tetap tanpa sirkulasi paksa.

Sepanjang pengujian, aliran arus harus stabil terjaga dalam $\pm 2\%$ (hal ini mungkin memerlukan penyesuaian tegangan).

Rating proteksi arus lebih maksimum suatu modul FV dapat diartikan sebagai rating sekering seri modul FV. Sekring seri mungkin diperlukan dalam instalasi larik FV. Menurut IEC 61730-1, rating proteksi arus lebih maksimum harus disediakan oleh pabrikan.

CATATAN 1 Metode untuk menentukan batas kapasitas I_R arus balik modul FV tertera di EN 50380.

CATATAN 2 IEC TS 62446-3 memberikan panduan tentang penggunaan kamera IR.

10.20.4 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) MST 01 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.
- b) MST 16 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.
- c) MST 17 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.
- d) Temperatur permukaan modul eksternal maksimum selama pengujian yang diukur dengan kamera inframerah tidak boleh melebihi 170 °C.

10.21 Uji kerusakan modul MST 32

10.21.1 Tujuan

Tujuan dari uji ini adalah untuk memberikan keyakinan bahwa risiko cedera fisik dapat diminimalkan jika modul FV rusak pada instalasi yang ditentukan. Ini tidak mencakup kejutan listrik, hanya cedera seperti luka tusuk dan jatuh karena cedera.

Untuk aplikasi bangunan terintegrasi atau *overhead*, pengujian tambahan mungkin diperlukan sesuai dengan peraturan bangunan yang relevan.

Modul kelas 0 untuk digunakan di area terlarang tidak perlu diuji.

CATATAN MST 32 didasarkan pada ANSI Z97.1.

10.21.2 Peralatan

Peralatan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- a) Penghantam harus berupa kantung yang terbuat dari material yang sesuai dan mampu diisi hingga berat yang diperlukan dengan menggunakan bahan pengisi yang sesuai (misalnya bola baja atau pelet). Bagian luar kantung harus dibungkus dengan pita perekat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 8 untuk menghindari permukaan yang tidak rata seperti jahitan. Saat diisi, kantung penghantam harus memiliki dimensi seperti yang dijelaskan pada Gambar 8 dan berat 45,5 kg \pm 0,5 kg. Perbandingan diameter terluas dan tinggi harus antara 1:1,5 hingga 1:1,4.
- b) *Frame* uji yang serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10 harus dilengkapi dengan kekakuan yang cukup untuk meminimalkan pergerakan dan defleksi selama pengujian. *Frame* harus dilas atau dibaut dengan kuat pada sudutnya untuk meminimalkan puntiran selama benturan. *Frame* juga harus dibaut ke lantai untuk mencegah pergerakan selama uji benturan.

CATATAN *Frame* dan penyangga struktur yang terbuat dari saluran baja (kira-kira 100 mm \times 200 mm atau lebih besar) dengan momen inersia minimum kira-kira 187 cm⁴ telah terbukti memberikan kekakuan yang cukup.

10.21.3 Prosedur

Pasang sampel modul FV sehingga berada di posisi tengah dan kaku pada *frame* uji dengan menggunakan metode dan komponen yang dijelaskan oleh pabrikan, termasuk torsi yang ditentukan jika sekrup digunakan untuk pemasangan. Jika opsi pemasangan berbeda memungkinkan, uji harus mencakup berbagai teknik pemasangan.

Prosedur yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- a) Dalam keadaan diam, kantung penghantam harus digantung tidak lebih dari 13 mm dari permukaan sampel modul FV dan tidak lebih dari 50 mm dari bagian tengah sampel modul

FV.

- b) Angkat bagian tengah penghantam hingga ketinggian jatuhnya 300 mm dari bagian tengah posisi diamnya (lihat Gambar 9), tunggu hingga penghantam stabil, kemudian lepaskan agar jatuh menghantam sampel modul FV.

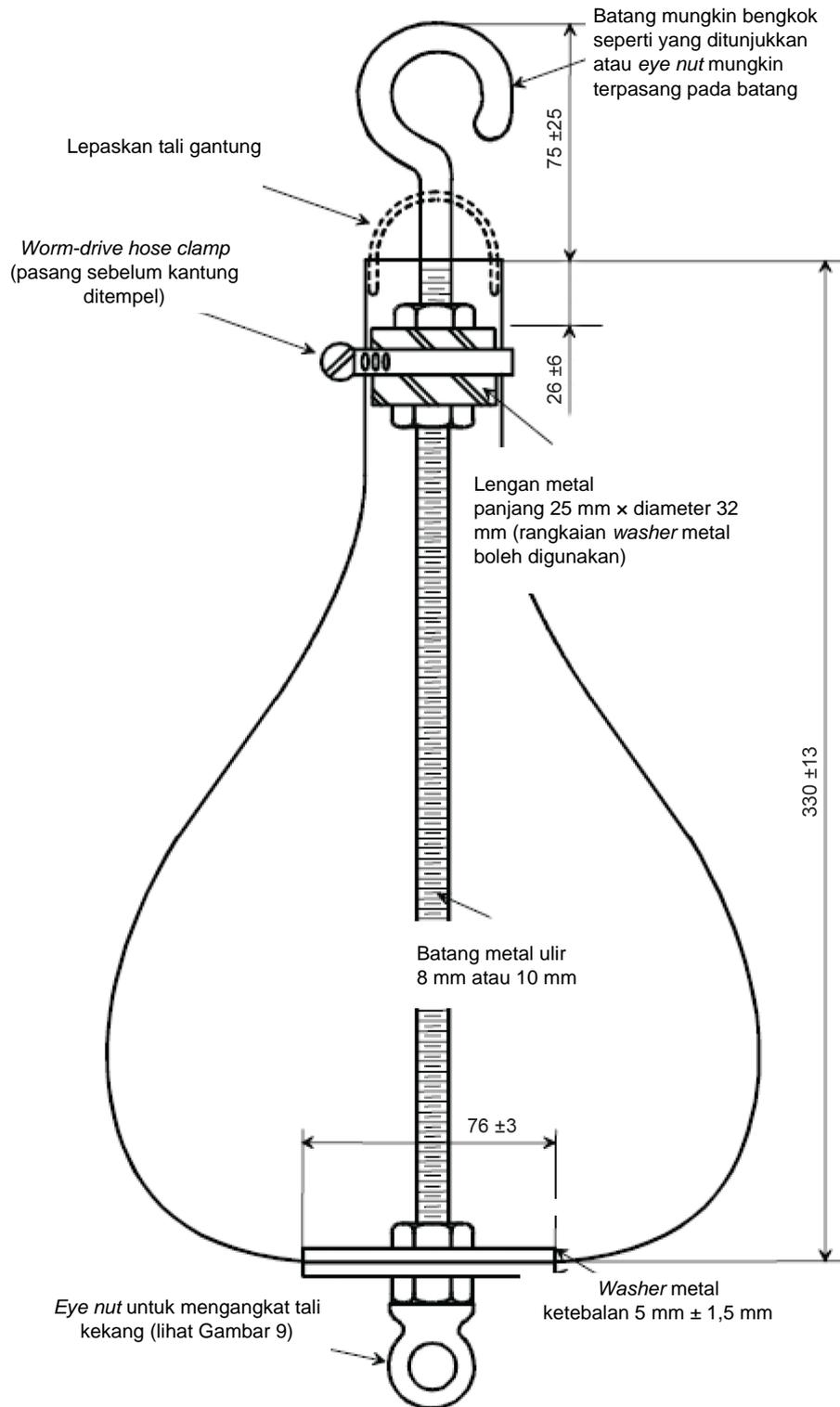
10.21.4 Kriteria kelulusan

Modul FV harus dinilai berhasil lulus uji kerusakan modul jika memenuhi kriteria berikut: a) dan salah satu dari b) atau c):

- a) Modul FV tidak boleh terpisah dari struktur pemasangan atau rangkanya.
- b) Tidak ada kerusakan yang terjadi.
- c) Jika terjadi kerusakan pada modul FV, harus tidak ada pergeseran atau lubang yang cukup besar sehingga bola berdiameter 76 mm dapat lewat dengan bebas dan harus tidak ada partikel yang lebih besar dari 65 cm² keluar dari sampel. Untuk memungkinkan pengukuran partikel, pecahan menjadi potongan-potongan kecil harus dihindari ketika jatuh ke lantai, misalnya dengan menyediakan bantalan.

Jika sampel uji pengujian diperiksa sesuai dengan 5.4.5 IEC 61730-1:2022 (kesesuaian bentuk/tekanan/keketatan), maka kontinuitas dari uji ikatan ekuipotensial (MST 13) harus dilewati dengan sukses sebelum dan sesudah MST 32.

Dimensi dalam milimeter



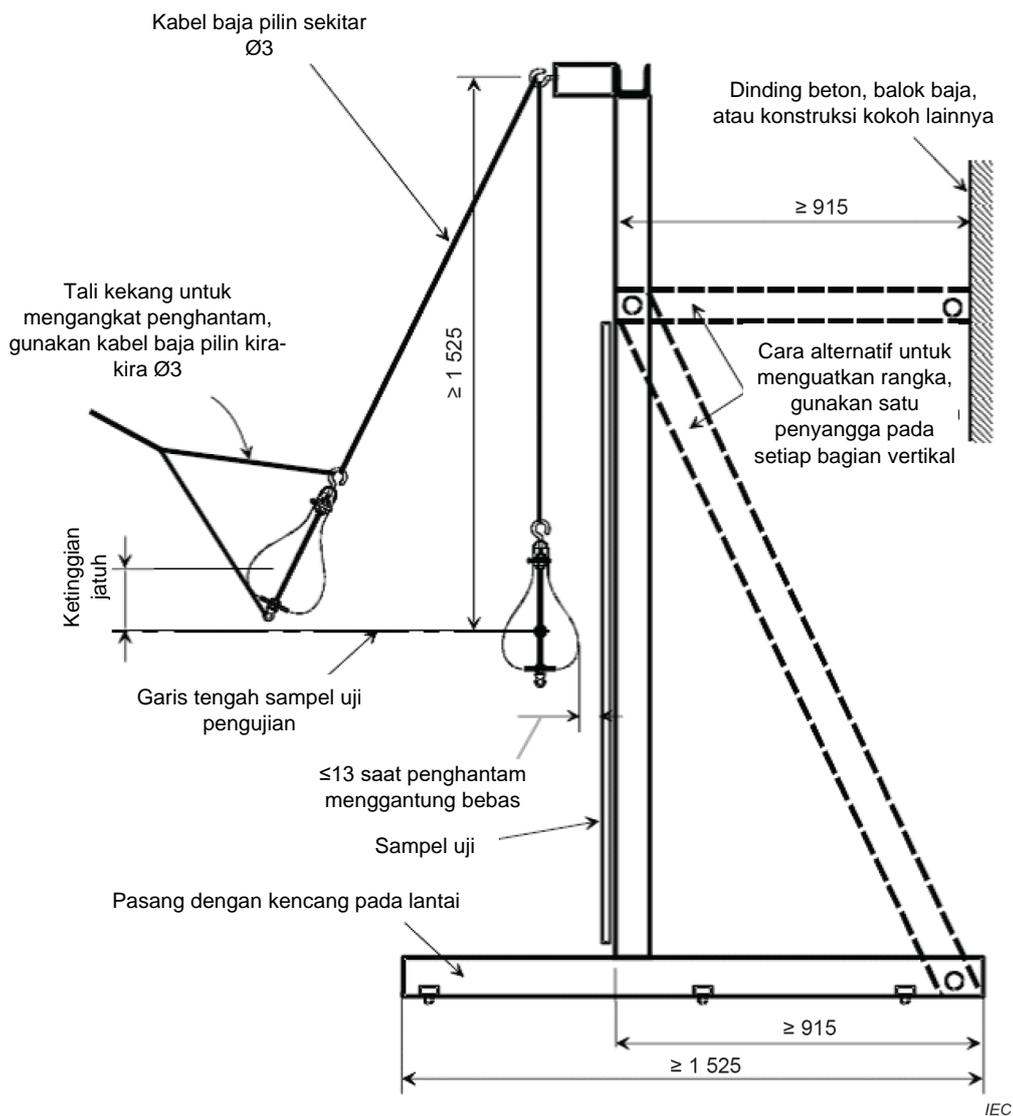
IEC

Kantung yang terisi memiliki berat total rakitan $45,5 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$.

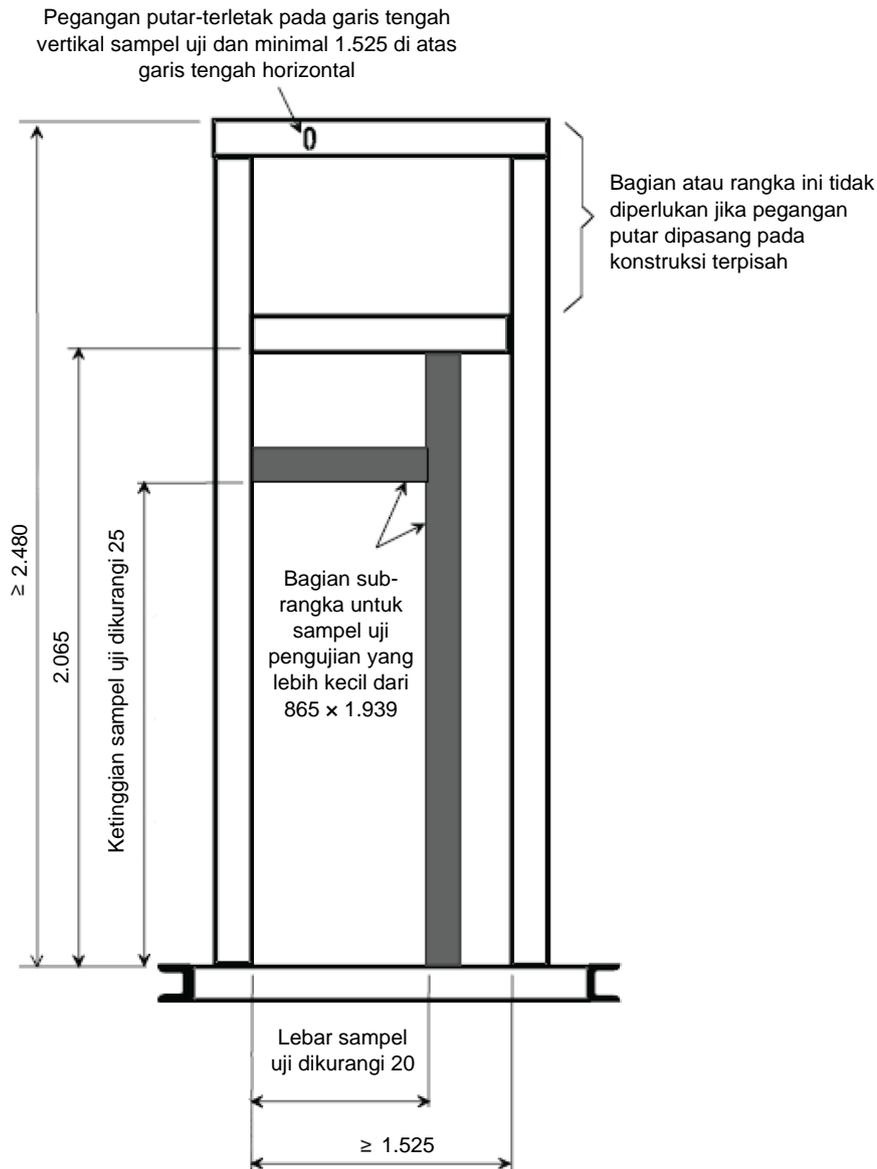
Rekatkan pita selebar 13 mm ke kantung menggunakan 3 gulung pita (165 m), rekatkan secara diagonal dan tumpang tindih. Tutup seluruh permukaan kantung. Rekatkan pita ke bagian leher secara terpisah.

Gambar 8 – Penghantam

Dimensi dalam milimeter



Gambar 9 – Kerangka uji benturan 1



IEC

Rangka penjepit untuk menahan sampel uji tidak diperlihatkan.

Gambar 10 – Kerangka uji benturan 2

10.22 Uji sambungan sekrup MST 33

10.22.1 Uji sambungan sekrup secara umum MST 33a

10.22.1.1 Umum

Komponen seperti sekrup dan mur yang mentransmisikan tekanan kontak atau yang mungkin dikencangkan oleh pengguna harus dikencangkan dan dilonggarkan sebanyak lima kali. Sekrup dan mur dari bahan insulasi harus dilepas seluruhnya pada setiap operasi pelonggaran sekrup.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan obeng atau kunci pas uji yang sesuai, dengan menerapkan torsi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8, kecuali untuk sekrup dari bahan insulasi yang digunakan pada *cord anchorage* dan dipasang langsung pada kabel atau *cord*,

torsinya adalah 0,5 Nm.

Jika pabrikan menentukan torsi yang lebih tinggi dalam petunjuk instalasi, torsi tersebut harus digunakan untuk pengujian. Hal ini harus dicatat dalam laporan uji.

Tabel 8 – Uji torsi pada sekrup menurut IEC 60598-1:2014, Tabel 4.1

Diameter ulir luar nominal sekrup mm	Torsi Nm		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
Hingga dan termasuk 2,8	0,20	0,40	0,40
Lebih dari 2,8 hingga dan termasuk 3,0	0,25	0,50	0,50
Lebih dari 3,0 hingga dan termasuk 3,2	0,30	0,60	0,50
Lebih dari 3,2 hingga dan termasuk 3,6	0,40	0,80	0,60
Lebih dari 3,6 hingga dan termasuk 4,1	0,70	1,20	0,60
Lebih dari 4,1 hingga dan termasuk 4,7	0,80	1,80	0,90
Lebih dari 4,7 hingga dan termasuk 5,3	0,80	2,00	1,00
Lebih dari 5,3 hingga dan termasuk 6,0	–	2,50	1,25
Lebih dari 6,0 hingga dan termasuk 8,0	–	8,00	4,00
Lebih dari 8,0 hingga dan termasuk 10,0	–	17,00	8,50
Lebih dari 10,0 hingga dan termasuk 12,0	–	29,00	14,50
Lebih dari 12,0 hingga dan termasuk 14,0	–	48,00	24,00
Lebih dari 14,0 hingga dan termasuk 16,0	–	114,00	57,00

Bentuk bilah obeng harus sesuai dengan kepala sekrup yang akan diuji. Sekrup tidak boleh dikencangkan secara tersentak. Kerusakan pada penutup diabaikan.

Tipe 1 Tabel 8 berlaku untuk sekrup metal tanpa kepala jika sekrup yang dikencangkan tidak menonjol dari lubang.

Tipe 2 berlaku untuk:

- sekrup dan mur metal lainnya;
- sekrup material insulasi
 - memiliki kepala heksagonal dengan dimensi pada bidang datar melebihi diameter ulir keseluruhan;
 - memiliki kepala silinder dan soket kunci dengan dimensi sudut melintang melebihi diameter ulir keseluruhan;
 - memiliki kepala dengan slot atau slot silang, yang panjangnya melebihi 1,5 kali diameter ulir keseluruhan.

Tipe 3 berlaku untuk sekrup berbahan insulasi lainnya.

10.22.1.2 Kriteria kelulusan

Selama pengujian, harus tidak ada kerusakan yang mengganggu penggunaan lebih lanjut koneksi pemasangan atau koneksi sekrup. Setelah pengujian, sekrup atau mur yang terbuat dari bahan insulasi harus masih dapat dipasang sesuai dengan cara yang diinginkan.

10.22.2 Pengujian pengunci sekrup MST 33b

10.22.2.1 Umum

Pengunci sekrup yang melunak saat pemanasan hanya memberikan penguncian yang baik pada koneksi sekrup, namun tidak menerapkan torsi pada penggunaan normal. Koneksi tersebut harus diuji dengan mencoba mengendurkan sekrup yang terkunci dengan torsi berikut:

- 2,5 Nm untuk ukuran thread \leq M 10 atau diameter yang sesuai;
- 5,0 Nm untuk ukuran thread $>$ M 10 atau diameter yang sesuai.

Torsi uji harus diterapkan selama 1 min searah jarum jam dan kemudian selama 1 min berlawanan arah jarum jam pada temperatur stabil (70 ± 5) °C.

10.22.2.2 Kriteria kelulusan

Tidak boleh terjadi pelonggaran.

10.23 Uji beban mekanis statis MST 34

10.23.1 Umum

Prosedur uji ini setara dengan MQT 16 di IEC 61215-2.

MQT 15 dapat dihilangkan.

10.23.2 Kriteria kelulusan

- a) Persyaratan berlaku sebagaimana dalam IEC 61215-2 MQT 16;
- b) MST 13 harus memenuhi persyaratan yang sama.

10.24 Uji pengelupasan MST 35

10.24.1 Tujuan

Tujuan dari uji ini adalah untuk memenuhi syarat insulasi sebagai sambungan tersemen. Uji ini harus memberikan keyakinan mengenai ketahanan perekat antara berbagai lapisan konstruksi kaku-ke-fleksibel atau fleksibel-ke-fleksibel pada susunan modul FV. Metode uji diambil dari ISO 813 dan menentukan kekuatan rekat antara bahan polimer yang direkatkan pada lembaran depan atau lembaran belakang.

Uji tidak dipersyaratkan apabila jarak ruang dan jarak rambat yang disyaratkan oleh kelompok kelas, tingkat polusi dan bahan sesuai dengan angka yang tercantum pada Tabel 3 atau Tabel 4 dari IEC 61730-1:2022.

Uji ini tidak berlaku untuk rakitan dengan rekatan kaku-ke-kaku (contoh modul FV kaca/kaca). Penilaian dilakukan oleh MST 36.

10.24.2 Persyaratan sampel

Untuk sambungan tersemen dengan lebar \leq 10 mm, prosedur berikut harus digunakan untuk menyiapkan 2 laminasi khusus (1 sampel acuan (baru) dan 1 sampel untuk urutan pengujian B dengan sisi depan terekspos) di pabrik:

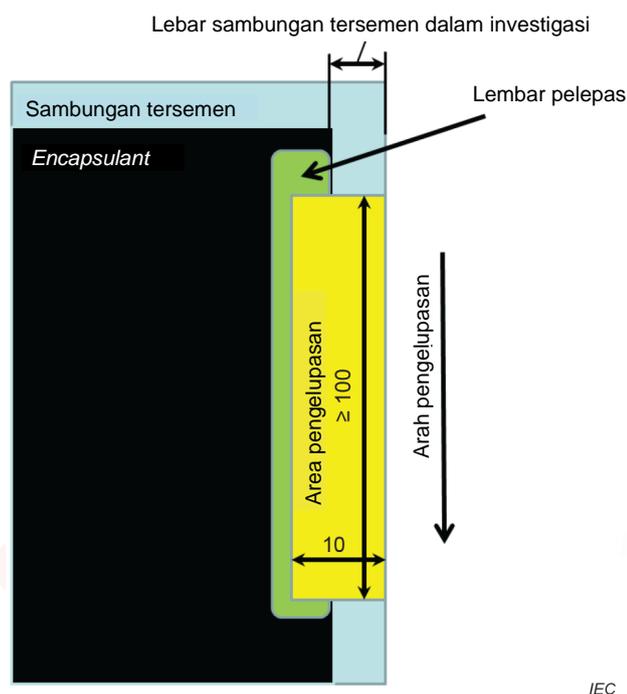
Sampel harus dipersiapkan seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 11 untuk semua lokasi yang ditentukan dalam Gambar 12. Lembar pelepas (contoh Teflon) harus dimasukkan sepanjang batas sambungan tersemen yang diuji, antara lapisan *encapsulant* dan lembaran belakang. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa uji pengelupasan hanya dilakukan pada area sambungan tersemen dan bukan pada kombinasi sambungan tersemen dan *encapsulant*. Pengujian harus dilakukan dekat dengan sambungan tersemen tetapi harus tidak menembus area sambungan tersemen. Untuk persiapan sampel pengelupasan akhir dan prosedur pemotongan, lihat 10.24.4.

Jika pengujian menggunakan lembaran depan tidak kaku dan lembaran belakang kaku, prosedur harus diterapkan dari sisi depan.

Jika lembaran depan dan lembaran belakang tidak kaku, prosedur harus diterapkan dari kedua sisi, dengan menjaga permukaan yang tidak terkelupas menempel ke pelat, contoh dengan perekat.

Untuk kualifikasi sambungan tersemen >10 mm tidak diperlukan persiapan khusus. Laminasi tipikal harus digunakan.

Dimensi dalam milimeter



IEC

CATATAN Area kuning menggambarkan potongan untuk uji pengelupasan setelah pengondisian.

Gambar 11 – Persiapan sampel sambungan tersemen ≤ 10 mm menggunakan lembar pelepas

10.24.3 Peralatan

Peralatan pengujian adalah sebagai berikut:

- Mesin uji tarik, memenuhi persyaratan ISO 5893, mampu mengukur gaya dengan akurasi yang sesuai dengan kelas 1 dan dengan kecepatan lintasan pegangan bergerak $50 \text{ mm/min} \pm 5 \text{ mm/min}$.
- Penahan, untuk menahan benda uji pada pegangan bergerak mesin uji dalam a), sehingga

arah tarikan yang menyebabkan pemisahan selalu berada di $90^\circ \pm 10^\circ$ selama uji terhadap bidang ikatan antara polimer dan lembaran belakang kaku, yaitu membuat sudut 90° dengan permukaan penahan.

10.24.4 Prosedur

Modul FV referensi tanpa *frame* yang tidak dikondisikan (biasanya modul baru) dan satu modul FV tanpa *frame* yang telah menjalani urutan pengujian B pada Gambar 1, dengan sisi depan terekspos, digunakan untuk uji pengelupasan. Setiap modul harus diberi perlakuan sesuai dengan prosedur berikut:

- a) Kondisikan sampel setidaknya selama 16 h pada temperatur $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, $50\% \text{RH} \pm 10\% \text{RH}$ segera sebelum pengujian sesuai dengan persyaratan ISO 23529.
- b) Lebar sambungan tersemen $> 10 \text{ mm}$ (laminasi):

Setelah pengondisian sepuluh (5 per antarmuka) setrip dengan lebar $10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ dan panjang setidaknya 100 mm harus dipotong pada lembaran depan fleksibel atau lembaran belakang fleksibel sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Lima setrip dipotong per antarmuka rekatan. Antarmuka rekatan yang akan dievaluasi untuk klasifikasi sebagai sambungan tersemen dapat mencakup lembaran depan fleksibel atau lembaran belakang fleksibel ke material sambungan tersemen (5 pengelupasan), dan material sambungan tersemen ke lembaran belakang kaku atau lembaran depan kaku (5 pengelupasan). Setrip harus dipotong dari sisi modul yang sama, namun kedalaman pemotongan harus sesuai dengan antarmuka perekat yang sesuai.

- c) Lebar sambungan tersemen $\leq 10 \text{ mm}$ (laminasi spesial):

Setelah pengondisian, sepuluh setrip dengan lebar $10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ dan panjang setidaknya 100 mm harus dipotong dari sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Lima setrip dipotong per antarmuka rekatan. Antarmuka rekatan yang akan dievaluasi untuk klasifikasi sebagai sambungan tersemen dapat mencakup lembaran depan fleksibel atau lembaran belakang fleksibel ke bahan sambungan tersemen (5 pengelupasan), dan material sambungan tersemen ke lembaran belakang kaku atau lembaran depan kaku (5 pengelupasan). Setrip harus dipotong dari sisi modul yang sama.

Pemotongan pertama (posisi lihat Gambar 12, area pemotongan lihat kotak kuning di Gambar 11) akan memungkinkan pengujian pengelupasan lembaran belakang ke antarmuka material sambungan tersemen (total 5 pengelupasan). Untuk memeriksa lembaran depan kaku ke antarmuka material sambungan tersemen, *encapsulant* yang tersisa harus dipotong pada lembaran depan kaku (potongan kedua, di bawah kotak kuning di Gambar 11 sepanjang lembar pelepas dan sambungan tersemen) sehingga pengelupasan tidak akan dipengaruhi oleh *encapsulant*. Harus diperhatikan agar sambungan tersemen tersebut tidak terpengaruh (total 5 pengelupasan).

Jika area lain pada modul FV harus diklasifikasikan sebagai sambungan tersemen, lokasi yang ditunjukkan di Gambar 12 boleh diperluas ke area lain yang relevan. Konsep penyisipan lembaran pelepas untuk sambungan tersemen dengan lebar $\leq 10 \text{ mm}$ harus diterapkan.

Laporkan area setrip yang telah dipotong (contoh menggunakan gambar dengan dimensi).



Gambar 12 – Modul FV dengan posisi untuk sampel pengelupasan pada lembaran depan atau lembaran belakang

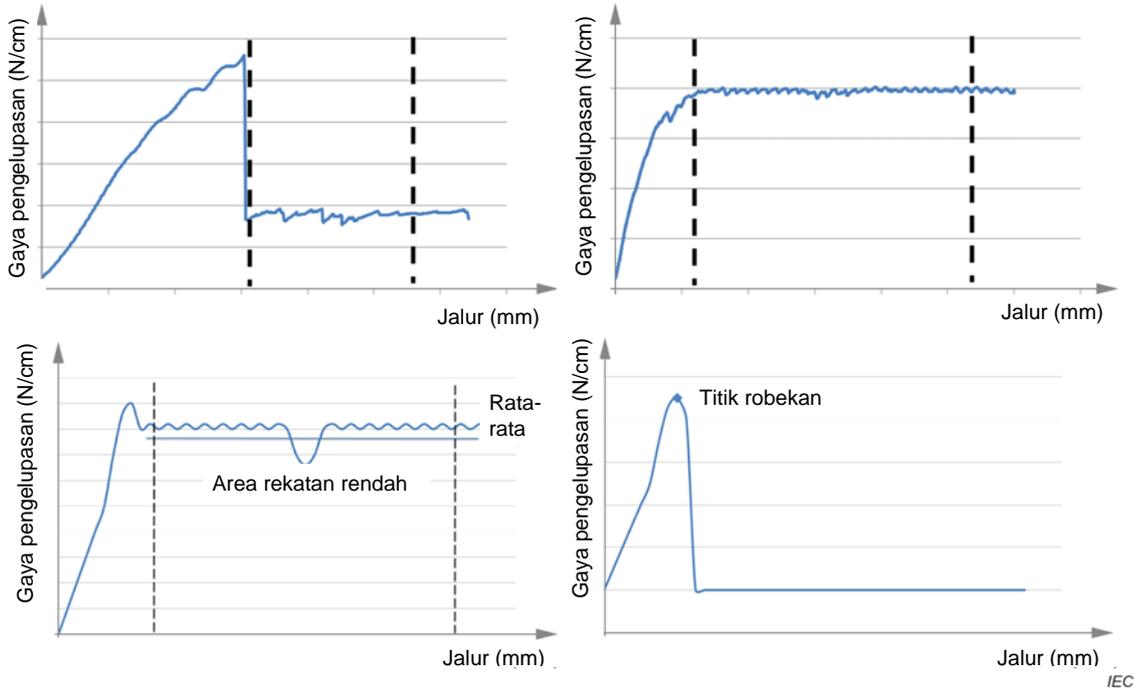
- d) Kedalaman pemotongan harus cukup untuk memotong seluruh lapisan yang rekatannya harus diukur, tetapi harus tidak mengenai lapisan di bawahnya secara signifikan. Sebagian kecil dari setrip yang panjangnya cukup untuk dicengkeram oleh mesin harus dipisahkan secara manual pada antarmuka yang diperiksa. Setrip harus dipasang tegak lurus terhadap pegangan bergerak mesin pengujian. Mulailah uji pengelupasan dan lanjutkan hingga seluruh setrip yang diuji terkelupas. Kekuatan pengelupasan harus diukur pada panjang minimal 60 mm.

Untuk memberikan perbandingan yang lebih baik pada uji pengelupasan, direkomendasikan untuk menggunakan templat untuk persiapan sampel.

Panjang potongan setrip yang dipasang pada pegangan tergantung pada desain pegangan. Biasanya 10 mm sudah cukup. Jika memerlukan panjang lebih, panjang ekstra dipertimbangkan selama persiapan sampel.

- e) Tempatkan benda uji secara simetris di penahan. Tempatkan ujung setrip yang bebas pada pegangannya. Gerakkan pegangan mesin uji tarik dengan kecepatan $50 \text{ mm/min} \pm 5 \text{ mm/min}$ hingga pemisahan selesai. Catatlah gaya yang diperlukan untuk menyebabkan pemisahan.
- f) Plot waktu versus gaya pada seluruh panjang benda uji harus dibuat.
- g) Laporkan kekuatan rekatan dalam newton per mm, dengan membagi gaya (dalam N) yang dicatat dengan lebar benda uji (dalam mm). Laporkan apakah terjadi kegagalan adhesif atau kohesif pada setiap pengelupasan.
- h) Hanya sampel seperti itu harus dianggap menunjukkan karakteristik pengelupasan kontinu paling sedikit 20 mm. Nilai rerata dari fase kontinu tersebut harus dipertimbangkan ketika menerapkan kriteria kelulusan (10.24.5). Meskipun gaya maksimum yang diukur menyimpang secara signifikan dari gaya kontinu (bandingkan Gambar 13 kiri), fraksi pengukuran kontinu harus tetap dipertimbangkan.

- i) Jika inspeksi visual (MST 01) menunjukkan gelembung atau de-laminasi dengan jarak 20 mm atau kurang pada area pengelupasan, uji harus dilakukan sedemikian rupa sehingga area yang terpengaruh tercakup dalam uji pengelupasan. Jika terdapat satu gelembung besar, area ini harus dicakup dengan uji pengelupasan.



Kiri atas: gaya puncak tidak mencerminkan sifat rekatan sebenarnya dan harus dikeluarkan dari perhitungan nilai rerata.

Kanan atas: kurva optimal, evaluasi bagian kurva kontinu.

Kiri bawah: kurva kekuatan pengelupasan dengan rekatan lokal yang lemah dan rata-rata yang dihasilkan.

Kanan bawah: gaya pada titik robekan (kerusakan sampel).

Gambar 13 – Kurva pengukuran pengelupasan yang umum

10.24.5 Kriteria kelulusan

Modul FV harus dinilai berhasil lulus uji pengelupasan jika hilangnya gaya rekatan rerata aritmatika M untuk masing-masing antarmuka tanpa kondisi (M1) dan setelah uji stres rangkaian B (M2) di bawah 50%. Perbedaannya ditentukan dengan membandingkan nilai rerata hasil kedua sampel yang diuji.

$$\frac{\sum_1^n M2}{\sum_1^n M1} > 0,5$$

Untuk setiap jenis modul FV, 5 sampel pada setiap antarmuka harus diuji. Nilai yang relevan dengan kriteria kelulusan adalah nilai rerata dari 5 sampel. Jika pengukuran sampel tidak terpakai saat mengikuti kriteria di atas, setidaknya 3 sampel dengan kekuatan rekatan terendah harus dievaluasi. Jika diperlukan, sampel tambahan harus disiapkan dan dievaluasi.

Jika gaya rekatan antarmuka yang akan dievaluasi tidak dapat diperoleh (contoh terjadi kegagalan kohesif pada sambungan tersemen) atau terjadi kegagalan rekatan antarmuka lain yang disertakan, atau sampel robek atau rusak selama pengujian, maka gaya puncak terukur

sebelum kegagalan harus digunakan untuk evaluasi.

Jika tidak ada lokasi yang memenuhi persyaratan dari 10.24.2 dan persyaratan dari Gambar 2 yang dapat diidentifikasi dan diuji, maka sampel tersebut gagal dalam uji.

10.25 Uji kekuatan *lap shear* MST 36

10.25.1 Tujuan

Tujuan dari uji ini adalah untuk memenuhi syarat insulasi sebagai sambungan tersemen. Uji ini harus memberikan keyakinan mengenai ketahanan rekatan antara rakitan dengan ikatan kaku-ke-kaku (contoh modul FV kaca/kaca) untuk sambungan tersemen pada susunan modul FV. Uji ini dijelaskan dalam ISO 4587 dan menentukan kekuatan rekatan substruktur kaku yang diikat dengan material polimer.

Uji tidak dipersyaratkan apabila jarak ruang dan jarak rambat yang disyaratkan oleh kelompok kelas, tingkat polusi dan material sesuai dengan angka yang tercantum pada Tabel 3 atau Tabel 4 dari IEC 61730-1:2022.

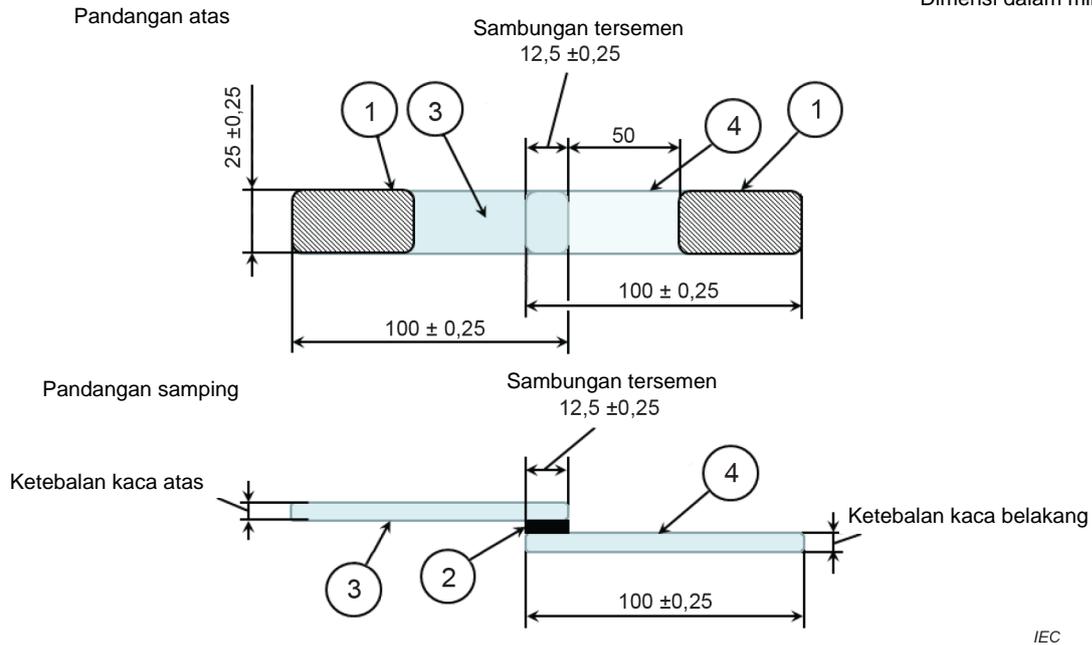
Uji ini tidak berlaku untuk rakitan dengan ikatan kaku-ke-fleksibel atau fleksibel-ke-fleksibel (misalnya modul FV kaca/foil atau foil/foil). Untuk rakitan dengan ikatan kaku-ke-fleksibel atau fleksibel-ke-fleksibel, MST 35 berlaku.

10.25.2 Sampel uji

20 sampel sesuai dengan ISO 4587:2003 terbuat dari material, ketebalan, dan struktur permukaan kaca yang identik untuk kaca depan, kaca belakang dan rekatan (sambungan tersemen) sebagai produk akhir (modul FV). Ikatan perekat sampel harus mewakili setiap aspek produk akhir dan karenanya dibuat menggunakan parameter produksi yang setara termasuk metode penghilangan dan perapihan tepi, lihat Gambar 14.

Jika kaca yang diperkuat dengan pemanasan digunakan dalam produksi, kaca *non-tempered* setara yang lebih mudah dipotong untuk sampel dapat digunakan.

Dimensi dalam milimeter



IEC

Keterangan

- 1 Area yang ditahan oleh pegangan
- 2 Sambungan tersemen
- 3 Kaca depan modul FV
- 4 Kaca belakang modul FV

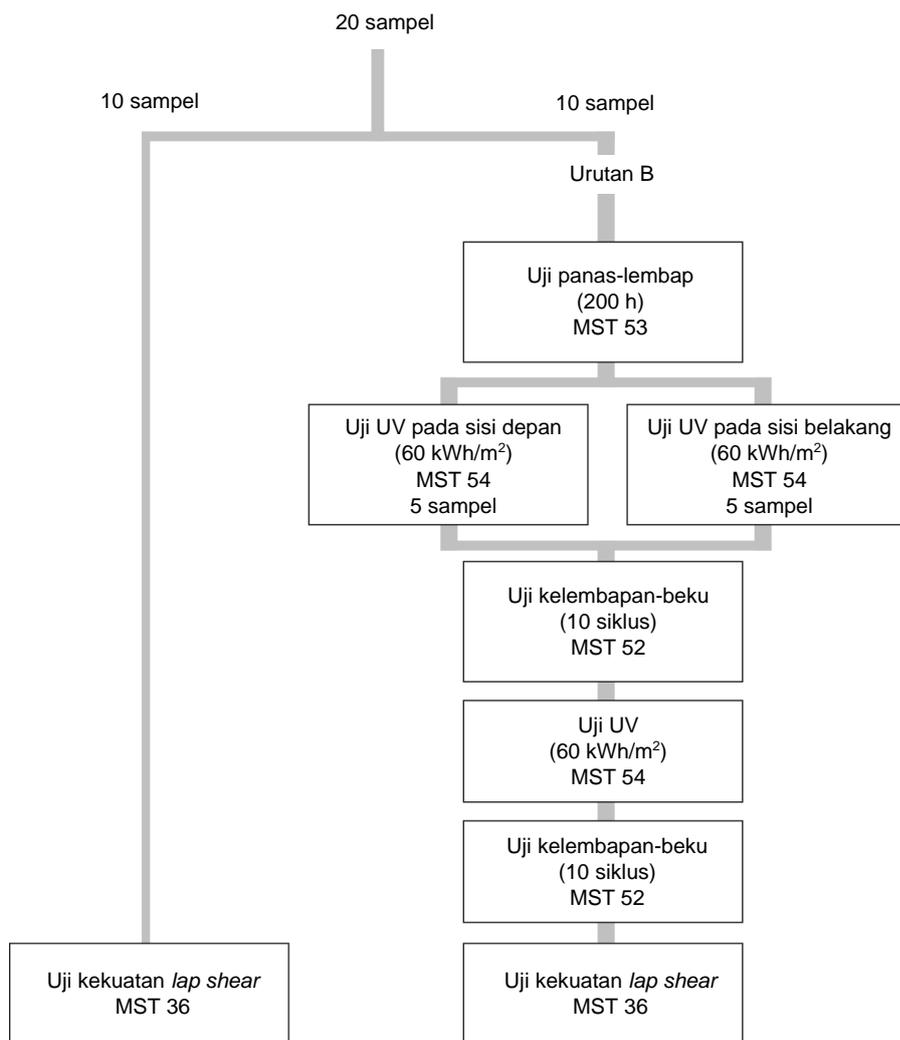
Gambar 14 – Sampel uji lap shear untuk membuktikan sambungan tersemen

10.25.3 Peralatan

Peralatan (mesin uji tarik) ditentukan dalam ISO 4587:2003, Pasal 4.

10.25.4 Prosedur

Total 20 *coupon* uji ikatan harus dipersiapkan sebagaimana dijelaskan dalam 10.25.2. 10 *coupon* uji ikatan digunakan untuk menentukan gaya putus prapelapukan (M1) dan 10 *coupon* uji ikatan digunakan untuk menentukan gaya putus pasca pelapukan (M2). Urutan uji ditunjukkan pada Gambar 15. Pada uji UV pertama, kaca depan terpapar sinar UV dan pada langkah kedua, kaca belakang terpapar sinar UV.



IEC

Gambar 15 – Alur uji lap-shear

Kondisikan sampel setidaknya selama 16 jam pada temperatur $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, $50\% \text{ RH} \pm 10\% \text{ RH}$ segera sebelum pengujian sesuai dengan persyaratan ISO 23529.

Operasikan mesin seperti yang dijelaskan dalam ISO 4587:2003.

Catat gaya tertinggi selama sobekan sebagai gaya putus sampel uji.

CATATAN Kecepatan yang dihasilkan dari nilai dalam ISO 4587:2003 setara dengan sekitar 0,8 mm/min.

10.25.5 Kriteria kelulusan

Desain modul FV harus dinilai berhasil lulus uji kekuatan *lap shear* jika kehilangan gaya putus rerata aritmatika M (untuk seluruh 10 sampel) untuk masing-masing antarmuka sebelum dan sesudah pelapukan kurang dari 50%. Perbedaannya ditentukan dengan membandingkan hasil dari dua *batch* sampel yang diuji.

$$\frac{\sum_1^n M2}{\sum_1^n M1} > 0,5$$

CATATAN Kekuatan *lap shear*, dalam MPa, dihitung dengan membagi gaya putus, dalam newton, dengan area potong, dalam milimeter persegi.

Jika bagian kaku pecah dari antarmuka yang sedang diinvestigasi, kaca yang lebih tebal atau lebih kuat harus digunakan. Penyangga yang sesuai untuk kaca mungkin juga cukup.

10.26 Uji creep pada material MST 37

10.26.1 Tujuan

Tujuan dari uji *creep* pada material adalah untuk memvalidasi bahwa material yang digunakan dalam modul FV tidak akan menunjukkan *creep* atau kehilangan rekatan ketika dioperasikan pada temperatur tertinggi yang biasanya dialami modul FV di lapangan. Khususnya uji harus menentukan kemungkinan *creep* antara antarmuka berikut:

- lembaran depan ke lembaran belakang;
- lembaran depan atau lembaran belakang ke sistem pemasangan yang terpasang langsung (misalnya rel belakang);
- *junction box* ke lembaran belakang dan lembaran depan.

Uji ini tidak dipersyaratkan untuk dilakukan jika *creep* pada semua antarmuka dapat dicegah dengan alat pemasangan mekanis yang tidak hanya mengandalkan rekatan.

10.26.2 Peralatan

- a) *Chamber* iklim dengan kontrol temperatur otomatis dengan sarana untuk menyirkulasikan udara di dalamnya, yang mampu memuat satu atau lebih sampel sesuai dengan kondisi yang ditentukan dalam 10.26.3.
- b) Sarana untuk memasang atau menopang sampel dalam *chamber*, sehingga memungkinkan sirkulasi bebas dari udara di sekitarnya.
- c) Sarana untuk mengukur dan merekam temperatur sampel dengan akurasi ± 1 °C.

10.26.3 Prosedur

- a) Pasang sensor temperatur yang sesuai ke permukaan sampel depan atau belakang di dekat sisi tengah.
- b) Pasang sampel pada temperatur kamar di *chamber* iklim menggunakan metode pemasangan terburuk yang dijelaskan dalam buku panduan instalasi. Setiap sampel dipasang pada sudut maksimum yang diizinkan sesuai buku panduan instalasi; jika tidak ada nilai maksimum yang diberikan, sampel dipasang secara vertikal di *chamber* uji.
- c) Setelah *chamber* ditutup, sampel diatur pada temperatur 90 °C ± 3 °C. Ini adalah uji panas kering tanpa kontrol kelembapan.
- d) Selama pengujian, rekam temperatur sampel. Pertahankan sampel pada temperatur yang ditentukan selama 200 h.

10.26.4 Pengukuran final

Setelah sampel mencapai temperatur ruangan, ulangi pengujian MST 01, MST 11, MST 13, MST 16, dan MST 17.

10.26.5 Kriteria kelulusan

Selain kriteria kelulusan dalam uji yang tercantum pada 10.26.4 kriteria berikut harus dipenuhi:

Memenuhi jarak rambat dan jarak ruang sebagaimana ditentukan dalam Tabel 3 atau Tabel 4 IEC 61730-1:2022, tergantung pada Kelas modul FV menurut IEC 61140.

10.27 Uji kekuatan terminasi MST 42

Uji ini setara dengan MQT 14.1 di IEC 61215-2 dan juga harus dilakukan untuk *junction box* yang sesuai dengan IEC 62790 sebagaimana disyaratkan oleh IEC 61730-1.

Apabila area adhesif antara *junction box* dan modul harus dianggap sebagai sambungan tersemen, maka uji MST 01, MST 16, dan MST 17 harus tidak dianggap sebagai uji interim tetapi sebagai uji wajib. Uji harus dilakukan dengan mempertimbangkan persyaratan jarak sambungan tersemen pada area adhesif *junction box* di MST 57.

MQT 15 dapat dihilangkan.

10.28 Uji siklus termal MST 51

Uji ini setara dengan MQT 11 di IEC 61215-2 dengan modifikasi berikut. Gambar 1 menunjukkan versi (50 siklus atau 200 siklus) yang akan diterapkan pada sampel.

Untuk modul fotovoltaik silikon kristalin *bifacial* untuk 200 siklus, uji pada $I_{mp-aBSI}$ harus dilakukan sebagai ganti I_{mp-BSI} .

MQT 15 dapat dihilangkan.

10.29 Uji kelembapan-beku MST 52

Uji ini setara dengan MQT 12 di IEC 61215-2.

10.30 Uji panas-lembap MST 53

Uji ini setara dengan MQT 13 di IEC 61215-2. Dalam standar ini, dua versi uji diterapkan. Satu dengan durasi standar seperti yang dijelaskan dalam IEC 61215-2 (1.000 h) dan satu lagi dengan durasi yang dikurangi minimal 200 h (+16 h). Versi uji yang berlaku ditentukan pada Gambar 1.

Beban 5 N dipasang ke *junction box* sesuai dengan prosedur pemasangan beban di 10.28 selama uji panas-lembap hanya di urutan uji D.

10.31 Uji UV MST 54

Uji ini setara dengan MQT 10 di IEC 61215-2, kecuali pada urutan B uji ini diterapkan pada sisi depan satu modul dan sisi belakang modul lainnya. Dosis UV MST 54 yang akan diterapkan ditentukan pada Gambar 1.

MQT 15 dapat dihilangkan.

Jika modul dimaksudkan untuk penggunaan terbatas sehingga bagian belakang tidak akan terekspos sinar UV, misalnya ubin sirap atau aplikasi BIPV lainnya, urutan uji B hanya mungkin dilakukan dengan eksposur sisi depan.

RSNI3 IEC 61730-2:2023

Untuk urutan uji C, uji diterapkan pada sisi depan salah satu modul. Hal ini berlaku juga untuk modul bifacial.

10.32 Uji pengondisian dingin MST 55

10.32.1 Tujuan

Tujuan dari uji ini adalah untuk mengevaluasi penerapan Tingkat Polusi PD = 1 pada modul FV. Uji dan urutan uji sesuai dengan IEC 61010-1 dan disesuaikan agar dapat diterapkan pada modul FV.

10.32.2 Peralatan

Uji harus dilakukan dalam *chamber* iklim yang mampu memenuhi persyaratan prosedur uji. *Chamber* iklim harus memenuhi persyaratan IEC 60068-3-5.

10.32.3 Prosedur

Pengondisian dingin harus dilakukan sebagaimana ditetapkan dalam prosedur Ab IEC 60068-2-1:2007.

- a) Pasang sensor temperatur yang sesuai ke permukaan modul FV depan atau belakang di dekat sisi tengah.
- b) Letakkan modul FV di *chamber* iklim.
- c) Setelah *chamber* ditutup, atur modul FV ke temperatur $-40\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ selama 48 h.

CATATAN Toleransi temperatur diambil dari IEC 60068-2-1:2007, 6.2.

10.32.4 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) Tidak ada bukti cacat visual mayor sebagaimana ditetapkan dalam MST 01.
- b) MST 16 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.

10.33 Uji pengondisian panas kering MST 56

10.33.1 Tujuan

Tujuan dari uji ini adalah untuk mengevaluasi penerapan Tingkat Polusi PD = 1 pada modul FV. Uji dan urutan uji sesuai dengan IEC 61010-1 dan disesuaikan agar dapat diterapkan pada modul FV.

10.33.2 Peralatan

Uji harus dilakukan dalam *chamber* iklim yang mampu memenuhi persyaratan prosedur uji. *Chamber* iklim harus memenuhi persyaratan IEC 60068-3-5.

10.33.3 Prosedur

Pengondisian panas kering harus dilakukan sebagaimana ditetapkan dalam prosedur Ab IEC 60068-2-2:2007.

- a) Pasang sensor temperatur yang sesuai ke permukaan modul FV depan atau belakang di

dekat sisi tengah.

- b) Letakkan modul FV di *chamber* iklim.
- c) Setelah *chamber* ditutup, atur modul FV ke temperatur $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 200 h. Ini adalah uji panas kering tanpa kontrol kelembapan.

CATATAN Toleransi temperatur diambil dari IEC 60068-2-2:2007, 6.2.

10.33.4 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) Tidak ada bukti cacat visual mayor sebagaimana ditetapkan dalam MST 01.
- b) MST 16 harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.

10.34 Evaluasi koordinasi insulasi MST 57

10.34.1 Tujuan

Tujuan dari uji ini adalah untuk mengevaluasi apakah jarak ruang dan jarak rambat minimum, jarak sambungan tersemen, serta jarak insulasi fungsional yang diberikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 IEC 61730-1:2022 terpenuhi. Untuk jarak di dalam *junction box*, setelah instalasi dan terminasi pita, nilai minimum IEC 62790 harus dipenuhi.

CATATAN Kasus penggunaan spesifik ditunjukkan dalam Lampiran C IEC 61730-1:2022.

10.34.2 Peralatan

Uji harus dilakukan dengan menggunakan

- perangkat pengukuran yang dikalibrasi, contoh kaliper, mikroskop, dll.;
- perangkat pengujian tegangan impuls yang dijelaskan dalam 10.12.2 (MST 14) menggunakan tegangan berbeda (lihat 10.34.3.3), jika berlaku;
- peralatan uji insulasi yang dijelaskan dalam 10.13 (MST 16) (lihat 10.34.3.4), jika berlaku.

10.34.3 Prosedur

10.34.3.1 Umum

Verifikasi jarak ruang dan jarak rambat harus dilakukan sesuai dengan peraturan dan ketentuan umum IEC 60664-1:2020, Pasal 6, dengan mempertimbangkan persyaratan yang diberikan dalam IEC 61730-1:2022.

Verifikasi jarak antara komponen konduktif dengan potensial berbeda melalui insulasi fungsional harus dilakukan sesuai dengan 10.34.3.4.

Jarak minimum jarak ruang dan jarak rambat diverifikasi menggunakan pengukuran fisik.

10.34.3.2 Jarak rambat

Jarak rambat harus diverifikasi menggunakan pengukuran fisik dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang memengaruhinya, seperti tegangan, tingkat polusi, kelompok material, dll.

10.34.3.3 Jarak ruang

Untuk memverifikasi jarak ruang, dua hal berikut harus dipertimbangkan:

- a) Untuk nilai menurut Tabel 3 atau 4 berdasarkan pertimbangan Tabel 5 IEC 61730-1:2022, diperlukan verifikasi menggunakan pengukuran fisik, dan tidak diperlukan verifikasi lebih lanjut menggunakan uji tegangan.
- b) Untuk nilai yang lebih kecil dari nilai di Tabel 3 atau 4 IEC 61730-1:2022 (hanya digunakan pada kondisi tingkat polusi 1 dan 2, dan pada kondisi jarak rambat terkait memenuhi persyaratan), jarak ruang harus diverifikasi dengan uji tegangan impuls.

Tegangan uji sesuai dengan tegangan impuls terukur yang ditentukan dalam Tabel 11 IEC 61730-1:2022 dengan mempertimbangkan faktor pengujian dan/atau pengoperasian pada ketinggian yang berbeda dari 2.000 m. Rumus koreksi ketinggian untuk tegangan uji pada ketinggian yang berbeda dari 2.000 m tercantum dalam 6.2.2.1.4 IEC 60664-1:2020. Untuk menyederhanakan masalah, nilai dari Tabel 9 dan Tabel 10 dapat digunakan.

Jika jarak ruang antara komponen bertegangan di dalam *junction box* dan permukaan luar yang dapat diakses harus diverifikasi dengan uji tegangan impuls, foil logam harus dililitkan di sekeliling *junction box* (lihat juga 5.3.6 di IEC 62790:2020).

- c) Jika jarak ruang terletak pada antarmuka antara dua lapisan lembaran belakang atau pada antarmuka antara *encapsulant* dan lembaran depan (kaca), harus dilakukan uji tegangan impuls seperti yang dijelaskan pada b), dengan tambahan uji insulasi MST 16 pada tegangan uji AC atau DC yang lebih tinggi sebesar (2.000 V + 4 kali tegangan kerja).

Tabel 9 – Faktor koreksi ketinggian untuk tegangan uji untuk ketinggian pengoperasian (instalasi) yang lebih tinggi dari 2.000 m

Ketinggian operasi yang ditentukan m	Faktor perkalian tegangan uji k_{UO} terkait jarak ruang minimum sebagaimana disyaratkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 IEC 61730-1:2022 mm		
	$cl \leq 1$	$1 < cl \leq 10$	$10 < cl$
0 sampai 2.000	1,00	1,00	1,00
2.001 hingga 3.000	1,04	1,09	1,12
3.001 hingga 4.000	1,09	1,19	1,24
4.001 hingga 5.000	1,14	1,30	1,40
5.001 hingga 6.000	1,19	1,43	1,57
6.001 hingga 7.000	1,25	1,56	1,77

Tabel 10 – Faktor koreksi ketinggian untuk tegangan uji untuk ketinggian pengujian (laboratorium) yang lebih rendah dari 2.000 m

Pengujian (laboratorium) ketinggian m	Faktor perkalian tegangan uji k_{UL} terkait jarak ruang minimum sebagaimana disyaratkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4 IEC 61730- 1:2022 mm		
	$cl \leq 1$	$1 < cl \leq 10$	$10 < cl$
0 sampai 199	1,08	1,18	1,23
200 sampai 499	1,08	1,16	1,21
500 sampai 999	1,06	1,13	1,17
1.000 sampai 1.999	1,04	1,09	1,11
2.000 atau lebih	1,00	1,00	1,00

Tegangan uji harus dihitung sebagai berikut:

$$U_{Test} = U \times k_{UL} \times k_{UO}$$

keterangan

U_{Test} adalah tegangan uji;

U adalah tegangan impuls terukur menurut Tabel 11;

k_{UL} adalah faktor perkalian ketinggian pengujian (laboratorium);

k_{UO} adalah faktor perkalian ketinggian pengoperasian.

Tabel 11 – Rating tegangan impuls

Tegangan terukur V DC	Nilai <i>rating</i> tegangan impuls untuk insulasi dasar Insulasi dasar ($U_{ratedIV}$) kV (1,2/50 μ s)	Nilai <i>rating</i> tegangan impuls untuk insulasi yang diperkuat Insulasi yang diperkuat ($U_{ratedIV}$) kV (1,2/50 μ s)
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	8,0	12,0
1.250	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.

10.34.3.4 Distances through functional insulation

Untuk verifikasi jarak antara bagian bertegangan dengan potensial berbeda melalui insulasi fungsional, dua hal berikut harus dipertimbangkan:

RSNI3 IEC 61730-2:2023

- a) untuk nilai menurut baris 3a) Tabel 3 atau 4 IEC 61730-1:2022 untuk insulasi fungsional, verifikasi menggunakan pengukuran fisik dipersyaratkan dan tidak diperlukan verifikasi lebih lanjut menggunakan uji tegangan;
- b) untuk nilai yang lebih kecil dari nilai pada baris 3a) Tabel 3 atau 4 IEC 61730-1:2022, nilai pada baris 3b) Tabel 3 atau 4 IEC 61730-1:2022 berlaku, dengan syarat bahwa jarak tersebut telah diverifikasi oleh uji tegangan tinggi dengan tegangan uji AC atau DC dengan $(1.000 \text{ V} + 2 \text{ kali tegangan kerja})$. Tegangan harus diterapkan selama 1 min antara kedua titik akhir jarak tersebut.

10.34.3.5 Jarak sepanjang sambungan tersemen pada area adhesif *junction box*

Untuk *junction box* yang menggunakan area adhesif sebagai sambungan tersemen karena konstruksinya yang khas, Uji pengelupasan MST 35 dan Uji kekuatan *lap shear* MST 36 tidak dapat digunakan. Untuk memenuhi syarat sambungan tersemen tersebut, uji berikut harus dilakukan:

- Sebagai tambahan Uji kekuatan terminasi MST 42 pada Gambar 1 urutan uji C untuk seluruh *junction box* jika sambungan tersemen, MST 42 harus dilakukan lagi pada Gambar 1 urutan uji D antara Uji panas-lembap MST 53 dan Uji beban mekanis MST 34. Untuk Uji insulasi MST 16 dan Uji arus bocor MST 17 setelah Uji ketahanan terminasi MST 42 pada Gambar 1 urutan C, D, dan E harus dilakukan dengan tegangan uji yang ditingkatkan.
- Hal berikut ini berlaku: $U_{\text{Test}}(\text{sambungan tersemen}) = U_{\text{Test}} 1,35$ sebagaimana disyaratkan oleh IEC 61730-1.
- Jika kriteria Inspeksi visual MST 01, Uji insulasi MST 16 dan Uji arus bocor MST 17 (dengan peningkatan tegangan uji) setelah Uji kekuatan terminasi MST 42 telah lulus, maka nilai sambungan tersemen seperti yang tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4 dengan mempertimbangkan C.2.3 IEC 61730-1:2022 dapat diterapkan untuk area adhesif.

Untuk pelaksanaan uji insulasi, foil metal harus dililitkan di sekeliling *junction box* (lihat juga 5.3.6 di IEC 62790:2020) yang berdekatan dengan area adhesif.

10.34.4 Kriteria kelulusan

Kriteria kelulusan adalah sebagai berikut:

- a) Nilai terukur untuk jarak rambat dan jarak ruang serta *distance through functional insulation* tidak berada di bawah nilai minimum yang tercantum dalam Tabel 3 dan 4 IEC 61730-1:2022.
- b) Tidak ada bukti kerusakan dielektrik akibat uji tegangan impuls (jika ada) yang terjadi selama uji untuk memverifikasi jarak ruang.
- c) Tidak ada bukti kerusakan dielektrik akibat uji tegangan impuls (jika ada) dan uji tegangan tinggi (jika ada) yang terjadi selama uji untuk memverifikasi jarak antara dua bagian konduktif dengan potensial berbeda melalui insulasi fungsional.

Lampiran A (informatif) Rekomendasi untuk pengujian modul FV dari produksi

A.1 Umum

Lampiran ini memberikan panduan mengenai cara memverifikasi bahwa produksi modul FV selalu memenuhi persyaratan keamanan minimum standar ini. Jika memungkinkan, pengukuran lini produksi berdasarkan waktu dapat dilakukan. Dipahami bahwa uji ini adalah rekomendasi dan dapat digantikan dengan prosedur uji lain yang diharapkan dapat menghasilkan informasi yang sama.

Ketentuan harus ditetapkan untuk melihat kesalahan perangkat indikasi akibat kegagalan fungsi perangkat.

Rekomendasi ini dapat digunakan untuk menyelaraskan praktik pengawasan pabrik terkait pengukuran lini produksi.

Informasi dari uji lini produksi mungkin diperlukan dalam pekerjaan pengawasan pabrik oleh lembaga sertifikasi.

Informasi untuk sistem mutu pembuatan modul FV tersedia dalam IEC 62941.

A.2 Daya output modul

Disarankan agar daya output elektrik diverifikasi pada konfigurasi pengkawatan akhir dengan basis 100%. Hasil pengukuran kurva $I-V$ juga dapat digunakan untuk memverifikasi bahwa nilai arus dan tegangan berada dalam spesifikasi. Semua nilai I_{sc} and V_{oc} hasil produksi harus dicakup oleh toleransi produk yang memenuhi syarat berdasarkan IEC 61730. Kemungkinan efek stabilisasi harus dipertimbangkan jika diperkirakan terjadi perubahan pada I_{sc} dan V_{oc} selama pengoperasian di bawah sinar matahari. Uji ini juga akan memverifikasi bahwa diode *bypass* tidak mengalami hubung-singkat.

A.3 Uji insulasi basah

Uji ini memverifikasi bahwa sifat insulasi permukaan luar modul FV hasil produksi memenuhi persyaratan keselamatan elektrik dalam standar ini.

Metode uji alternatif yang setara diperbolehkan.

Uji dilakukan sesuai dengan MST 17 dan dilakukan pada tingkat pengambilan sampel minimal 1 modul FV per laminator per *shift* kerja. Sampel uji harus disisihkan hingga semua *sealant* mengeras (perhitungkan waktu pengawetan) dan kemudian diuji dalam *batch* berikutnya.

Tingkat pengambilan sampel dapat ditingkatkan atau diturunkan tergantung pada hasil pengukuran.

Tegangan uji didasarkan pada definisi uji MST 17 termasuk faktor Y .

$$U_{TEST} = U_{SYS} \times Y$$

$Y = 1$ digunakan untuk durasi uji minimal 1 min. $Y = 1,2$ digunakan untuk durasi uji minimal 5 s. Waktu *ramp-up* untuk tegangan uji dipilih sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kerusakan yang disebabkan oleh waktu. Selama uji, harus tidak ada gangguan pada tegangan uji.

Rentang temperatur air adalah 15 °C hingga 45 °C. Arus bocor harus dikoreksi hingga 25 °C menggunakan faktor koreksi yang ditunjukkan untuk modul FV, yang akan ditentukan untuk setiap tipe modul FV.

Untuk desain modul FV tanpa *frame*, direkomendasikan tingkat pengambilan sampel 100% (contoh untuk menyaring kegagalan kerusakan lini produksi sebelum pengemasan) sebagai bagian dari uji akhir pada modul sebelum pelabelan.

Untuk modul FV dengan sambungan tersemen, direkomendasikan tingkat pengambilan sampel 100%. U_{Test} harus dinaikkan dengan tambahan faktor 1,35 seperti yang disyaratkan dalam IEC 61730-1:2022, 5.6.3.4.

A.4 Inspeksi visual

Inspeksi visual dilakukan dengan basis 100% bertujuan untuk memverifikasi bahwa jarak ruang (jarak bagian bertegangan ke tepi modul FV) berada dalam spesifikasi produk. Disarankan untuk melakukan inspeksi ini sebelum proses *framing* jika ada.

Perhatian khusus harus diberikan jika sambungan tersemen digunakan untuk insulasi. Modul FV yang menggunakan sambungan tersemen harus diinspeksi dengan basis 100% di sepanjang tepi dan area dengan sambungan tersemen, tujuannya adalah untuk memverifikasi bahwa kriteria inspeksi visual jarak sambungan tersemen seperti yang ditentukan dalam 10.2.3 c) terpenuhi.

A.5 Diode bypass

Verifikasi bahwa diode *bypass* berfungsi dengan baik dilakukan pada tingkat pengambilan sampel 100%.

Tiga metode uji alternatif dapat diaplikasikan:

- a) Lakukan pengukuran *I-V* tambahan berturut-turut bersamaan dengan penentuan daya maksimum, dengan satu sel dari setiap *string* dalam rangkaian interkoneksi ditutupi sepenuhnya. Diode *bypass string* ini berfungsi dengan baik jika terdapat karakteristik lengkungan yang khas pada kurva *I-V*.
- b) Uji konduktivitas dapat dilakukan dengan terminal modul FV yang polaritasnya terhubung secara terbalik ke sumber arus. Aliran arus dan penurunan tegangan pada terminal modul FV dapat digunakan sebagai indikator bahwa diode berfungsi dengan baik.
- c) Karakteristik *I-V* dari semua diode dapat diverifikasi sebelum perakitannya. Jika diode *bypass* berada pada *junction box*, hal ini dapat dilakukan melalui pengukuran pada terminal yang sesuai pada *junction box*. Prasyarat untuk metode terakhir adalah rencana yang tepat untuk mengurangi kemungkinan pengaruh pelepasan beban listrik statis pada diode dalam produksi.

CATATAN Prosedur verifikasi diode *bypass* dapat diambil dari MQT 18.2 di IEC 61215-2 dan IEC TS 62916.

A.6 Uji kontinuitas ikatan ekuipotensi

Modul FV yang dilengkapi koneksi untuk ikatan ekuipotensi harus menjalani uji kontinuitas ikatan ekuipotensi (MST 13). Pada tingkat pengambilan sampel 1 modul FV per stasiun *framing* per *shift* kerja menunjukkan kontinuitas listrik antara koneksi pentanahan dan seluruh bagian konduktif yang dapat diakses. Perangkat indikasi apa pun yang sesuai dapat digunakan (suplai arus bersamaan dengan pengukuran arus dan tegangan).

Proses produksi lain selain produksi otomatis mungkin memerlukan tingkat pengambilan sampel yang lebih tinggi.

Modul FV yang tidak memiliki *frame* atau lokasi ikatan ekuipotensi yang teridentifikasi harus dikecualikan dari persyaratan ini.

Lampiran B
(informatif)

Uji kebakaran, uji penyebaran api (*spread-of-flame test*), dan uji *burning-brand* untuk modul FV

B.1 Umum

Modul FV yang dipasang di dalam atau di atas bangunan, secara umum, harus memenuhi peraturan dan persyaratan bangunan dan konstruksi nasional. Jika persyaratan tersebut tidak tersedia, standar internasional dan nasional berikut yang memberikan informasi mengenai uji dapat digunakan:

ISO 834-1, *Fire-resistance tests – Elements of building construction – Part 1: General requirements*

ISO TR 834-3, *Fire-resistance tests – Elements of building construction – Part 3: Commentary on test method and guide to the application of the outputs from the fire-resistance test*

ISO 5657, *Reaction to fire tests – Ignitability of building products using a radiant heat source*

EN 13501-5, *Fire classification of construction products and building elements – Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests*

ENV 1187-1 through ENV 1187-4, *Test methods for roof coverings under the influence of a thermal attack of burning brands and radiant heat*

ANSI/UL 790: *Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings*

ANSI/UL 61730-2: *Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification – Part 2: Requirements for testing.*

B.2 Uji kebakaran untuk modul FV berdasarkan ENV 1187

B.2.1 Umum

Metode uji kebakaran ENV 1187, bagian 1 hingga 4, berbeda dalam hal panas radiasi, *brands* yang digunakan, aliran udara tambahan (simulasi angin), sudut kemiringan, jumlah dan ukuran sampel uji yang diminta. Kriteria kelulusan untuk setiap metode uji dijelaskan dalam EN 13501-5.

Secara umum, sistem FV yang terintegrasi pada bangunan harus diuji bersama dengan sistem pemasangan yang ditentukan dengan mengikuti petunjuk instalasi dari pabrikan modul FV. Saat menguji modul FV, material pemasangan dan sambungan antara modul FV serta material *sealing* harus dipertimbangkan dan disertakan dalam pengaturan uji.

Persyaratan sampel uji untuk metode uji berdasarkan ENV 1187-1 (klasifikasi B_{ROOF} (t1)) dijelaskan di bawah ini untuk memberikan contoh.

B.2.2 Eksposur api eksternal pada atap

Bagian 1: Metode uji yang menyimulasikan eksposur terhadap *burning brands*, tanpa angin

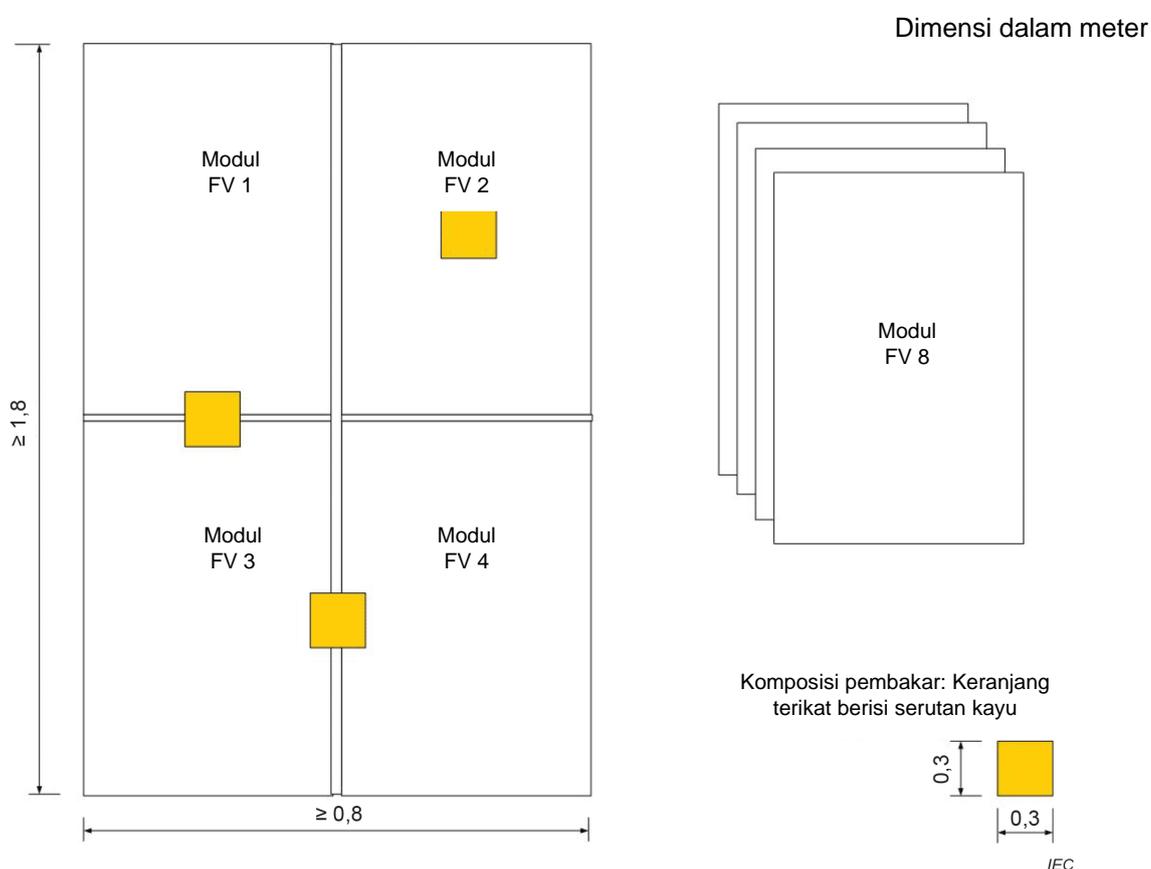
atau radiasi panas tambahan.

Uji dapat dilakukan untuk salah satu atau kedua rentang berikut, rentang sudut kemiringan atap 0° hingga 45° pada 15° dan rentang kemiringan atap 45° hingga 90° pada 45° .

Persyaratan per kemiringan atap:

- Konstruksi atap yang realistis, termasuk balok silang dan semua bagian pemasangan dengan modul FV terpasang sama seperti pada instalasi sistem akhir, harus disediakan oleh pabrikan modul FV.
- Ukuran minimum dek uji adalah $0,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$. Karena uji sambungan melintang dan vertikal juga diperlukan, beberapa sampel mungkin diperlukan untuk membuat dek uji yang lengkap.

Gambar B.1 menunjukkan contoh pengaturan pengujian untuk uji kebakaran mengikuti ENV 1187-1.



Gambar B.1 – Contoh pengaturan uji untuk uji kebakaran

- Empat modul FV diperlukan untuk setiap uji (jika sudut kemiringan yang berbeda harus dipertimbangkan, jumlah sampel akan bertambah). Satu sambungan vertikal dan satu sambungan horizontal di atas atap dan dua komposisi pembakar yang diterapkan secara sentris diuji pada satu modul FV. Dengan demikian, penyaluran api dan pengaruh lapisan fungsional bawah yang mungkin terjadi sebagai contoh insulasi termal dan penyegelan diuji.
- Untuk modul FV terintegrasi pada bangunan, prosedur penempatan komposisi pembakar harus sesuai dengan petunjuk yang ditetapkan di atas untuk semua metode uji ENV 1187.
- Untuk modul FV yang ditambahkan pada bangunan, uji kebakaran dapat dibatasi hanya

pada satu modul FV dan satu *brand* terpusat, selama tidak ada material polimer yang digunakan pada bagian interkoneksi (sambungan), penyangga, atau *frame*.

B.2.3 Klasifikasi berdasarkan EN 13501-5

Kriteria klasifikasi:

- Api dari luar dan dari dalam menyebar ke atas hingga $< 0,7$ m.
- Api dari luar dan dari dalam menyebar ke bawah hingga $< 0,6$ m.
- Panjang maksimum jejak terbakar dari luar dan dari dalam $< 0,8$ m.
- Tidak ada material terbakar yang menjadi titik api dan material puing di area yang terekspos api.
- Tidak ada potongan yang terbakar atau berpijar yang menembus konstruksi atap.
- Tidak ada bukaan (akibat terbakar) > 25 mm².
- Jumlah total seluruh bukaan akibat pembakaran < 4.500 mm².
- Penyebaran api ke samping tidak mencapai batasan area uji.
- Tidak ada pijar dari dalam.
- Radius penyebaran api maksimum pada atap horizontal, di luar, dan di dalam $< 0,2$ m.

B.3 Uji kebakaran untuk modul FV berdasarkan ANSI/UL 61730-2

Ketahanan terhadap api pada modul FV yang diinstal pada atau di atas atap bangunan telah terbukti bergantung pada lebih dari sekadar karakteristik *flammability* modul FV. Faktanya, ketahanan modul FV terhadap api sangat bergantung pada kombinasi dan konfigurasi material atap, sistem pemasangan rak, dan modul FV sebagai suatu sistem. Sebagai hasil dari temuan ini, uji kebakaran sistem FV dikembangkan untuk menetapkan klasifikasi ketahanan terhadap api untuk sistem FV yang konsisten dengan klasifikasi kebakaran material atap.

Untuk mengurangi jumlah uji yang diperlukan guna mencakup setiap kemungkinan kombinasi modul FV dengan sistem rak FV dan material atap, dua konsep baru diperkenalkan:

- a) Pengelompokan jenis modul FV opsional yang mengelompokkan modul FV dengan konstruksi serupa, karakteristik penyebaran api, dan karakteristik *burning brand*. Hal ini memungkinkan penggantian modul FV jenis tertentu dengan modul FV lain yang memiliki jenis yang sama tanpa memengaruhi rating kebakaran sistem FV.
- b) Penggunaan material atap umum untuk uji yang memenuhi persyaratan kinerja spesifik untuk mewakili semua material atap. Satu set persyaratan konstruksi dan kinerja material atap telah ditetapkan untuk aplikasi atap dengan kemiringan curam dan satu lagi untuk aplikasi atap dengan kemiringan rendah.

Konstruksi kinerja ketahanan kebakaran sistem FV dan persyaratan tipe modul FV dirinci dalam ANSI/UL 61730-2. Metode uji untuk klasifikasi kinerja ketahanan kebakaran sistem FV ditentukan dalam ANSI/UL 61730-2.

Modul FV yang akan diintegrasikan pada struktur bangunan (modul BIPV) klasifikasi kebakaran dievaluasi sebagai material atap berdasarkan persyaratan UL 790 sebagaimana ditentukan dalam ANSI/UL 61730-2.

Untuk menilai perilaku dasar perambatan api modul FV tanpa mempertimbangkan sistem pemasangannya, ANSI/UL 61730-2 dapat digunakan.

Lampiran C
(normatif)
Penggunaan sampel representatif untuk modul berukuran sangat besar

Sampel representatif boleh digunakan jika modul berukuran "sangat besar", sebagaimana didefinisikan dalam IEC 61215-1. Berdasarkan definisi ini, sebuah modul dianggap sangat besar jika melebihi 2,2 m pada dimensi mana pun, atau melebihi 1,5 m pada dua dimensinya.

Terdapat batasan yang ditetapkan mengenai seberapa banyak dimensi modul yang sangat besar dapat dikurangi saat membuat modul representatif untuk pengujian keselamatan. Dimensi yang dikurangi harus tidak kurang dari setengah dimensi modul yang ditetapkan sebagai "sangat besar". Dengan kata lain, ketika mengurangi dimensi lebar, sampel representatif harus memiliki lebar minimum 0,75 m. Ketika mengurangi dimensi panjang, sampel representatif harus memiliki panjang minimum 1,1 m. Dengan demikian, pabrikan tidak diperbolehkan menggunakan, misalnya, modul mini satu sel untuk pengujian keselamatan.

CATATAN Modul yang dianggap "sangat besar" adalah modul yang tidak muat untuk dimasukkan ke simulator AAA terbesar yang tersedia secara komersial, atau pada *chamber* iklim yang diperlukan.

Untuk modul yang sangat besar, sampel representatif dapat digunakan untuk beberapa uji keselamatan. Selama desain dan pembuatan sampel representatif, sebaiknya diberikan perhatian khusus untuk mencapai kemiripan maksimum dengan produk ukuran penuh dalam semua karakteristik elektrik, mekanis, dan termal terkait dengan keselamatan, kualitas, dan reliabilitas

Secara khusus, sampel representatif harus memenuhi dan mempertimbangkan:

Proses pembuatan:

Sampel yang dipilih untuk uji harus memenuhi persyaratan Pasal 6.

Peralatan produksi serupa harus digunakan.

Proses *tabbing* dan *stringing* harus sama.

Uji jaminan mutu yang sama harus dilakukan.

Daftar material:

Daftar material identik.

Koordinasi insulasi

Jarak yang sama (atau kurang) antar sel dan antara bagian bertegangan dengan tepi modul.

Interkoneksi yang sama dalam rangkaian elektrik, contoh, jumlah sel yang sama per *sub-string*.

Persyaratan yang sama untuk insulasi pada lapisan tipis.

Tujuannya adalah untuk merancang sampel representatif yang semirip mungkin dengan modul yang sangat besar, dengan memberikan perhatian khusus terhadap stres yang mungkin terjadi demi keselamatan mekanis dan elektrik.

Desain individu dari pabrikan modul yang berukuran sangat besar mungkin memerlukan keputusan yang berbeda untuk setiap kasus terkait kelayakan pengujian keselamatan mekanis dan elektris. Pengguna standar ini harus meninjau penggunaan modul representatif, apakah uji dapat dilakukan secara setara dengan modul ukuran penuh atau dengan persyaratan yang lebih kritis, dan mencatat alasannya dalam uji terkait dalam laporan.

Tidak semua uji dapat dilakukan pada sampel representatif, beberapa uji harus dilakukan pada modul ukuran penuh.

Tabel C.1 memberikan ringkasan mengenai uji mana saja yang diizinkan menggunakan sampel representatif, dan uji mana yang wajib menggunakan sampel ukuran penuh.

Tabel C.1 – Gambaran umum uji

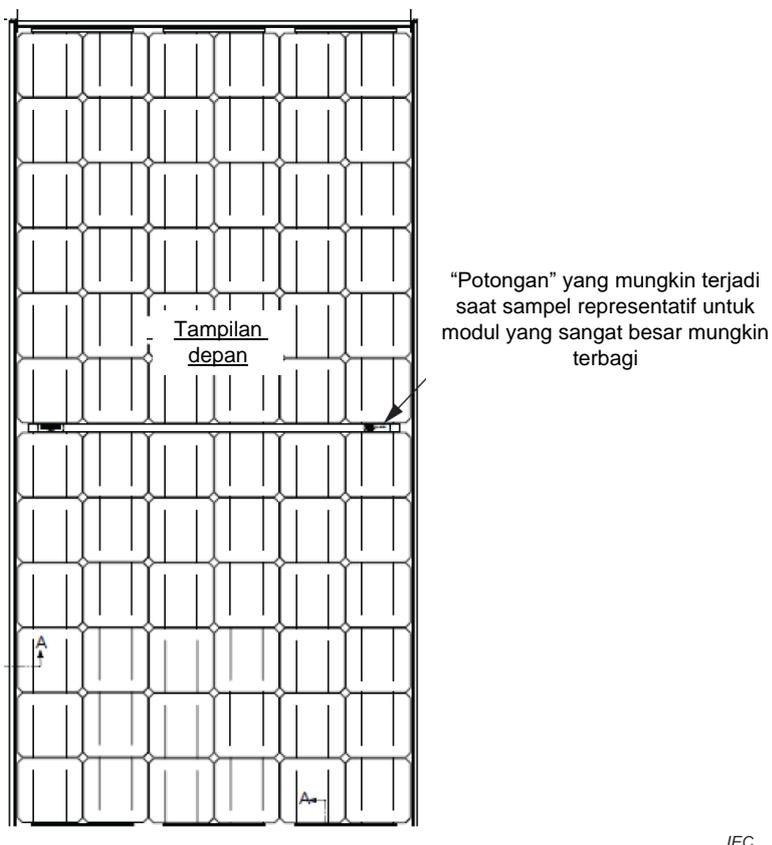
Subpasal	No. Uji MST	Uji yang dilakukan	Sampel
10.2	01	Inspeksi visual	Apabila sampel representatif diperbolehkan selama pengondisian, MST 01 juga harus dilakukan pada sampel tersebut.
10.3	02	Kinerja pada STC	Sampel representatif diizinkan, namun ketidakpastian pengukuran harus dipertimbangkan. Setidaknya satu modul ukuran penuh perlu diuji.
10.4	03	Penentuan daya maksimum	Sampel representatif diizinkan.
10.5	04	Ketebalan insulasi	Sampel representatif diizinkan.
10.6	05	Ketahanan penandaan	Sampel representatif diizinkan.
10.7	06	Uji ketajaman tepi	Uji harus dilakukan pada sampel ukuran penuh dan sampel representatif, tergantung pada urutan uji.
10.8	07	Fungsionalitas diode <i>bypass</i>	Uji dapat dilakukan pada sampel representatif.
10.9	11	Uji aksesibilitas	Uji harus dilakukan pada sampel ukuran penuh dan sampel representatif, tergantung pada urutan uji.
10.10	12	Uji kerentanan terhadap potongan	Sampel representatif diizinkan.
10.11	13	Uji kontinuitas ikatan ekuipotensial	Sampel representatif diizinkan. Untuk uji beban mekanis dan uji kerusakan modul, diperlukan sampel ukuran penuh.
10.12	14	Uji tegangan impuls	Sampel ukuran penuh diperlukan
10.13	16	Uji insulasi	Uji harus dilakukan pada sampel ukuran penuh dan sampel representatif, tergantung pada urutan uji
10.14	17	Uji arus bocor basah	Uji harus dilakukan pada sampel ukuran penuh dan sampel representatif, tergantung pada urutan uji
10.16	22	Uji ketahanan titik panas	Sampel representatif diizinkan

Tabel C.1 – Gambaran umum uji (lanjutan)

Subpasal	No. Pengujian MST	Pengujian yang dilakukan	Sampel
10.18	24	Uji kemampuan tersulut	Sampel representatif diizinkan sebagaimana dijelaskan dalam standar
10.19	25	Uji termal diode <i>bypass</i>	Sampel representatif diizinkan
10.20	26	Uji beban lebih arus balik	Sampel ukuran penuh diperlukan
10.21	32	Uji kerusakan modul	Sampel ukuran penuh diperlukan
10.22	33	Uji sambungan sekrup	Sampel representatif diizinkan
10.23	34	Uji beban mekanik statis	Sampel ukuran penuh diperlukan
10.24	35	Uji pengelupasan	Sampel pengelupasan sebagaimana dijelaskan dalam MST 35
10.25	36	Uji kekuatan <i>lap shear</i>	Sebagaimana dijelaskan dalam MST 36
10.26	37	Uji <i>creep</i> pada material	Sampel representatif diizinkan.
10.27	42	Kekuatan terminasi	Sampel representatif diizinkan
10.28	51	Uji siklus termal	Sampel ukuran penuh diperlukan, kecuali terdapat "kerusakan" yang ditentukan (sesuai desain), contoh dua <i>string</i> paralel pada kaca ketika dua atau lebih modul berbeda dihubungkan sebagai 1 panel. Lihat juga Gambar C.1 Jika kedua bagian dihubungkan secara paralel, <i>Imp</i> dapat dibagi dua, jika dihubungkan secara seri, seluruh <i>Imp</i> harus diterapkan.
10.29	52	Uji kelembapan-beku	Sampel ukuran penuh diperlukan, kecuali terdapat "kerusakan" yang ditentukan (sesuai desain), contoh dua <i>string</i> paralel pada kaca ketika dua atau lebih modul berbeda dihubungkan sebagai 1 panel. Lihat juga Gambar C.1
10.30	53	Uji panas lembap	Sampel representatif diizinkan.
10.31	54	Uji UV	Sampel representatif diizinkan

Tabel C.1 – Gambaran umum uji (lanjutan)

Subpasal	No. Pengujian MST	Pengujian yang dilakukan	Sampel
10.32	55	Pengondisian dingin	Sampel sebagaimana dijelaskan untuk MST 52 diizinkan
10.33	56	Pengondisian panas kering	Sampel sebagaimana dijelaskan untuk MST 52 diizinkan
10.34	57	Evaluasi atau jarak ruang dan jarak rambat	Sampel ukuran penuh diperlukan.



IEC

Gambar C.1 – Contoh kemungkinan potongan

Bibliografi

IEC 60335-1:2020, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements*

IEC TS 62446-3, *Photovoltaic (PV) systems – Requirements for testing, documentation and maintenance – Part 3: Modul dan pembangkit fotovoltaik – Termografi inframerah luar ruangan*

IEC TR 62854, *Sharp edge testing apparatus and test procedure for lighting equipment – Tests for sharpness of edge*

IEC TS 62916, *Photovoltaic modules – Bypass diode electrostatic discharge susceptibility testing*

IEC 62941, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Quality system for PV module manufacturing*

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

EN 50380, *Marking and documentation requirements for Photovoltaic Modules*

UL 1439, *Tests for Sharpness of Edges on Equipment*

Informasi perumus SNI

[1] Komite Teknis Perumusan SNI

Komite Teknis 27-08 Energi Surya

[2] Susunan Keanggotaan Komtek Perumusan SNI

Ketua : Oo Abdul Rosyid

Wakil Ketua : Tony Susandy

Sekretaris : Shelty Juliavionni

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

[3] Konseptor Rancangan SNI

Asep Sopandi
Yusup
Pahlawan Sagala

[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