KEPUTUSAN KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL
NOMOR 393/KEP/BSN/9/2021
TENTANG
PENETAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA
8972:2021 METODE UJI KOMPOSIT SERAT BERPOLIMER SEBAGAI PENULANGAN ATAU PERKUATAN STRUKTUR BETON DAN MASONRI

KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL,

Menimbang :

a. bahwa untuk memenuhi kepentingan perlindungan terhadap konsumen, pelaku usaha, tenaga kerja, masyarakat lainnya, mengembangkan tumbuhnya persaingan yang sehat, keselamatan, keamanan, kesehatan, dan kelestarian fungsi lingkungan hidup, Rancangan Akhir Standar Nasional Indonesia yang disusun oleh Komite Teknis perlu ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia;
b. bahwa Rancangan Akhir Standar Nasional Indonesia sebagaimana dimaksud dalam huruf a, telah dikonsensuskan dan dinyatakan memenuhi persyaratan untuk ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia;
c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8972:2021 Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan

masonri;

Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 216, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5584);

2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2018 tentang Sistem Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 110, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6225);

3. Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2018 tentang Badan Standardisasi Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 10);

4. Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pedoman Pengembangan Standar Nasional Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 578);

5. Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 12 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 1 Tahun 2018 tentang Pedoman Tata Cara Penomoran Standar Nasional Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 1762);

Memperhatikan : Surat Direktur Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Nomor UM 0102-Ct/400A tanggal 1 November 2020 Hal Pelaporan Hasil Konsensus 9 Judul RSNI3 Lingkup SKT 91-01-S4 Tahun 2019;

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : KEPUTUSAN KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL TENTANG PENETAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA 8972:2021 METODE UJI KOMPOSIT SERAT BERPOLIMER SEBAGAI PENULANGAN ATAU PERKUATAN STRUKTUR BETON DAN MASONRI.

KESATU : Menetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8972:2021 Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri.

KEDUA : SNI 8972:2021 Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri sebagaimana dimaksud dalam Diktum KESATU merupakan adopsi identik melalui metode terjemahan satu bahasa dari standar ACI 440.3R-12 *Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymer* (FRP) *Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures,* yang ditetapkan oleh BSN tahun 2021.

KETIGA : Keputusan Kepala Badan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 3 September 2021
KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL,

KUKUH S. ACHMAD

SNI 8972:2021

Standar Nasional Indonesia

Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri

(ACI 440.3R-12, IDT)

ICS 91.080.01

BADAN STANDARDISASI NASIONAL

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

© ACI 2012 – All rights reserved
© BSN 2021 untuk kepentingan adopsi standar © ACI menjadi SNI – Semua hak dilindungi

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis BSN

BSN
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Daftar isi

Daftar isi i
Daftar gambar ii
Daftar tabel ii
Prakata iii
1 Umum 1
1.1 Pengantar 1
1.2 Lingkup 1
1.3 Metode uji ASTM yang ada 2
1.4 Definisi 4
1.5 Notasi 7
2 Metode uji batang FRP 8
2.1 Metode uji sifat penampang FRP 8
2.2 Metode uji sifat tarik longitudinal batang FRP 8
2.3 Metode uji kekuatan lekat batang FRP dengan pengujian cabut 8
2.4 Metode uji untuk kekuatan geser melintang batang FRP 15
2.5 Metode uji untuk kekuatan bengkok FRP dan sengkang di lokasi bengkok 15
2.6 Metode uji untuk ketahanan alkali batang FRP 19
2.7 Metode uji untuk penentuan fatik tarik batang FRP 23
2.8 Metode uji untuk keruntuhan rangkak batang FRP 27
2.9 Metode uji untuk relaksasi jangka panjang batang FRP 27
2.10 Metode uji untuk kinerja angkur tulangan FRP 29
2.11 Metode uji sifat tarik batang tulangan FRP yang dibengkokkan 31
2.12 Metode uji untuk menentukan efek jari-jari sudut pada kekuatan tarik batang FRP 34
3 Metode uji untuk FRP laminasi 40
3.1 Metode uji untuk uji cabut 40
3.2 Metode uji untuk uji tarik spesimen pipih 40
3.3 Metode uji untuk uji tarik sambungan lewatan 40
Referensi 41
Informasi pendukung terkait perumus standar

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Daftar gambar

Gambar B.3.1a –Beberapa metode uji lekatan untuk penulangan FRP dalam beton: (a) spesimen cabut; (b) spesimen ujung-balok; (c) spesimen balok sederhana; (d) spesimen ujung balok dengan sendi; (e) spesimen lewatan; (f) spesimen balok kantilever (tanpa tonjolan untuk dudukan beban/*dogbones*); dan (g) spesimen balok kantilever (dengan tonjolan untuk dudukan beban/*dogbones*) 8

Gambar B.3.1b – Spesimen uji lekatan vertikal 9

Gambar. B.3.1c – Uji lekatan horizontal 9

Gambar. B.3.4.2 – Set up pengujian lekatan dengan metode cabut 11

Gambar. B.3.4.4 – Penempatan LVDT pada permukaan kubus beton: (a) denah tiga LVDT pada ujung terbebani; dan (b) satu LVDT pada ujung bebas 11

Gambar. B.5.5.1 – Konfigurasi spesimen 16

Gambar B.5.7.1 – *Set up* pengujian 17

Gambar B.6.6.3 – Dimensi silinder beton 21

Gambar B.11.7.1 – Tes set up tipikal uji lentur 33

Gambar B.12.3.1a – (a) Perakitan peralatan uji; dan (b) Sketsa 35

Gambar B.12.3.1b – Bagian atas peralatan uji (dalam mm) 35

Gambar B.12.3.1c – Bagian bawah peralatan uji : (a) baji; dan (b) bagian bawah (dalam mm) 36

Gambar B.12.3.1d – Baji dan sudut penyisipan yang dapat diganti: (a) sudut pemasukan; dan (b) pemegang 36

Gambar B.12.3.1e – Peralatan tarik dibutuhkan dua set (*yoke*) (dalam mm) 37

Gambar B.12.3.1f – Pemasangan benda uji dan pengaturan alat ukur regangan (dalam mm) 37

Daftar tabel

Tabel 1.3 – Metode uji komposit FRP yang digunakan untuk beton dan masonri 2

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Prakata

SNI 8972:2021, *Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri,* merupakan standar yang disusun dengan adopsi identik dari ACI 440.3R-12, *Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures* dengan metode terjemahan satu Bahasa dan ditetapkan oleh BSN Tahun 2021. Standar ini semula diusulkan dalam Program Nasional Perumusan SNI (PNPS) usulan mendesak Tahun 2019 dengan judul, *Metode uji komposit serat berperekat polimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri.*

Dalam Standar ini terdapat beberapa gambar berwarna yang sifatnya hanya untuk memperjelas maksud dari gambar.

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan dan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Gugus Kerja Struktur Bangunan pada Subkomite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan. Selanjutnya, Sub Komite Teknis ini mengalami perubahan menjadi Komite Teknis 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung sesuai dengan Pedoman Pengelolaan Komite Teknis Perumusan Standar Nasional Indonesia. Standar ini telah dibahas dan disepakati dalam Rapat Konsensus pada tanggal 10 Desember 2019 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman 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 29 Maret 2021 dampai dengan tanggal 17 April 2021 dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Terdapat Standar Internasional yang diacu di acuan normative dalam Standar ini telah diadopsi menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu:

1. ACI 440.1R-15, *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars* diadopsi dengan metode modifikasi menjadi SNI 8970:2021, *Panduan perancangan dan pelaksanaan beton struktural bertulangan batang serat berpolimer*.
2. ACI 440.2R-17, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures* diadopsi dengan metode modifikasi menjadi SNI 8971:2021, *Panduan perancangan dan pelaksanaan sistem lembaran serat berpolimer terlekat eksternal untuk perkuatan struktur beton*.
3. ACI 440.6M-08, *Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for ConcreteReinforcement* diadopsi secara identik menjadi SNI 8975:2021, *Spesifikasi material batang serat karbon dan serat gelas berpolimer untuk penulangan beton.*
4. ASTM C293M-10, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center Point Loading)* diadopsi secara identik menjadi SNI 4154:2014, *Metode uji kekuatan lentur beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang).*

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan dokumen dimaksud, disarankan bagi pengguna standar untuk menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna.

Apabila pengguna menemukan keraguan dalam Standar ini, maka disarankan untuk melihat standar aslinya yaitu ACI 440.3R-12 dan/atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri

1 Umum

1.1 Pengantar

Struktur beton konvensional dan masonri biasanya ditulangi dengan baja prategang, nonprategang, atau keduanya. Baru-baru ini, bahan komposit yang terbuat dari serat yang terikat dalam resin polimer, juga dikenal sebagai serat berpolimer (FRP *Fiber-Reinforced Polymer* = Serat Berpolimer), telah menjadi alternatif pengganti baja tulangan. Karena bahan FRP nonlogam dan nonkorosif, masalah korosi baja dapat dihindari dengan penggunaan FRP. Selain itu, bahan FRP menunjukkan beberapa sifat, seperti kekuatan tarik tinggi, sehingga cocok untuk digunakan sebagai tulangan struktural. Bahan FRP tersedia dalam bentuk batang untuk digunakan tulangan dan tulangan prategang dan dalam lembaran pelat datar atau laminasi untuk digunakan sebagai bahan perbaikan.

Sifat mekanika FRP berbeda dibandingkan baja tulangan. Bahan FRP, yang bersifat anisotropik disebabkan oleh orientasi serat pada batang dan laminasi, bercirikan kekuatan tarik tinggi hanya pada arah serat. Perilaku anisotropik ini mempengaruhi kuat geser dan aksi dowel dari batang FRP dan sifat lekatan antara batang FRP dan beton.

Komposit FRP tersedia dengan sifat mekanika beragam, termasuk kekuatan tarik, kuat lekat, dan modulus elastisitas. Pada umumnya, FRP tidak tercakup oleh standar material nasional. Sebaliknya, produsen FRP memberikan data uji dan merekomendasikan nilai desain berdasarkan data uji ini. Oleh karena itu, sulit untuk membandingkan hasil pengujian antar produk. Selain itu, penelitian telah mempertimbangkan daya tahan tulangan FRP di lingkungan yang mengandung kelembapan, suhu tinggi, suhu rendah dan lingkungan alkali. Metode uji yang memungkinkan perbandingan retensi sifat mekanika dalam berbagai lingkungan standar diperlukan agar struktur yang diperkuat dengan FRP yang tahan lama dapat dipastikan.

1.2 Lingkup

Panduan ini memberikan metode uji model untuk menentukan sifat mekanika jangka pendek dan jangka panjang dari tulangan FRP, kisi, tendon, dan laminasi, baik prategang maupun nonprategang, untuk struktur beton dan masonri. Seperti dicatat dalam metode individual, sebagian besar metode untuk batang juga cocok untuk bagian yang dipotong dari kisi. Bila perlu, pengujian mempertimbangkan batang dan laminasi yang diuji tertanam atau terlekat pada beton atau pasangan. Namun, sebagian besar tes ini dianggap sebagai tes material dan bukan tes komponen atau struktural.

Metode uji model ini dimaksudkan untuk dipertimbangkan, dimodifikasi, dan diadopsi, baik secara keseluruhan atau sebagian, oleh badan penerbitan standar nasional A.S. seperti ASTM *International* atau AASHTO. Publikasi metode uji ini oleh ACI Komite 440 adalah upaya untuk membantu adopsi ini.

Panduan ini hanya berisi metode uji dan bukan standar material. Metode uji individual dalam panduan ini tidak menentukan sifat material minimum yang harus dipenuhi agar bahan tersebut dapat diterima untuk digunakan. Panduan untuk memutuskan apakah suatu material dapat diterima berdasarkan hasil pengujian dibuat dalam spesifikasi material dan ketentuan desain lain, yang melengkapi metode uji ini (ACI 440.1R; ACI 440.2R; ACI 440.6).

Metode uji yang disajikan dalam panduan ini adalah rekomendasi dari Komite ACI 440, dan belum diadopsi oleh ACI sebagai standar. Karena itu, sebagian besar, ditulis dalam bahasa

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

tidak wajib, menggunakan "sebaiknya" (*should*) dan "boleh" (*may*) dari pada "harus" (*shall*) dan "wajib" (*must*). Namun, sesuai dengan format metode uji yang biasa, beberapa bahasa adalah keharusan (" Isilah silinder dengan air ... "daripada" silinder harus diisi dengan air ... "). Meskipun biasanya dianggap sebagai bahasa wajib, penggunaan bahasa imperatif dalam metode tes ini adalah untuk keterbacaan, dan tetap sebagai rekomendasi komite saja.

1.3 Metode uji ASTM yang ada

Metode uji yang direkomendasikan di sini didasarkan pada pengetahuan yang diperoleh di seluruh dunia dari tinjauan hasil penelitian dan literatur. Standar ASTM yang relevan direferensikan dalam metode individual; lainnya tercantum dalam Tabel 1.3. Dalam banyak kasus, metode uji ASTM yang ada sesuai untuk menentukan sifat bahan untuk batang dan laminasi FRP. Metode tersebut sepenuhnya dapat diterima untuk tulangan FRP, tidak ada metode baru yang diusulkan. Metode baru yang disediakan telah dikembangkan untuk satu atau lebih alasan berikut:

a) Untuk menyediakan metode uji di mana tidak ada metode yang tersedia saat ini
b) Untuk memberikan persyaratan khusus yang lebih terperinci untuk batang atau laminasi FRP, seperti perincian tentang cara menggenggam tulangan pada perlengkapan uji.
c) Untuk mengadaptasi metode uji yang awalnya dikembangkan untuk batang baja diberlakukan untuk tulangan FRP
d) Untuk memberikan hasil tes yang kompatibel dengan dokumen ACI lainnya.

Dalam Tabel 1.3 dicantumkan metode uji spesifik berdasarkan ASTM dan metode ACI 440.3R pelengkap untuk berbagai sifat material. Sesuai keberadaan kedua metode uji ASTM dan ACI 440.3R, perbedaan antara kedua metode dirangkum. Ratusan metode uji ASTM berlaku untuk komposit FRP dan polimer organik. Tabel ini hanya menjelaskan sifat material utama dan tes ASTM yang dipilih, yang dapat digunakan untuk menentukan sifat ini. Untuk beberapa sifat, ASTM menyediakan lebih dari satu prosedur pengujian. Tabel tidak membahas perbedaan antara berbagai metode uji ASTM.

Tabel 1.3 – Metode uji komposit FRP yang digunakan untuk beton dan masonri

Sifat	Metode uji ASTM	Metode uji ACI 440	Resume perbedaan
Luas penampang	D7205/D7205M	—	ASTM D7205/D7205M menggantikan ACI 440.3R-04 Method B.1.
Kekuatan tarik longitudinal dan modulus	D7205/D7205M	—	ASTM D7205/D7205M menggantikan ACI 440.3R-04 Method B.2.
Sifat lekatan	A944	B.3	ASTM Uji Cabut C234 (ASTM C234) sudah dibatalkan dan tidak berisi informasi ukuran spesimen yang cukup untuk mencegah pengelupasan silinder beton bila menggunakan batang FRP Metode uji ASTM tentang lekatan baja dan beton adalah metode A944 yang belum termodifikasi untuk digunakan pada batang FRP. Pekerjaan Komite ACI 440 diharapkan menghasilkan metode uji lekatan balok
Kekuatan geser	D7617/D7617M	—	ASTM D7617/D7617M menggantikan ACI 440.3R-04 Method B.4.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Tabel 1.3 – Metode uji komposit FRP yang digunakan untuk beton dan masonry (lanjutan)

Sifat	Metode uji ASTM	Metode uji ACI 440	Resume perbedaan
Kapasitas batang yang dibengkokkan	—	B.5	Tidak tersedia metode uji ASTM
Sifat durabilitas	—	B.6	Tidak tersedia metode uji ASTM
Sifat fatik	D3479	B.7	Metode ACI menyediakan informasi khusus tentang pencengkeraman batang dan pemasangan alat ukur perpanjangan pada batang. Metode ACI juga mensyaratkan perhitungan khusus yang tidak disediakan dalam metode ASTM.
Sifat rangkak	D7337/D7337M	—	ASTM D7337/D7337M menggantikan ACI 440.3R-04 Method B.8.
Sifat relaksasi	D2990	B.9	Metode ACI menyediakan informasi khusus tentang pencengkeraman batang dan pemasangan alat ukur perpanjangan pada batang. Metode ACI juga mensyaratkan perhitungan khusus yang tidak disediakan dalam metode ASTM.
	E328		
Sifat angkur	—	B.10	Tidak tersedia metode uji ASTM
Sifat tarik batang yang melengkung	—	B.11	Tidak tersedia metode uji ASTM
Pengaruh jari-jari sudut pembengkokkan pada kekuatan	—	B.12	Tidak tersedia metode uji ASTM
Sifat lentur	D790	—	Belum dikembangkan metode ACI
	D4476		
Koefisien ekspansi termal (*Coefficient of thermal expansion*/CTE)	E831	—	Belum dikembangkan metode ACI
	D696		
Suhu transisi kaca	E1356	—	Belum dikembangkan metode ACI
	E1640		
	D648		
	E2092		
Volume fraksi	D3171	—	Belum dikembangkan metode ACI
	D2584		
Tarik langsung	D7522/D7522M	—	ASTM D7522/D7522M menggantikan ACI 440.3R-04 Method L.1.
Kekuatan tarik dan modulus	D7565/D7565M	—	ASTM D7565/D7565M menggantikan ACI 440.3R-04 Method L.2.
Kekuatan geser lewatan	D7616/D7616M	—	ASTM D7616/D7616M menggantikan ACI 440.3R-04 Method L3.
Kekuatan lekat	D4551	—	Belum dikembangkan metode ACI
	C882		

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

1.4 Definisi

ACI memberikan daftar definisi yang komprehensif melalui sumber online, "*ACI Concrete Terminology*," http: //terminology.concrete.org. Definisi yang disediakan di sini melengkapi sumber tersebut.

***alkaline* (alkali)** — memiliki pH lebih dari 7 (konsentrasi OH- lebih besar dari 1 × 10–7 M)

***anchorage* (pengangkuran)** — alat di ujung tendon FRP yang mencengkeram tendon, memungkinkan slip minimum dan memindahkan beban prategang dari tendon ke abutment.

***anchorage reinforcement* (tulangan pengangkuran)** — baja berkisi-kisi atau spiral atau batang FRP disediakan sebagai tulangan pengikat untuk jangkar dan disusun di depannya.

***anchoring section* (bagian pengangkuran)** — bagian batang FRP yang tertanam dalam penahan dan penahan jangkar, termasuk beton atau masonri di sekitarnya.

***aramid fiber* (serat aramid)** — serat organik yang sangat berorientasi yang berasal dari poliamida yang tergabung dalam struktur cincin aromatik. beban rata-rata (tegangan) - nilai rata-rata beban berulang maksimum (minimum).

***bend capacity* (kapasitas lengkung)** — tegangan tarik ultimit yang dipikul oleh sengkang FRP, asalkan kegagalan terjadi di bengkokan.

***bend radius* (jari-jari bengkokan)** — jari-jari kelengkungan.

***bending angle* (sudut bengkokan)** — sudut yang dibentuk oleh bagian-bagian lurus spesimen di kedua sisi deflektor

***bending diameter ratio* (rasio diameter lengkungan)** — rasio diameter eksternal permukaan deflektor yang berhubungan dengan batang FRP terhadap diameter batang FRP.

***bending tensile capacity* (kapasitas tarik lentur)** — kapasitas tarik saat terjadi kegagalan spesimen pada bagian yang dibengkokkan.

***bonded length* (panjang lekatan)** — panjang batang yang diuji, yang bersentuhan dengan beton.

***carbon fiber* (serat karbon)** — serat yang diproduksi dengan memanaskan bahan prekursor organik yang mengandung sejumlah besar karbon, seperti rayon, polyacrylonitrile (PAN), atau pitch, di lingkungan lembam.

***characteristic length* (panjang karakteristik)** — untuk batang atau tendon yang memiliki pola deformasi permukaan berulang, panjang karakteristik adalah jarak (dalam mm) dari pola ini; untuk pola spiral, panjang karakteristik adalah jarak spiral (*pitch*).

***coefficient of thermal expansion/CTE* (koefisien ekspansi termal)** — ukuran perubahan relatif dalam arah linier suatu bahan akibat kenaikan suhu sebesar satu satuan. Catatan: Karena anisotropi komposit FRP, CTE dalam arah longitudinal batang cenderung berbeda dibandingkan yang diukur dalam arah transversal.

***creep rupture* (keruntuhan rangkak)** — kerusakan material akibat deformasi (akumulasi regangan) yang disebabkan oleh rangkak.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

***creep rupture load capacity* (kapasitas beban runtuh rangkak)** — beban di mana kegagalan terjadi setelah periode waktu tertentu sejak inisiasi beban tetap.

***cure* (perawatan)** — untuk mengubah sifat-sifat resin thermosetting secara permanen melalui reaksi kimia seperti kondensasi, penutupan cincin, atau penambahan. Catatan: Perawatan dapat dilakukan dengan menambahkan bahan pencegah penguapan (*cross-linking*) dengan atau tanpa pemanasan dan tekanan.

***deflected section* (penampang terdefleksi)** — penampang batang FRP yang dibengkokan dan dipertahankan pada sudut bengkokan dan rasio diameter bengkokan sesuai kebutuhan.

***deflector* (deflektor)** — alat yang digunakan untuk mempertahankan posisi, mengubah sudut bengkokan, atau mengurangi konsentrasi tegangan dalam batang FRP; perangkat semacam itu kadang-kadang dapat dipasang di bagian yang dibengkokkan.

***equivalent bar diameter* (diameter batang ekuivalen)** — diameter batang ekuivalen ditentukan berdasarkan luas penampang batang FRP (ASTM D7205 / D7205M).

***equivalent circumference* (keliling ekuivalen)** — keliling lingkaran permisalan dengan luas ekivalen yang ditentukan menurut ASTM D7205 / D7205M.

***fatique life* (umur fatik)** — jumlah siklus deformasi atau beban yang diperlukan untuk mengakibatkan kegagalan material, spesimen uji, atau bagian struktural.

***fatique strength* (kekuatan fatik)** — kisaran beban (tegangan) maksimum pada mana spesimen tidak mengalami kegagalan akibat sejumlah siklus yang ditetapkan.

***glass fiber* (serat gelas)** — serat yang diproduksi dari fusi silika (SiO2) anorganik dan senyawa lain yang telah didinginkan tanpa kristalisasi.

***fiber-volume fraction* (fraksi volume-serat)** — perbandingan volume serat dengan volume komposit.

***frequency* (frekuensi)** — jumlah siklus pembebanan per detik.

***FRP bar* (FRP batang)** — material komposit yang dibentuk menjadi bentuk struktural yang panjang, ramping, dan cocok untuk tulangan internal beton dan terdiri dari serat searah longitudinal yang diikat dan dibentuk oleh bahan resin polimer kaku. Batang tersebut dapat memiliki potongan melintang dengan bentuk bervariasi, umumnya lingkaran atau persegi panjang, dan mungkin memiliki permukaan ulir atau kasar untuk meningkatkan lekatan dengan beton.

***FRP laminates* (laminasi FRP)** — dua atau lebih lapisan penguat serat, seperti, kaca, karbon, dan aramid disusun dalam satu atau lebih orientasi — misalnya, 0, 90, +45, –45 derajat — dan disatukan oleh matriks polimer. Laminasi dapat dalam bentuk fisik bahan kering, prepreg, dan precured.

***FRP tendon* (tendon FRP)** — elemen FRP, seperti batang atau untaian, atau sekumpulan elemen tersebut yang terutama digunakan untuk tarik untuk menciptakan tekanan tekan pada beton atau pasangan.

***gauge length* (panjang pengukur)** — jarak antara dua titik pengukur pada bagian uji, di mana persentase perpanjangan ditentukan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

***grid* (grid)** — array kaku dua dimensi (planar) atau tiga dimensi (spasial) dari batang FRP yang saling berhubungan yang membentuk grid yang berdekatan yang dapat digunakan untuk memperkuat beton.
Catatan: Grid dapat dibuat dengan batang yang terhubung secara integral atau dibuat dari batang individual yang terhubung secara mekanis.

***impregnate* (impregnasi)** — dalam kasus komposit FRP, untuk menjenuhkan serat dengan resin.

***load/stress amplitude (*amplitudo beban (tegangan))** — setengah dari kisaran beban (tegangan).

***load/stress range* (rentang beban/tegangan)** — perbedaan antara beban (tegangan) berulang maksimum dan minimum.

***load/stress ratio* (rasio beban/tegangan)** — beban (tegangan) minimum dibagi dengan beban maksimum.

***maximum repeted load/strees* (beban/tegangan berulang maksimum)** — beban (tegangan) maksimum selama pembebanan berulang.

***minimum repeted load/stress* (beban/tegangan berulang minimum)** — beban (tegangan) minimum selama pembebanan berulang.

***number of cycles* (jumlah siklus)** — jumlah ulangan beban (tegangan) berulang diterapkan pada benda uji.

pitch — residu hitam dari sisa penyulingan minyak bumi, digunakan sebagai prekursor untuk produksi serat karbon; prekursor lain untuk serat polimer adalah poliakrilonitril.

polyacrylonitrile (PAN) - prekursor polimer untuk produksi serat karbon; prekursor lainnya untuk serat karbon adalah pitch.

***precursor* (prekursor)** — serat rayon, poliakrilonitril, atau pitch dari mana serat karbon berasal.

***precured FRP* (FRP prarawat)** — FRP yang dirawat secara penuh dan biasanya dibuat di pabrik serta dibawa ke lokasi sebagai bahan padat dan kaku; jika digunakan sebagai bahan perbaikan beton, FRP tersebut harus dilekatkan ke permukaan beton dengan bahan adhesif.

***prepreg FRP* (FRP prapreg)** — lembaran penguat untuk laminasi FRP yang telah diimpregnasi dengan resin; biasanya resin ini dirawat sampai tahap menengah (tahap B) dan hasil prapreg disimpan pada suhu dingin; proses perawatan akan diawali pada suhu kamar.

***relaxation* (relaksasi)** — kehilangan tegangan (atau beban) pada suatu bahan akibat kondisi regangan (atau deformasi) yang konstan.

***repeted load/stress* (beban/tegangan berulang)** — beban (tegangan) berulang siklik yang ditentukan antara nilai maksimum dan minimum yang tetap.

***relaxation rate* (tingkat relaksasi)** — nilai absolut sudut kemiringan kurva relaksasi pada waktu yang tertentu. Nilai relaksasi setelah 1 juta jam disebut sebagai tingkat relaksasi sejuta jam.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

***stress* (tegangan)** — beban dibagi luas penampang yang didapat dari banyak spesimen. Lihat ASTM D7205 / D7205M untuk perhitungan luas penampang.

***S-N curve* (kurva N-S)** — plot grafik dari beban (tegangan) berulang pada sumbu vertikal versus jumlah siklus ke kegagalan fatik pada sumbu horizontal.

***tail length* (panjang ekor)** — panjang yang disediakan di luar bagian bengkok.

***tensile capacity* (kapasitas tarik)** — beban tarik maksimum yang dapat dipikul oleh spesimen uji sebelum runtuh.

***tensile strength* (kekuatan tarik)** — kekuatan tarik ultimit batang FRP dalam arah paralel serat.

thermoset (termoset} — resin yang dibentuk oleh rantai polimer ikatan silang. Catatan: Termoset tidak dapat dilebur dan dibentuk kembali karena rantai polimer membentuk jaringan tiga dimensi.

***test section* (bagian uji)** — bagian spesimen di antara pengangkuran.

***ultimite strain* (regangan ultimit)** — perubahan panjang per satuan panjang yang berhubungan dengan kapasitas tarik

1.5 Notasi

A = luas penampang tulangan FRP menurut ASTM D7205 / D7205M), mm^2
a_1 = konstanta empiris
b_1 = konstanta empiris
C_b = keliling ekuivalen batang FRP, mm
D = diameter eksternal pada posisi permukaan deflektor, mm
d_b = diameter ekuivalen dari penulangan berupa batang, mm
E_L = modulus elastisitas arah longitudinal batang FRP, MPa
F = beban tarik, N
F_{u1} = kapasitas tarik sebelum pencelupan, N
F_{u2} = kapasitas tarik setelah pencelupan, N
F_{ub} = kapasitas beban ultimit berdasarkan uji lentur batang FRP,N
f_u = kekuatan tarik ultimit sejajar serat (berdasarkan ASTM D7205 / D7205M), MPa
f_{ub} = kapasitas lengkung FRP sengkang, MPa
ℓ = panjang lekatan atau lewatan, mm
L_c = jarak dari ujung atas batang tertanam ke titik pemasangan alat ukur, mm
L_t = panjang ekor bengkokan, mm
P = beban runtuh tarik spesimen, N
R_{et} = laju retensi kapasitas tarik, persen
r_t = jari-jari bengkokan dalam penulangan FRP, mm
S = pengurangan kekuatan tarik spesimen yang berhubungan dengan sebuah jari-jari sudut tertentu, MPa
S_c = elongasi elastis, mm
T = waktu, h
W_0 = massa spesimen sebelum pencelupan, g
W_1 = massa spesimen setelah pencelupan selama waktu tertentu (Waktu 1), g
Y_r = laju relaksasi, persen
α = sudut bengkok, derajat
χ = faktor reduksi kekuatan karena efek bengkokan
$\Delta\varepsilon$ = inkrementasi regangan
ΔP = inkrementasi beban tarik, N

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

τ = lekatan atau tegangan geser, MPa

2 Metode uji batang FRP

2.1 Metode uji sifat penampang FRP

Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7205 / D7205M, *Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars.*

2.2 Metode uji sifat tarik longitudinal batang FRP

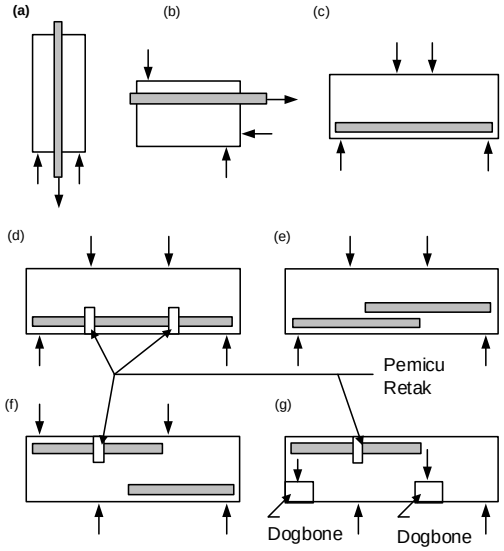
Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7205 / D7205M, *Tensile Properties of Reinforced Polymer Matrix Composite Bars.*

2.3 Metode uji kekuatan lekat batang FRP dengan pengujian cabut

Referensi berikut disediakan hanya untuk tujuan sejarah dan informasi − Al-Zahrani et al. (1996); Benmokrane et al. (2002); Chaallal dan Benmokrane (1993); dan Freimanis et al. (1998).

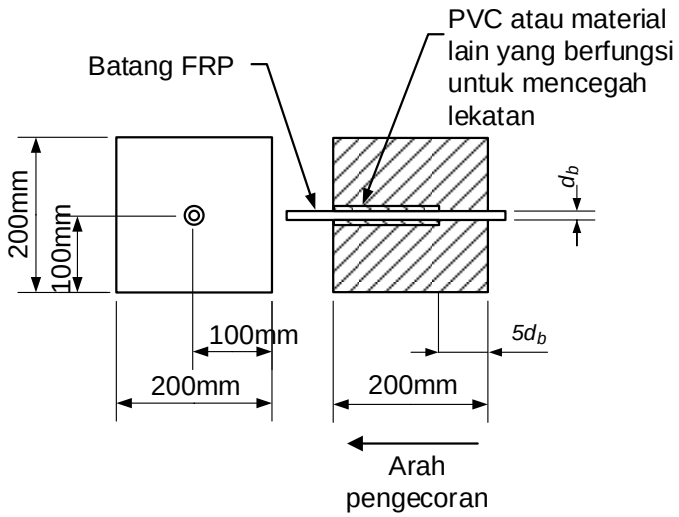
2.3.1 *Lingkup*

Metode uji ini menetapkan persyaratan pengujian untuk menentukan kekuatan lekat batang FRP yang digunakan sebagai tulangan atau tendon prategang dalam beton dengan pengujian cabut. Berbagai jenis metode uji tersedia untuk penentuan nilai lekatan berbeda dengan penulangan FRP dalam struktur beton, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar. B.3.1a. Metode uji ini menggambarkan uji penarikan spesimen untuk menentukan kekuatan lekat. Dua metode untuk spesimen uji casting disediakan. Metode pertama menyelaraskan batang dengan arah pengecoran beton, mirip dengan batang memanjang dalam kolom beton bertulang (Gambar. B.3.1b). Metode kedua menyelaraskan batang melintang ke arah pengecoran beton, mirip dengan batang memanjang dalam balok beton bertulang atau lempengan (Gambar. B.3.1c).

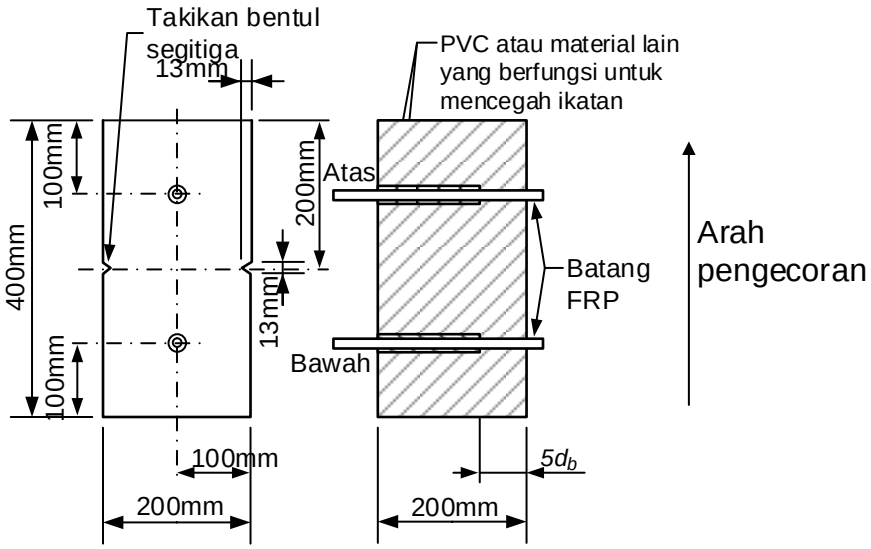


Gambar B.3.1a –Beberapa metode uji lekatan untuk penulangan FRP dalam beton: (a) spesimen cabut; (b) spesimen ujung-balok; (c) spesimen balok sederhana; (d) spesimen ujung balok dengan sendi; (e) spesimen lewatan; (f) spesimen balok kantilever (tanpa tonjolan untuk dudukan beban/*dogbones*); dan (g) spesimen balok kantilever (dengan tonjolan untuk dudukan beban/*dogbones*)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"



Gambar B.3.1b – Spesimen uji lekatan vertikal



Gambar. B.3.1c – Uji lekatan horizontal

2.3.2 *Dokumen referensi*

ASTM A944-10—*Standard Test Method for Comparing Bond Strength of Steel Reinforcing Bars to Concrete Using Beam End Specimens*

ASTM C39/C39M-12—*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

ASTM C143/C143M-10—*Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete*

ASTM C192/C192M-07—*Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*

ASTM C293/C293M-10—*Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center Point Loading)*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

ASTM C511-09—*Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes*

ASTM C617/C617M-11 *Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*

ASTM D618-08—*Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*

ASTM D7205/D7205M-06(2001)—*Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10—*Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

2.3.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.3.3.1 Metode uji ini untuk mengukur kekuatan lekat dengan pengujian cabut di laboratorium di mana variabel utama adalah ukuran atau jenis batang FRP. Metode uji tidak boleh digunakan untuk menetapkan nilai lekatan desain dan panjang penyaluran untuk batang FRP yang tertanam dalam beton.

2.3.3.2 Metode uji ini dimaksudkan untuk menentukan perilaku lekatan untuk spesifikasi material, penelitian dan pengembangan, dan jaminan kualitas. Perilaku lekatan akan tergantung pada konfigurasi spesimen, yang dapat mempengaruhi analisis dan desain. Hasil tes utama adalah kekuatan lekat spesimen untuk beton normal, yang merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan batang FRP sebagai tulangan atau tendon.

2.3.3.3 Metode uji ini juga dapat digunakan untuk menentukan kesesuaian suatu produk atau perlakuan dengan persyaratan yang berkaitan dengan pengaruhnya terhadap panjang penyaluran antara batang FRP dan beton. Hasil yang diperoleh dari metode uji ini harus digunakan hanya untuk tujuan perbandingan untuk membandingkan parameter atau variabel kekuatan lekat. Metode ini dapat digunakan untuk menetapkan efek lingkungan jangka panjang pada lekatan dengan beton, termasuk faktor reduksi akibat lingkungan untuk batang FRP yang tertanam dalam beton.

2.3.4 *Peralatan uji dan persyaratan*

2.3.4.1 Gunakan mesin uji dengan kapasitas beban yang melebihi kapasitas tarik spesimen uji dan dikalibrasi sesuai dengan ASTM E4. Mesin uji dengan kontrol laju pembebanan atau laju perpindahan lebih disarankan. Beban harus diterapkan pada batang penguat pada kecepatan tidak lebih dari 20 kN/menit atau pada kecepatan tanpa beban dari kepala mesin uji tidak lebih dari 1,3 mm/menit tergantung pada jenis mesin pengujian yang digunakan dan sarana yang disediakan untuk memastikan atau mengendalikan kecepatan pengujian.

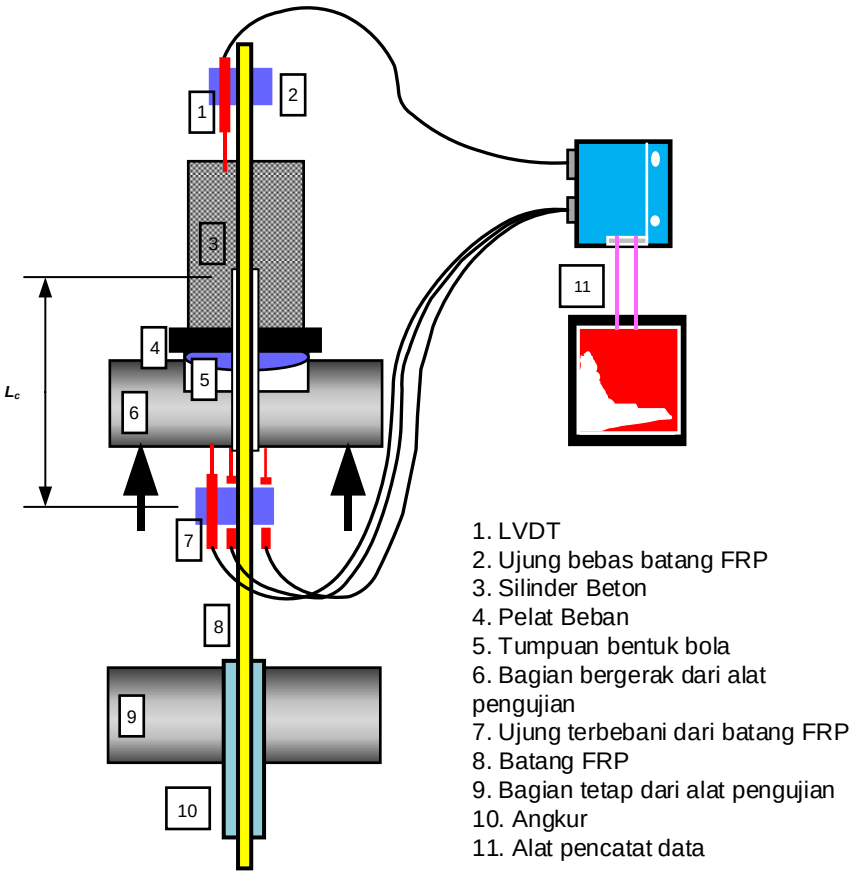
2.3.4.2 Pelat beban (Gambar. B.3.4.2) harus merupakan pelat baja dan mempunyai ukuran setidaknya 200 mm x 200 mm, tebal 20 mm, dan memiliki lubang yang dibor ditengahnya dengan diameter yang cukup untuk mengakomodasi batang FRP.

2.3.4.3 Ujung pembebanan balok FRP harus dilengkapi dengan angkur yang mampu memberikan beban sampai batang tertarik keluar dari beton karena kegagalan lekat. Perangkat transmisi harus dijamin menghasilkan beban aksial sentris ke batang FRP tanpa menimbulkan torsi atau tekuk.

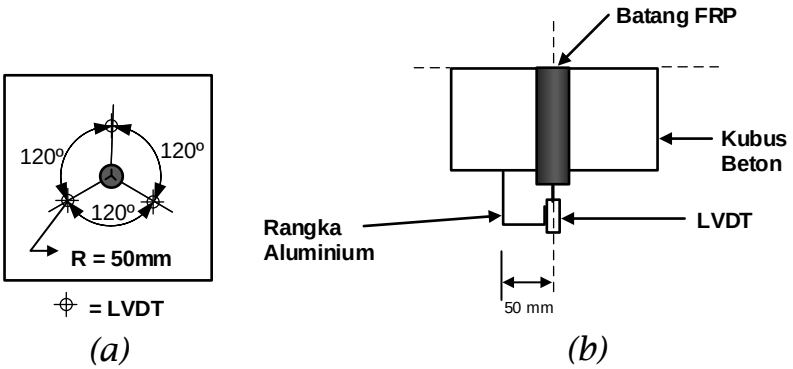
2.3.4.4 Alat ukur perpindahan yang dipasang pada ujung bebas dan ujung batang FRP yang dibebani harus berupa alat pengukur perpindahan (LVDT) atau peralatan serupa, dengan akurasi hingga 0,01 mm. Tiga LVDT pada interval 120 derajat masing-masing ditempatkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

pada ujung yang dibebani serta disarankan menggunakan satu atau dua pengukur berinterval 180 derajat pada ujung bebas batang (Gambar B.3.4.4).



Gambar. B.3.4.2 – Set up pengujian lekatan dengan metode cabut



Gambar. B.3.4.4 – Penempatan LVDT pada permukaan kubus beton: (a) denah tiga LVDT pada ujung terbebani; dan (b) satu LVDT pada ujung bebas

2.3.4.5 Diperlukan dua jenis cetakan untuk spesimen uji lekatan:

1. Untuk kubus beton 200 mm, masing-masing dengan batang yang tertanam secara vertikal
2. Untuk prisma 200 mm x 200 mm x 400 mm, masing-masing dengan dua batang yang tertanam secara horizontal

Sebaiknya cetakan terbuat dari logam dengan ketebalan tidak kurang dari 6 mm. Cetakan harus kedap air dan mudah dilepas tanpa mengganggu batang yang tertanam.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.3.5 *Persiapan spesimen*

2.3.5.1 Spesimen batang FRP harus mewakili satu kelompok yang akan diuji. Setiap spesimen harus dipotong menjadi bagian panjang 1200 mm dan dirangkai dengan jangkar (ASTM D7205 / D7205M) di satu ujung. Spesimen uji harus mengandung salah satu batang FRP yang tertanam sejajar dengan arah pengecoran beton (Gambar. B.3.1b), atau dua batang FRP yang tertanam tegak lurus dengan arah pengecoran beton (Gambar. B.3.1c). Lima spesimen dari masing-masing jenis harus merupakan satu set spesimen uji. Jika spesimen gagal atau tergelincir di bagian penahan, atau terjadi kerusakan beton, tes tambahan harus dilakukan pada spesimen yang lain yang diambil dari kelompok yang sama dengan yang gagal.

2.3.5.1.1 Spesimen untuk batang tertanam paralel (Gambar. B.3.1b) —Spesimen ini harus terdiri dari kubus beton berukuran 200 mm, dengan batang FRP tunggal yang ditanam secara vertikal pada sumbu setiap spesimen. Posisi batang harus benar-benar vertikal dengan panjang yang cukup antara blok pembebanan dan dudukan dari mesin uji, dan tersedia panjang yang cukup untuk pencengkeraman. Jika terjadi pembelahan beton secara terus-menerus maka perlu digunakan kubus 300 mm.

2.3.5.1.2 Spesimen untuk batang tertanam tegak lurus (Gambar. B.3.1c) —Spesimen ini harus terdiri dari beton prisma 200 x 200 x 400 mm, dengan sumbu yang lebih panjang ke arah vertikal. Dua batang harus ditanam ke dalam masing-masing spesimen, tegak lurus terhadap sumbu panjang, sejajar dan berjarak sama dari sisi-sisi prisma. Dalam arah vertikal, sumbu satu batang harus berjarak 100 mm dari dasar prisma dan batang yang lainnya mempunyai sumbu yang berjarak 300 mm dari bawah. Batangan harus dipasang menembus *bearing block* dengan panjang yang cukup untuk memungkinkan pencengkeraman pada saat pembebanan. Takikan berbentuk segitiga harus dibentuk pada dua sisi berlawanan di tengah-tengah prisma. Takikan ini harus memiliki kedalaman setidaknya 13 mm, diukur tegak lurus terhadap permukaan beton. Dua takikan ini harus membentuk sebuah bidang terlemah yang memungkinkan benda uji beton terbelah menjadi dua sebelum terjadinya uji lekatan.

Panjang lekatan batang FRP paling tidak lima kali diameter batang FRP. Jika panjang lekatan, seperti yang didefinisikan tersebut tidak mewakili karakteristik lekatan batang FRP, panjang lekatan dapat diperpanjang sebagaimana mestinya. Di luar bagian terlekat, batang tertanam harus dilapisi dengan polivinil klorida (PVC) atau bahan lain yang sesuai untuk mencegah lekatan. Pada ujung bebas, balok harus sedikit menonjol keluar dari beton sehingga LVDT dapat mengukur deformasi pada ujung batang (Gambar. B.3.4.4).

2.3.5.2 Penempatan batang ke dalam cetakan dilakukan sebagai berikut:

a) Lubang di dalam cetakan yang akan dilewati batang FRP harus dilapisi dengan minyak, malam, atau material sejenisnya untuk mencegah masuknya air atau zat lain.
b) Posisi spesimen tidak boleh berubah sampai pada saat cetakan dilepas.

2.3.5.3 Sebelum mencetak spesimen uji, lapisi permukaan bagian dalam cetakan dengan lapisan tipis minyak mineral, petroleum jelly, atau pasta asam stearat (*stearic acid paste*). Prosedur berikut ini adalah rekomendasi untuk pengecoran beton dalam cetakan kecuali ada metode lain yang digunakan.

Untuk prisma 200 mm x 200 mm x 400 mm, masukkan beton dalam empat lapisan dengan ketebalan yang kira-kira sama dan padatkan setiap lapisan 25 kali dengan batang pemadat berdiameter 16 mm
Untuk kubus 200 mm, masukkan beton dalam empat lapisan dengan ketebalan yang kira-kira sama dan padatkan setiap lapisan sebanyak 25 kali dengan batang pemadat berdiameter 16 mm

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Setelah lapisan atas terpadatkan, ratakan permukaan dengan cetok dan lindungi dari penguapan dengan salah satu metode yang dijelaskan dalam 7.1 ASTM C192 / C192M. Harus diperhatikan agar tidak terjadi penguapan di area yang berdekatan dengan batang FRP.

2.3.5.4 Beton harus merupakan campuran standar, dengan agregat kasar memiliki ukuran maksimum 20 - 25 mm. Beton tersebut harus dicampur sesuai dengan ASTM C192 / C192M yang berlaku. Beton harus memiliki nilai slump (100 ± 20) mm sesuai dengan ASTM C143 / C143M, dan kekuatan tekan pada 28 hari harus (30 ± 3) MPa sesuai dengan ASTM C39 / C39M. Minimal lima silinder kontrol standar 150 mm x 300 mm atau 100 mm x 200 mm harus dibuat untuk menentukan kekuatan tekan dari setiap kelompok beton.

2.3.5.5 Cetakan tidak boleh dilepas dari spesimen lebih awal dari 20 jam setelah pengecoran. Perhatian khusus harus dilakukan untuk mencegah gangguan terhadap batang FRP. Segera setelah cetakan dilepas, spesimen harus dirawat sesuai dengan ASTM C192 / C192M sampai saat pengujian. Spesimen harus diuji pada umur 28 hari.

2.3.5.6 Ketika spesimen berumur antara 7 hari dan 14 hari, prisma 200 mm x 200 mm x 400 mm spesimen harus dibelah menjadi dua pada bidang takikan dengan metode lentur sesuai dengan ASTM C293 / C293M. Dua takikan segitiga di permukaan atas dan bawah prisma harus ditempatkan di tengah-tengah. Beban harus diterapkan melalui batang berdiameter 19 mm yang diletakkan di alur atas sampai terjadi belah. Harus diperhatikan agar tidak terjadi gangguan pada batang FRP selama proses.

2.3.5.7 Permukaan kubus 200 mm di mana batang tertanam secara vertikal harus ditutup sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai permukaan bantalan/tumpuan pada uji cabut. Pelaksanaan *capping* mengikuti prosedur yang berlaku ASTM C617.

2.3.6 *Pengkondisian*

Kecuali ditentukan pada lingkungan pengujian yang berbeda, pengujian cabut harus dilakukan di laboratorium dengan suhu standar (23 ± 3) °C dan kelembapan relatif (50 +10) persen.

Pengkondisian awal spesimen batang FRP sebelum pengecoran dalam beton, seperti perlakuan pascaproduksi, atau perlakuan lainnya, diizinkan namun harus dilaporkan.

2.3.7 *Metode uji*

2.3.7.1 Spesimen harus dipasang pada mesin uji dengan satu dari dua pengaturan pengujian berikut.

2.3.7.1.1 Permukaan yang dikaping atau tumpuan kubus pada ujung batang harus bersentuhan dengan blok tumpuan uji. Blok tumpuan yang berbentuk bulat harus bertumpu pada penyangga yang dapat meneruskan reaksi dari blok ini ke beban mesin uji. Batang FRP harus diperpanjang hingga blok tumpuan, dan jangkar harus dicengkeram untuk penarikan oleh mesin uji (Gambar. B.5.7.1). Ujung bebas batang harus diteruskan hingga blok tumpuan dan pengangkuran harus dicengkeram seperti yang dijelaskan dalam ASTM D7205 / D7205M.

2.3.7.1.2 Kubus beton harus dipasang pada kepala tetap mesin uji. LVDT pada ujung yang dibebani dan ujung bebas masing-masing dipasang untuk mengukur slip pada batang FRP, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. B.3.4.4. Angkur kemudian didrat atau dijangkarkan pada penghubung bagian alat uji yang bergerak.

2.3.7.2 Memasang peralatan uji pada spesimen. Dengan hati-hati ukur dan catat dengan ketelitian 0,5 mm, jarak antara permukaan atas dari panjang lekatan dan titik pemasangan alat ukur pada batang FRP. Perpanjangan batang FRP pada jarak ini dapat dihitung dan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

dikurangkan dari slip yang diukur ditambah perpanjangan untuk mendapatkan slip ujung yang dibebani. Selain itu, slip ujung bebas harus diukur dengan ketelitian 0,5 mm.

2.3.7.3 Beban diberikan pada batang FRP dengan laju beban tidak lebih dari 20 kN/menit, atau dengan kecepatan head mesin uji tidak lebih dari 1,3 mm/menit.

2.3.7.4 Baca dan catat beban dan pembacaan LVDT dengan jumlah interval yang cukup selama pengujian, paling tidak 15 pembacaan saat terjadi slip 0,25 mm pada ujung batang FRP yang dibebani. Slip ujung bebas harus dicatat dengan kenaikan 0,01 mm, selaras dengan beban yang diterapkan.

2.3.7.5 Lanjutkan pembebanan dan pembacaan pada interval yang sesuai, sampai batang FRP putus atau paling tidak terjadi slip 2,5 mm pada ujung yang dibebani dari panjang yang tertanam.

2.3.7.6 Untuk kasus di mana spesimen dinilai telah mengalami kegagalan tarik di bagian penjangkaran, telah terlepas dari bagian penjangkaran sebelum batang FRP tercabut dari beton, atau di mana beban berkurang secara signifikan karena pemisahan atau retak beton, data harus diabaikan dan tes tambahan harus dilakukan sampai jumlah tes-tes yang valid tidak kurang dari lima.

2.3.8 *Perhitungan*

2.3.8.1 Tegangan lekat rata-rata harus dihitung berdasarkan Pers. (2.3.8.1) dan dilaporkan dengan presisi hingga tiga digit signifikan, dan harus digambar hubungan antara tegangan cabut atau tegangan lekat versus slip pada ujung bebas dan ujung yang dibebani untuk masing-masing spesimen.

$$\tau = \frac{F}{C_b \ell} \qquad (2.3.8.1)$$

di mana C_b adalah π kali diameter batang efektif dari ASTM D7205/D7205M.

2.3.8.2 Tegangan lekat rata-rata yang menyebabkan slip antara ujung bebas dan ujung yang dibebani sebesar 0,05 mm, 0,10 mm, dan 0,25 mm dan tegangan lekat maksimum pada saat runtuh, harus dihitung.

2.3.8.3 Pada setiap tingkat beban, slip pada ujung yang dibebani harus dihitung sebagai nilai rata-rata pembacaan LVDT, minus perpanjangan S_c dari batang FRP sepanjang L_c antara permukaan atas dari panjang lekatan dan titik terpasang alat ukur pada batang FRP, yang terakhir dihitung menggunakan Pers. (2.3.8.3).

$$S_c = \frac{FL_c}{E_L A} \qquad (2.3.8.3)$$

2.3.9 Laporan pengujian − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut.

2.3.9.1 *Sifat beton* − Sifat beton berikut harus dimasukkan dalam laporan pengujian.

a) Proporsi campuran semen, agregat halus, agregat kasar, bahan tambah (jika digunakan), dan w / c
b) Slump beton basah sesuai dengan ASTM C143 / C143M
c) Kekuatan tekan silinder kontrol umur 28 hari sesuai dengan ASTM C39 / C39M

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

d) Setiap penyimpangan dari standar yang ditetapkan dalam beberapa aspek seperti pencampuran, perawatan, tanggal pelepasan cetakan, dan pengujian silinder kontrol

2.3.9.2 *Sifat batang FRP* − Sifat batang FRP berikut harus disertakan dalam laporan pengujian.

a) Nama perdagangan, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah produk yang diuji
b) Jenis serat dan bahan pengikat serat (seperti yang dilaporkan oleh pabrikan), fraksi volume serat, perawatan permukaan, dan prakondisi batang FRP
c) Penunjukan, diameter pengenal, dan luas penampang, sebagaimana ditentukan sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M
d) Modulus elastisitas dan kekuatan tarik ultimit, sebagaimana ditentukan sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M
e) Foto jarak dekat dari batang yang menunjukkan deformasi permukaan dan karakteristik

2.3.9.3 *Item tambahan* − Item tambahan berikut harus dimasukkan dalam laporan pengujian.

a) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
b) Tanggal pengujian, suhu pengujian, dan kecepatan beban
c) Dimensi spesimen uji dan panjang lekatan batang FRP
d) Uraian singkat tentang alat penjepit
e) Tegangan lekat rata-rata pada ujung bebas yang menyebabkan slip 0,05, 0,10, dan 0,25 mm untuk setiap spesimen
f) Tegangan lekat rata-rata pada ujung yang dibebani yang menyebabkan slip 0,05, 0,10, dan 0,25 mm untuk setiap spesimen uji
g) Tegangan lekat maksimum, pola kegagalan, dan nilai rata-rata untuk setiap spesimen uji
h) Pengambaran hubungan perpindahan/slip dan tegangan (ujung bebas dan ujung dibebani) untuk setiap spesimen uji

2.4 Metode uji untuk kekuatan geser melintang batang FRP

Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7617 / D7617M, Standard Test Method for Transverse Shear Strength of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars.

2.5 Metode uji untuk kekuatan bengkok FRP dan sengkang di lokasi bengkok

Referensi berikut disediakan hanya untuk tujuan sejarah dan informasi - Morphy et al. (1997).

2.5.1 Lingkup − Metode uji ini menetapkan persyaratan uji untuk batang FRP yang digunakan sebagai angkur untuk sengkang pada struktur beton.

2.5.2 *Dokumen yang direferensikan*

ASTM Internasional

ASTM C39 / C39M-12 — *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

ASTM C143 / C143M-10 — *Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete*

ASTM C192 / C192M-07 — *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*

ASTM D7205 / D7205M-06 (2001) — *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10 — *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.5.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.5.3.1 Metode uji ini dimaksudkan untuk digunakan dalam pengujian laboratorium untuk menentukan kekuatan bagian bengkok yang disediakan sebagai angkur dengan variabel utama adalah ukuran, radius bengkok, atau jenis sengkang FRP.

2.5.3.2 Pembengkokan sengkang FRP untuk mengembangkan jangkar menyebabkan pengurangan signifikan kekuatan sengkang. Jari-jari pembengkokan dan panjang ekor di luar pembengkokan adalah faktor penting yang mempengaruhi kapasitas bengkokan.

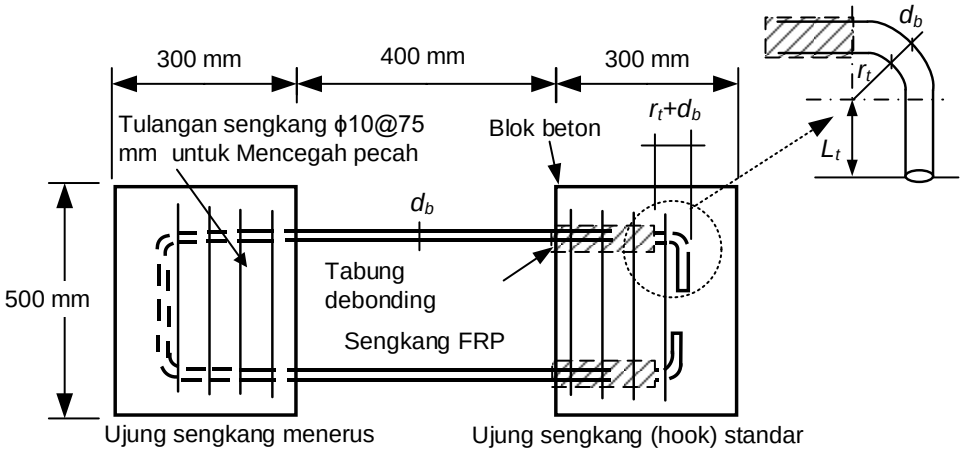
2.5.3.3 Metode uji ini mengukur kapasitas beban ultimit dari sengkang FRP tunggal yang dikenai gaya tarik pada arah bagian yang lurus.

2.5.3.4 Metode uji ini dimaksudkan untuk menentukan kapasitas kait dan pengurangan kekuatan material, penelitian dan pengembangan, penjaminan mutu, serta desain dan analisis struktur. Perilaku kait dan sengkang harus diukur sesuai dengan metode yang diberikan di sini dan sesuai dengan tujuan yang dimaksudkan.

2.5.4 Peralatan uji dan persyaratan − Silinder hidrolik dan load cell harus dikalibrasi sesuai dengan ASTM E4, memiliki kapasitas beban melebihi kapasitas spesimen, dan dapat digunakan pada laju pembebanan yang diperlukan. Sensor beban (load cell) juga harus mampu memberikan pembacaan yang akurat hingga dalam 1 persen selama tes.

2.5.5 *Persiapan spesimen*

2.5.5.1 Konfigurasi tipikal spesimen ditunjukkan pada Gambar B.5.5.1. Dimensi masing-masing blok beton yang digunakan untuk pengangkuran sengkang FRP dapat bervariasi sesuai dengan dimensi sengkang yang digunakan. Namun, panjang bebas sengkang di antara kedua balok tidak boleh kurang dari 200 mm, disarankan 400 mm. Blok beton harus diperkuat menggunakan sengkang baja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar B.5.5.1, untuk mencegah pecahnya balok beton sebelum pecahnya sengkang FRP di area bengkokan. Panjang ekor L_t dari sengkang FRP yang diuji untuk mengevaluasi kapasitas kait tidak boleh lebih dari 150 mm. Pipa debonding digunakan untuk menghilangkan penyaluran batang pada bagian lurus. Pipa debonding harus licin, dan ujung pipa debonding harus diisi dengan bahan untuk mencegah tabung terisi dengan beton saat pengecoran.



r_t : radius pembengkokan
d_b : diameter nominal
L_t : panjang ekor

DENAH

Gambar. B.5.5.1 – Konfigurasi spesimen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.5.5.2 Beton harus terbuat dari campuran standar, dengan ukuran agregat kasar maksimum 20 hingga 25 mm. Beton harus dicampur dan dipadatkan sesuai dengan bagian yang berlaku dalam ASTM C192 / C192M. Beton harus memiliki slump 100 ± 20 mm sesuai dengan ASTM C143 / C143M, dan kekuatan tekan pada 28 hari 30 ± 3 MPa sesuai dengan ASTM C39 / C39M. Minimal lima silinder kontrol standar 150 x 300 mm atau 100 x 200 mm harus dibuat untuk menentukan kekuatan tekan dari setiap campuran.

2.5.5.3 Jumlah hasil pengujian yang valid untuk setiap kondisi pengujian tidak boleh kurang dari lima. Jika spesimen gagal dengan pembelahan blok beton, hasil tes harus diabaikan dan tes tambahan harus dilakukan pada spesimen terpisah yang diambil dari campuran yang sama dengan spesimen yang gagal.

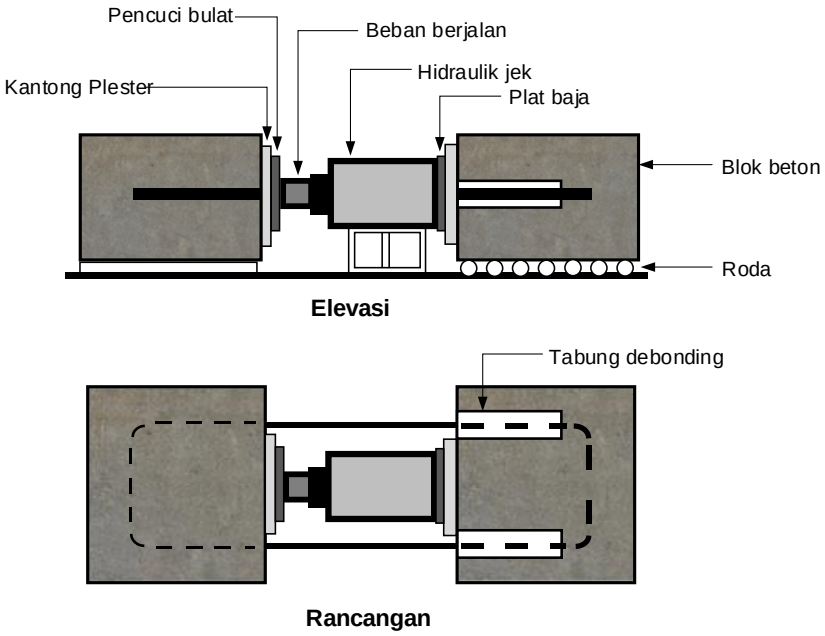
2.5.5.4 Jika benda uji gagal karena batang tercabut dari beton, ini merupakan indikasi bahwa jari-jari bengkok dan panjang ekor tidak memadai untuk batang yang diuji. Dengan demikian, perlu penyesuaian untuk parameter ini (mungkin ukuran blok uji juga) dan diadakan uji ulang.

2.5.6 Pengkondisian − Kecuali jika lingkungan pengujian yang berbeda ditentukan sebagai bagian dari percobaan, pengujian harus dilakukan pada kondisi laboratorium standar: (23 ± 3) °C dan kelembapan relatif (50 ± 10) persen. Pra-kondisi batang FRP sebelum pengecoran beton diizinkan tetapi harus dilaporkan.

2.5.7 *Metode uji*

2.5.7.1 Pengaturan uji, ditunjukkan pada Gambar B.5.7.1, terdiri dari dongkrak hidrolik untuk menimbulkan perpindahan relatif antara dua balok beton dan load cell untuk mengukur beban yang diterapkan. Tempatkan pelat baja dan elemen perata beban di depan load cell dan dongkrak hidrolik untuk mendistribusikan beban ke permukaan beton. Ring bulat juga dapat ditempatkan di atara beton dan load cell. Blok beton untuk pengujian uji batang ini harus diletakkan di atas rol baja untuk meminimalkan gaya friksi antara blok dan alas pengujian.

Kekuatan tarik batang FRP lurus dengan diameter yang sama dengan sengkang FRP harus dievaluasi sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.



Gambar B.5.7.1 – *Set up* pengujian

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.5.7.2 Spesimen uji tidak boleh terkena guncangan, getaran, atau puntir selama pengujian. Tingkatkan gaya pada dongkrak dengan cara yang halus dan terus menerus sampai spesimen gagal. Jangan dilakukan jeda/penghentian beban selama tes. Laju beban harus dipilih sedemikian rupa sehingga spesimen gagal antara 1 menit dan 10 menit dari awal pengujian.

2.5.7.3 Rekam beban saat gagal dan pola kegagalan untuk spesimen.

2.5.8 *Perhitungan*

2.5.8.1 Kapasitas kait sengkang FRP harus dihitung berdasarkan spesimen yang mengalami kegagalan pada kait. Dalam kasus di mana pembelahan blok telah jelas terjadi, data harus diabaikan, dan tes tambahan harus dilakukan sampai jumlah spesimen uji gagal di bagian kait tidak kurang dari lima.

2.5.8.2 Kapasitas kait sengkang FRP dihitung menurut Pers. (2.5.8.2), dan dibulatkan menjadi tiga digit signifikan

$$f_{ub} = \frac{F_{ub}}{2A} \tag{2.5.8.2}$$

2.5.8.3 Faktor reduksi kekuatan dihitung menurut Pers. (2.5.8.3)

$$\chi = \frac{f_{ub}}{f_u} \tag{2.5.8.3}$$

2.5.9 Laporan pengujian − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut.

2.5.9.1 *Sifat beton* — Sifat beton berikut harus dimasukkan dalam laporan pengujian:

a) Proporsi campuran semen, agregat halus, agregat kasar, bahan tambah (jika digunakan), dan w/c
b) *Slump* beton sebagaimana ditentukan sesuai dengan ASTM C143 / C143M
c) Kekuatan silinder kontrol dua puluh delapan hari sebagaimana sesuai dengan ASTM C39 / C39M
d) Penyimpangan-penyimpangan dari standar yang ditetapkan seperti pencampuran, *curing*, tanggal *demolding*, dan pengujian silinder kontrol

2.5.9.2 *Item tambahan* — Item tambahan berikut harus disertakan dalam laporan pengujian.

a) Nama produk, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah batang FRP yang diuji untuk sengkang
b) Jenis serat dan matriks yang digunakan sebagai sengkang FRP, dan fraksi volume serat
c) Proses yang digunakan untuk membuat sengang, seperti yang dilaporkan oleh pabrikan
d) Angka atau tanda identifikasi pada sengkang uji
e) Kode, diameter, dan luas penampang
f) Dimensi balok beton, konfigurasi dari sengkang baja, panjang debonding, radius kait, dan panjang ekor kait.
g) Pra-kondisi batang FRP sebelum pengecoran
h) Tanggal pengujian dan suhu pengujian
i) Jenis dan kapasitas load cell
j) Kapasitas kait dan faktor reduksi kekuatan untuk setiap sengkang uji
k) Kapasitas kait rata-rata dan faktor reduksi kekuatan untuk semua spesimen yang gagal pada kait sesuai tujuan pengujian

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.6 Metode uji untuk ketahanan alkali batang FRP

Referensi berikut disediakan hanya untuk tujuan historis dan informasi-Benmokrane et al. (2001, 2002); Gangarao dan Vijay (1997); Gentry (2001); Mehus (1995); Nkurunziza et al. (2002); dan Porter et al. (1995, 1996).

2.6.1 Lingkup − Metode uji ini menetapkan persyaratan pengujian untuk mengevaluasi ketahanan alkali batang FRP yang digunakan sebagai tulangan pada beton dan masonri dengan pencelupan dalam alkali yang dilarutkan dalam air. Ketahanan terhadap alkali diukur dengan menempatkan batang FRP ke larutan alkali, tanpa atau dengan tegangan, kemudian diuji tarik sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

Dalam metode uji ini disajikan tiga prosedur yang dilakukan pada suhu 60°C, masing-masing pada kondisi beban yang berbeda.

a) Prosedur A — Suatu sistem di mana spesimen FRP direndam dalam larutan alkali tanpa beban tarik. Parameter kontrol tes adalah nilai pH dan suhu larutan alkali dan waktu perendaman.
b) Prosedur B - Suatu sistem di mana spesimen FRP direndam dalam larutan alkali dengan beban tarik tetap. Parameter uji adalah tingkat beban tetap, nilai pH, dan suhu larutan dan perendaman alkali waktu.
c) Prosedur C - Suatu sistem di mana spesimen FRP, dikelilingi oleh beton lembap, dikenakan beban tarik tetap. Parameter uji adalah tingkat beban berkelanjutan, nilai pH, dan suhu beton dan waktu tertanam.

2.6.2 *Dokumen yang direferensikan*

ASTM International

ASTM C192 / C192M-07 — *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*

ASTM C511-09 — *Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concrete*

ASTM D618-08 — *Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*

ASTM D5229 / D5229M-92 (2010) — *Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials*

ASTM D7205 / D7205M-06 (2011) — *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10 — *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

2.6.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.6.3.1 Metode uji ini untuk menyelidiki ketahanan alkali batang FRP dalam uji laboratorium di mana variabel utama adalah suhu dan konsentrasi larutan alkali, jenis batang FRP, dan tingkat pembebanan.

2.6.3.2 Metode uji ini mengukur perubahan massa dan kapasitas tarik batang FRP setelah perendaman dalam larutan alkali tanpa tegangan (Prosedur A), kapasitas tarik batang FRP setelah perendaman dalam larutan alkali dan kapasitas tarik batang FRP yang tertanam dalam beton yang lembap dengan kondisi beban tetap (Prosedur B dan C).

2.6.3.3 Metode uji ini dimaksudkan untuk menentukan data ketahanan terhadap alkali (*alkali resistance*) untuk spesifikasi material, penelitian dan pengembangan, jaminan mutu, dan desain dan analisis struktural. Ketahanan terhadap alkali harus diukur sesuai dengan metode

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

yang diberikan di sini. Hasil uji utama adalah perubahan massa dan kapasitas tarik sisa dari spesimen uji, yang merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan batang FRP.

2.6.3.4 Tingkat beban tetap untuk Prosedur B dan C tidak ditentukan sebagai bagian dari metode uji. Biasanya, tegangan dalam uji beban tetap harus sama dengan tegangan yang disebabkan oleh beban mati, dan setiap bagian dari beban hidup yang dipertahankan. Jika kondisi beban layan tidak diketahui, tegangan tarik pada batang FRP harus diatur untuk menimbulkan regangan tarik sama dengan 2000 mikrostrain. Tegangan tetap yang lebih tinggi dapat digunakan sebagai kondisi percepatan. Tingkat tegangan harus dilaporkan.

2.6.4 Peralatan uji dan persyaratan − Keseimbangan analitis dengan akurasi yang tepat sesuai dengan Prosedur A ASTM D618 harus digunakan. Mesin dan perangkat pengujian harus sesuai dengan ASTM E4.

2.6.5 *Persiapan spesimen*

2.6.5.1 Spesimen batang FRP sedapat mungkin mewakili yang sedang diuji. Secara umum, spesimen uji tidak boleh dikenai perlakuan apapun di luar manufaktur batang FRP. Untuk batang FRP tipe grid, spesimen uji linier dapat disiapkan dengan memotong bahan berlebih sedemikian rupa sehingga tidak mempengaruhi kinerja bagian yang diuji.

2.6.5.2 Selama pengambilan sampel dan persiapan spesimen uji, semua deformasi, pemanasan, pengaruh lingkungan luar terhadap sinar ultraviolet, dan kondisi lain mungkin menyebabkan perubahan pada sifat material spesimen harus dihindari.

2.6.5.3 Panjang spesimen terdiri dari panjang bagian uji dan panjang bagian terjangkar. Panjang bagian uji tidak boleh kurang dari 40 kali diameter batang FRP. Untuk batang FRP dalam bentuk untaian yang dipilin, panjang bagian uji juga harus lebih besar dari dua kali jarak pilinan.

2.6.5.4 Jumlah spesimen uji untuk pengujian pra dan pasca perendaman tidak boleh kurang dari lima. Setiap spesimen harus diberi label yang jelas dengan tanda pengenal.

2.6.5.5 Lapisi ujung batang dan ujung serta elemen melintang kisi dengan epoksi resin untuk mencegah infiltrasi larutan melalui pemotongan ini. Biarkan resin mengeras sepenuhnya sebelum perendaman.

2.6.5.6 Larutan basa dalam Prosedur A dan B harus mewakili komposisi air pori di dalam beton. Komposisi larutan alkali yang disarankan terdiri dari 118,5 g Ca (OH) 2, 0,9 g NaOH, dan 4,2 g KOH dalam 1 L air deionisasi. Larutan harus memiliki nilai pH 12,6 hingga 13 — mewakili nilai pH dari larutan pori beton. Larutan alkali harus ditutup sebelum dan selama pengujian untuk mencegah interaksi dengan CO2 dalam atmosfer dan untuk mencegah penguapan.

2.6.6 *Pengkondisian*

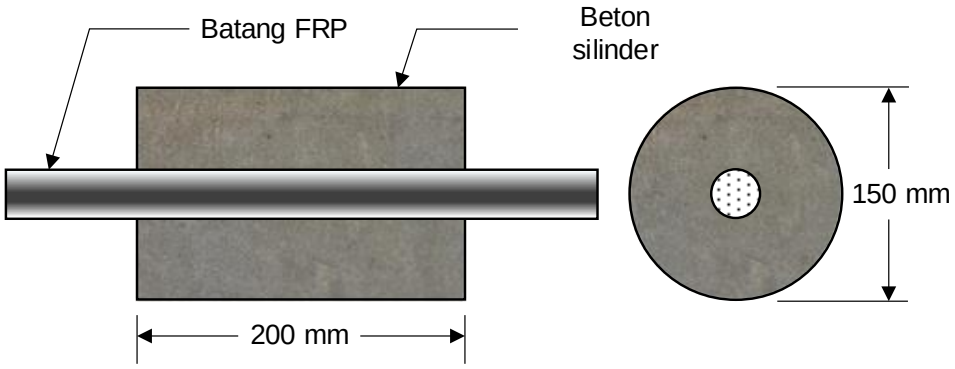
2.6.6.1 Sampel untuk Prosedur A harus direndam dalam larutan alkali pada 60 ± 3°C selama 1, 2, 3, 4, dan 6 bulan, kecuali ditentukan lebih lama dari waktu tersebut. Setelah waktu yang ditentukan, sampel harus dikeluarkan dari larutan alkali, dicuci secara menyeluruh dalam air deionisasi, dikeringkan, ditimbang, dan diuji tarik sampai gagal.

2.6.6.2 Sampel untuk Prosedur B harus dipasang pada perangkat penahan di kedua ujungnya sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M. Bagian uji spesimen harus direndam dalam larutan alkali di dalam wadah penyimpanan larutan alkali dan memiliki suhu konstan 60 ± 3°C. Beban

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

tarik tetap harus diberikan pada spesimen selama 1, 2, 3, 4, dan 6 bulan, kecuali ditentukan lebih lama dari waktu tersebut.

2.6.6.3 Sampel untuk Prosedur C harus disiapkan dengan menanamkan bagian uji spesimen dalam beton lembap. Dimensi khas silinder beton ditunjukkan pada Gambar B.6.6.3. Dimensi spesimen sebesar 150 mm dapat ditambahkan jika digunakan batang berdiameter lebih besar. Beton harus merupakan campuran standar, ditentukan dalam Metode uji B.3. Campuran beton harus ditumpuk dan dicampur sesuai dengan bagian ASTM C192 / C192M yang berlaku, dan prosedur perawatan harus sesuai dengan ASTM C511. Setelah 28 hari perawatan dalam air, sampel harus dipasangi angkur di kedua ujungnya sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M, dan ditempatkan sehingga dapat diberikan beban tarik tetap selama 1 bulan, 2 bulan, 3 bulan, 4 bulan, dan 6 bulan, kecuali ditentukan lebih lama dari waktu tersebut. Silinder beton harus tetap lembap dan disimpan di dalam lingkungan yang memiliki suhu konstan (60 ± 3) °C selama pengujian. Spesimen FRP harus diuji dengan silinder beton yang masih terpasang.



Gambar B.6.6.3 – Dimensi silinder beton

2.6.7 *Metode uji*

2.6.7.1 Nilai pH larutan alkali harus diukur pada awal pengujian dan setelah uji alkali resisten. Selama perendaman spesimen uji, nilai pH larutan alkali harus dipantau setidaknya setiap 5 hari dan disesuaikan, jika perlu, untuk menjaga konstituen dan nilai pH yang sama dengan awal pengujian.

2.6.7.2 Tampilan luar spesimen harus diperiksa sebelum dan sesudah uji ketahanan alkali untuk perbandingan warna, kondisi permukaan, dan perubahan bentuk. Jika perlu, spesimen dapat dipotong dan dipoles, dan kondisi penampang diperiksa di bawah mikroskop.

2.6.7.3 Pengujian perubahan massa spesimen untuk Prosedur A — Sebelum perendaman, spesimen harus dikeringkan sampai massanya tidak berubah, menurut Prosedur D ASTM D5229 / D5229M, yang merupakan massa awal W_0. Setelah perendaman untuk jangka waktu yang ditentukan, spesimen harus dikeluarkan dari larutan alkali, cepat dicuci dengan air deionisasi, dikeringkan dengan kertas tisu, dan kemudian segera ditimbang, yang merupakan massa pada Waktu 1, yang dicatat sebagai W_1. Maka spesimen harus memiliki angkur yang dipasang di kedua ujungnya untuk pengujian kapasitas tarik berkelanjutan.

2.6.7.4 Pengujian kapasitas tarik berkelanjutan spesimen untuk Prosedur A, B, dan C Spesimen harus diuji dalam tegangan hingga gagal dalam waktu 24 jam setelah dikeluarkan dari rendaman selama waktu yang telah ditentukam. Metode uji tarik harus mengikuti ASTM D7205 / D7205M.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.6.8 *Perhitungan*

2.6.8.1 Perubahan massa batang FRP harus dihitung dengan Pers. (2.6.8.1a) dan (2.6.8.1b).

$$\text{pertambahan massa (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \text{x}100 \qquad (2.6.8.1a)$$

$$\text{kehilangan massa (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \qquad (2.6.8.1b)$$

2.6.8.2 Sifat material batang FRP harus ditentukan hanya untuk spesimen uji yang gagal selama pengujian. Apabila terjadi gagal tarik atau slip pada angkur, data harus diabaikan dan tes tambahan dalam kondisi yang sama dengan benda uji yang gagal harus dilakukan. Kapasitas tarik berkelanjutan harus dihitung dengan Pers. (2.6.8.2) dengan ketelitian dua digit yang signifikan.

$$R_{et} = \frac{F_{u2}}{F_{u1}} \times 100 \qquad (2.6.8.2)$$

2.6.9 Laporan pengujian − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut.

2.6.9.1 *Item umum* − Laporan tes harus mencakup item umum berikut:

a) Nama dagang, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah kelompok produk yang diuji
b) Jenis serat dan bahan pengikat serat, seperti yang dilaporkan oleh pabrikan, dan fraksi volume serat
c) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
d) Penunjukan, diameter, dan luas penampang
e) Tanggal mulai dan berakhirnya perendaman

2.6.9.2 *Item yang terkait dengan perendaman larutan alkali* − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut yang berkaitan dengan perendaman larutan alkali:

a) Komposisi larutan alkali, pH, suhu, periode pencelupan, dan waktu
b) Tingkat beban, waktu, dan prosedur penyelesaian yang berkelanjutan pemantauan dan penyesuaian
c) Catatan pengamatan penampilan luar dan perubahan massa
d) Massa spesimen pada setiap interval waktu
e) Grafik persen perubahan massa versus waktu, dihitung dengan Pers. (2.6.8.1a) atau (2.6.8.1b)

2.6.9.3 *Item yang terkait dengan pengujian tarik* − Laporan pengujian harus mencakup item berikut yang terkait dengan pengujian tarik:

a) Uji suhu dan pemuatan
b) Kapasitas tarik untuk spesimen uji terendam dan tidak terendam pada interval 1, 2, 3, 4, dan 6 bulan, dengan rata-rata dan standar deviasi kapasitas tarik dan kekuatan Tarik
c) Modulus elastisitas dan rata-rata untuk semua spesimen uji yang direndam dan yang tidak direndam, masing-masing
d) Strain ultimit untuk semua spesimen uji terendam dan nonimmersed dan regangan ultimata rata-rata
e) Retensi kapasitas Tarik
f) Kurva tegangan-regangan untuk semua spesimen uji terendam dan tidak terendam
g) Plot retensi kapasitas tarik versus waktu pemaparan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.7 Metode uji untuk penentuan fatik tarik batang FRP

Referensi berikut disediakan hanya untuk tujuan sejarah dan informasi — Adimi et al. (1998); Odagiri et al. (1997); dan Rahman dan Kingsley (1996).

2.7.1 Lingkup − Metode uji ini menetapkan persyaratan uji untuk fatik tarik di bawah kisaran beban tarik konstan untuk batang FRP yang digunakan sebagai tulangan penguat atau tendon prategang pada beton dan masonri.

Spesimen harus linier atau grid FRP yang dibentuk dari serat kontinu sedemikian rupa sehingga bertindak secara mekanis sebagai benda monolitik.

Berbagai jenis pengujian fatik, seperti tarik-tarik, tekan-tarik; tekan-tekan; dan berbagai kombinasi tarik, tekan, dan geser dimungkinkan. Metode uji tarik-tarik yang diberikan di sini dianggap sebagai yang paling dasar untuk mengevaluasi karakteristik material. Parameter kontrol uji adalah beban, dan mesin pemberi beban dikendalikan sehingga spesimen mengalami kisaran beban konstan berulang. Dalam prosedur ini, parameter kontrol uji dapat diuraikan menggunakan tegangan atau beban yang diterapkan sebagai variabel fatik amplitudo konstan.

2.7.2 *Dokumen yang direferensikan*

ASTM International

ASTM D618-08 — *Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*

ASTM D3039/D3039M-08 — *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*

American Concrete Institute Copyrighted Material—www.concrete.org

FRP COMPOSITES FOR REINFORCING OR STRENGTHENING CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES (ACI 440.3R-12) 13

ASTM D3479/D3479M-96(2007) — *Standard Test Method for Tension-Tension Fatigue of Polymer Matrix Composite Materials*

ASTM D7205/D7205M-06(2011)—*Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10—*Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

ASTM E739-10—*Standard Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress Life* (S-N) *and Strain-Life* (ε-N) *Fatigue Data*

2.7.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.7.3.1 Metode uji ini dimaksudkan untuk digunakan dalam pengujian laboratorium di mana variabel utama adalah nilai maksimum dari beban yang diulang.

2.7.3.2 Metode uji ini dimaksudkan untuk mengembangkan data fatik tarik untuk spesifikasi material, penelitian dan pengembangan, jaminan kualitas, dan desain dan analisis struktural. Hasil tes utama adalah umur fatik spesimen di bawah kondisi pemuatan dan lingkungan tertentu. Panduan dalam analisis statistik data umur fatik, seperti penentuan umur tegangan linier atau linierisasi (S-N), dapat ditemukan dalam ASTM E739.

2.7.3.3 Sifat fatik dari struktur beton dan masonri bertulang atau prategang adalah faktor penting untuk dipertimbangkan dalam desain. Untuk batang FRP yang digunakan sebagai tulangan atau tendon, perilaku fatik harus diukur sesuai dengan metode yang diberikan di sini, sesuai dengan tujuan yang dimaksudkan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi umur fatik

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

batang FRP termasuk beban maksimum, rasio beban (beban minimum dibagi dengan beban maksimum), bentuk gelombang (sinusoidal, segitiga, bujur sangkar, dan sebagainya), laju pembebanan (Hz), lingkungan (seperti kelembapan dan suhu), dan metode pengkondisian bahan dan persiapan spesimen. Faktor-faktor ini harus dilaporkan.

2.7.3.4 Metode uji ini menentukan jumlah siklus beban berulang yang diperlukan untuk gagal pada batang FRP. Data tersebut dapat digunakan untuk membuat kurva S-N untuk serangkaian kondisi pengujian tertentu di mana variabel utama adalah nilai maksimum dari beban yang diulang. Karena batang FRP sering memiliki sedikit variasi dalam luas penampang dari satu posisi aksial ke posisi aksial lainnya, luas sekelompok batang tertentu digunakan untuk menghitung tegangan pada spesimen tersebut.

2.7.3.5 Metode uji ini dapat digunakan dalam studi kerusakan fatik pada batang FRP, seperti terjadinya retakan mikroskopik, fraktur serat, atau delaminasi. Kekuatan sisa spesimen, kekakuan, atau keduanya, dapat berubah karena mekanisme kerusakan ini. Kehilangan kekuatan yang terkait dengan kerusakan fatik dapat ditentukan dengan menghentikan pembebanan siklik untuk mendapatkan kekuatan tarik quasi-statik menggunakan ASTM D7205 / D7205M. Hilangnya kekakuan dapat dikuantifikasi dengan menghentikan pembebanan siklik pada interval siklus yang dipilih untuk mendapatkan regangan tegangan regangan aksial-statis menggunakan penentuan modulus yang dijelaskan dalam ASTM D7205 / D7205M.

2.7.4 *Peralatan uji dan persyaratan*

2.7.4.1 Mesin penguji umumnya harus sesuai dengan ASTM E4 dan mampu mempertahankan amplitudo beban konstan, beban berulang dan frekuensi maksimum dan minimum. Mesin uji harus dilengkapi dengan fasilitas penghitung yang mampu mencatat jumlah siklus hingga kegagalan spesimen. Indikator beban harus mampu mengukur beban dengan akurasi tidak kurang dari 1 persen dari rentang beban.

2.7.4.2 Jangkar harus sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M. Idealnya, jenis jangkar yang sama harus digunakan untuk semua spesimen dalam serangkaian tes yang diberikan.

2.7.4.3 Jika pengukuran regangan diperlukan sebagai hasil dari uji fatik, ekstensometer yang mampu mempertahankan akurasi ± 1 persen dari nilai yang ditunjukkan harus digunakan. Ekstensometer harus memungkinkan panjang pengukur yang mencakup bilangan bulat panjang karakteristik spesimen. Bilangan bulat harus setidaknya dua, tetapi mungkin lebih besar dari dua untuk mendapatkan panjang pengukur setidaknya 50 mm.

2.7.5 *Persiapan spesimen*

2.7.5.1 Spesimen harus mewakili kelompok yang diuji. Selama pengambilan sampel dan persiapan spesimen uji, semua deformasi, pemanasan, paparan sinar ultraviolet luar ruangan, dan kondisi lain yang mungkin menyebabkan perubahan pada sifat material spesimen harus dihindari.

2.7.5.2 Spesimen harus disiapkan dan ditangani sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.7.5.3 Harus ada minimum lima spesimen uji untuk setiap level beban (tegangan). Setidaknya lima level pembebanan harus digunakan untuk menggambar diagram tegangan versus siklus pembebanan hingga runtuh. Jika spesimen gagal pada atau tergelincir keluar dari angkur, tes tambahan harus dilakukan pada spesimen terpisah yang diambil dari kelompok yang sama dengan spesimen yang gagal.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.7.5.4 Panjang total spesimen harus 40 diameter batang ditambah panjang total grip batang. Diameter batang ditentukan dengan mengacu pada ASTM D7205 / D7205M.

2.7.6 *Pengkondisian*

2.7.6.1 Prosedur pengkondisian standar — Spesimen kondisi sesuai dengan Prosedur A ASTM D618. Simpan dan uji di atmosfer laboratorium standar — 23 ± 3 ° C dan kelembapan relatif 50 ± 10 persen — kecuali jika lingkungan yang berbeda, seperti suhu atau larutan alkali, ditetapkan sebagai bagian dari percobaan.

2.7.6.2 Prosedur prakondisi alternatif —- Jika prosedur prakondisi lain digunakan, urutan prakondisi selama persiapan spesimen dapat menjadi penting. Laporkan jika spesimen telah dikondisikan sebelum atau setelah jangkar diterapkan.

2.7.7 *Metode uji*

2.7.7.1 Pemasangan spesimen uji harus sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.7.7.2 Untuk keperluan menentukan kurva S-N, beban maksimum dan minimum dapat ditetapkan dengan salah satu metode berikut:

a) Memperbaiki beban rata-rata dan memvariasikan amplitudo beban
b) Memperbaiki beban minimum dan memvariasikan beban maksimum
c) Memperbaiki rasio beban dan memvariasikan maksimum dan minimum memuat menurut rasio tetap ini

Metode yang diadopsi harus ditentukan sesuai dengan tujuan tes. Bagaimanapun, tingkat minimum lima beban (tegangan) harus dipilih sedemikian sehingga kisaran jumlah siklus ke kegagalan adalah antara 1000 dan 2 × 106. Kurva S-N khas untuk bahan FRP dihasilkan menggunakan Metode C dan menggunakan rasio beban (tegangan) tetap R sebesar 0,1.

2.7.7.3 Prosedur berikut ini dapat digunakan di mana tingkat tekanan maksimum untuk pengujian awal sulit untuk ditentukan:

a) Pilih tegangan maksimum yang sesuai dalam kisaran 20 persen hingga 60 persen dari kekuatan tarik quasi-statik, dan mulailah pengujian fatik dengan nilai ini sebagai beban maksimum yang diulang.
b) Jika spesimen tidak gagal setelah 104 siklus pada tegangan maksimum berulang ini, tambahkan 5 persen dari kekuatan tarik quasi-statik dan lakukan pengujian tanpa pemberhentian menggunakan spesimen yang sama.
c) Jika kegagalan tidak terjadi setelah 104 siklus mengikuti Langkah b, maka 5 persen penambahan harus ditambahkan pada beban maksimum berulang.
d) Ulangi Langkah c sampai spesimen gagal.
e) Tegangan maksimum awal yang diterapkan pada spesimen yang tidak diuji dapat diatur pada beban maksimum yang ditemukan sebelumnya dikurangi 5 persen dari kekuatan tarik quasi-statik.

Untuk tendon pada aplikasi prategang, tingkat tegangan yang perlu diperhatikan, dapat berkisar antara 50 persen - 75 persen dari kekuatan tarik quasi-statik. Tetapi untuk batang pada beton bertulang tingkat tegangan yang perlu diperhatikan sebesar 15 persen - 30 persen dari kekuatan tarik quasi-statik.

2.7.7.4 Frekuensi pembebanan harus dalam kisaran 1 Hz hingga 10 Hz, lebih disarankan 4 Hz. Suhu batang dapat meningkat karena redaman internal. Perubahan suhu seperti itu dapat mempengaruhi kinerja fatik batang. Dengan demikian, jika perubahan suhu mungkin terjadi atau jika ada keraguan tentang suhu ada, suhu harus dipantau dengan perangkat atau

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

indikator yang sesuai, seperti termokopel kontak atau termokopel inframerah. Temperatur harus dipantau untuk bahan FRP yang baru dikembangkan dan dalam kasus apa pun dimana frekuensi pemuatan melebihi 4 Hz. Jika diukur, perubahan suhu harus dilaporkan. Bentuk gelombang dari sinyal beban (sinusoidal, triangular, dan *square*) harus dijaga konstan dalam setiap seri uji fatik yang harus dibandingkan satu sama lain dalam kurva S-N, kecuali jika tujuan tes khusus untuk mengevaluasi efek dari bentuk gelombang.

2.7.7.5 Beban statis harus diterapkan hingga beban rata-rata, setelah itu beban berulang harus dimulai pada frekuensi yang ditentukan. Beban yang ditentukan harus dimasukkan secepat mungkin tanpa efek dinamis. Beban maksimum dan minimum yang diulang tidak boleh berubah selama durasi pengujian. Menghitung jumlah siklus biasanya dimulai ketika beban pada spesimen telah mencapai beban maksimum yang ditentukan.

2.7.7.6 Pemisahan total (pemecahan) spesimen harus dianggap sebagai kegagalan. Jumlah siklus kegagalan harus dicatat. Jika spesimen tidak gagal setelah 2 × 106 siklus, tes dapat dihentikan. Spesimen yang tidak gagal tidak boleh digunakan kembali.

2.7.7.7 Pengujian untuk setiap spesimen biasanya harus dilakukan tanpa gangguan dari awal hingga akhir pengujian. Ketika tes terganggu, jumlah siklus hingga waktu gangguan dan periode gangguan harus dicatat.

2.7.8 *Perhitungan*

2.7.8.1 Diperlukan lima spesimen uji yang valid pada setiap level beban. Spesimen yang valid adalah spesimen yang tidak gagal di jangkar, gagal dalam panjang pengukur pada hitungan siklus antara 1000 dan 2 × 106 siklus, atau tidak gagal setelah 2 × 106 siklus.

2.7.8.2 Jika kurva S-N diinginkan, kurva harus Digambar sesuai dengan ASTM E739, dengan tegangan berulang maksimum, rentang tegangan, atau amplitudo tegangan diwakili pada skala linier pada sumbu vertikal, dan jumlah siklus untuk kegagalan diwakili pada skala logaritmik pada sumbu horizontal. Dimana titik pengukuran bertepatan, jumlah titik bertepatan harus dicatat. Panah menghadap kanan harus ditambahkan untuk menunjukkan poin dari hasil pengujian untuk spesimen uji yang tidak gagal.

2.7.8.3 Jika kekuatan fatik diinginkan, kekuatan fatik pada siklus 2 × 106 harus diturunkan dengan interpolasi pada kurva S-N yang diperoleh dengan salah satu dari tiga metode pemilihan beban (A, B, C). Kekuatan fatik harus dilaporkan dengan ketepatan tiga digit signifikan.

2.7.9 Laporan pengujian − *Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut:*

a) Nama dagang, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah kelompok produk yang diuji
b) Jenis serat dan bahan pengikat serat seperti yang dilaporkan oleh pabrikan, dan konten volume serat
c) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
d) Penunjukan, diameter, dan luas penampang untuk kelompok dari mana spesimen diambil
e) Panjang spesimen (total dan antar jangkar)
f) Deskripsi prakondisi yang diterapkan pada spesimen, termasuk urutan prakondisi selama persiapan spesimen
g) Tanggal pengujian, suhu dan kelembapan uji (dari awal hingga akhir pengujian), dan jenis mesin uji
h) Deskripsi penjangkaran
i) Deskripsi ekstensometer dan panjang pengukur ekstensometer

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

j) Metode pemilihan beban maksimum dan minimum untuk serangkaian pengujian untuk membangun kurva S-N (Metode A, B, atau C)
k) Beban maksimum (tegangan), beban minimum (tegangan), rentang beban (tegangan), jumlah siklus kegagalan, pemuatan gelombang, dan frekuensi untuk setiap spesimen uji
l) Rekam mode kegagalan yang diamati untuk setiap spesimen uji
m) kurva S-N, jika diperoleh dalam serangkaian tes
n) Kekuatan fatik pada siklus 2 × 106, jika diperoleh dari kurva S-N

2.8 Metode uji untuk keruntuhan rangkak batang FRP

Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7337/D7337M.

2.9 Metode uji untuk relaksasi jangka panjang batang FRP

Referensi berikut disediakan hanya untuk tujuan sejarah dan informasi - Odagiri et al. (1997).

2.9.1 Lingkup − Metode uji ini menetapkan persyaratan uji untuk mengevaluasi perilaku relaksasi jangka panjang batang FRP yang digunakan sebagai tendon prategang dalam beton dan pasangan dengan suhu dan regangan yang konstan.

2.9.2 *Dokumen yang direferensikan*

ASTM Internasional

ASTM D618-08—*Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*

ASTM D7205/D7205M-06(2011)—*Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10—*Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

2.9.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.9.3.1 Metode uji ini untuk menyelidiki relaksasi jangka panjang batang FRP dimaksudkan untuk digunakan dalam tes laboratorium di mana variabel utama adalah ukuran atau jenis batang FRP, besarnya tegangan yang diterapkan, dan durasi aplikasi beban.

2.9.3.2 Metode uji ini mengukur regangan tarik yang diinduksi-beban dan tergantung-waktu pada usia yang dipilih untuk batang FRP dalam serangkaian kondisi lingkungan terkontrol dan acak dan rasio beban yang sesuai.

2.9.3.3 Metode uji ini dimaksudkan untuk menentukan data relaksasi untuk spesifikasi material, penelitian dan pengembangan, jaminan kualitas, dan desain dan analisis struktural. Hasil tes utama adalah tingkat relaksasi spesimen di bawah kondisi pemuatan dan lingkungan tertentu.

2.9.3.4 Sifat relaksasi dari beton prategang dan struktur masonri penting untuk dipertimbangkan dalam desain. Untuk batang FRP yang digunakan sebagai tendon prategang, perilaku relaksasi harus diukur sesuai dengan metode yang diberikan di sini, sesuai dengan tujuan yang dimaksudkan.

2.9.4 *Peralatan uji dan persyaratan*

2.9.4.1 Gunakan mesin uji dengan kapasitas pemuatan yang melebihi beban relaksasi spesimen uji dan dikalibrasi sesuai dengan ASTM E4. Mesin uji harus mampu memuat pada kecepatan (200 ± 50) MPa per menit dan mempertahankan beban sambil mempertahankan regangan yang konstan. Ini juga harus mengendalikan fluktuasi regangan tidak lebih dari ±

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

25×10^{-6} dalam spesimen selama periode pengujian setelah strain dalam spesimen telah diperbaiki. Jika batang FRP tergelincir dari bagian penahan, jarak slip harus dikompensasi agar tidak mempengaruhi hasil pengujian. Keakuratan beban awal yang diterapkan pada spesimen harus sebagai berikut:

a) Mesin uji dengan kapasitas beban sama dengan atau kurang dari 1 kN: ± 1,0 persen dari beban yang ditetapkan
b) Mesin uji dengan kapasitas beban lebih dari 1 kN: ± 2,0 persen dari beban yang ditetapkan

Keakuratan pembacaan atau perekaman otomatis beban harus dalam 0,1 persen dari beban awal.

2.9.4.2 Angkur harus sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.9.4.3 Jika ekstensometer atau pengukur regangan harus dipasang pada spesimen uji, ekstensometer atau pengukur regangan harus sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.9.5 *Persiapan spesimen*

2.9.5.1 Spesimen harus mewakili kelompok yang sedang diuji. Selama pengambilan sampel dan persiapan spesimen uji, semua deformasi, pemanasan, paparan sinar ultraviolet luar ruangan, dan kondisi lain yang mungkin menyebabkan perubahan pada sifat material spesimen harus dihindari.

2.9.5.2 Spesimen uji harus disiapkan dan ditangani sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.9.5.3 Jumlah hasil pengujian yang valid untuk setiap kondisi pengujian tidak boleh kurang dari lima. Jika spesimen gagal atau tergelincir seluruhnya dari bagian pengangkuran, hasil tes harus diabaikan dan tes tambahan harus dilakukan pada spesimen terpisah yang diambil dari kelompok yang sama dengan spesimen gagal.

2.9.6 Prosedur pengkondisian standar − *Spesimen kondisi sesuai dengan Prosedur A ASTM D618. Simpan dan uji di atmosfer laboratorium standar — (23 ± 3) ° C dan kelembapan relatif 50 persen ± 10 persen — kecuali jika lingkungan yang berbeda ditentukan sebagai bagian dari percobaan.*

2.9.7 *Metode uji*

2.9.7.1 Pemasangan spesimen dan panjang pengukur harus sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.9.7.2 Jika pengukur regangan harus dipasang pada spesimen uji, spesimen harus dibebani sebelumnya dengan menerapkan beban 10 persen hingga 40 persen dari beban awal yang ditentukan, setelah itu pengukur regangan harus dipasang dan dikalibrasi dengan benar.

2.9.7.3 Beban awal harus diambil terkecil dari 70 persen dari kapasitas tarik terjamin atau 80 persen dari kapasitas runtuh rangkak satu juta jam. Dalam beberapa kasus, kondisi ini dapat mengakibatkan beban yang menyebabkan runtuh rangkak tetapi tidak gagal karena relaksasi. Dalam kasus seperti itu, harus dikonfirmasikan dalam kondisi pembebanan aktual bahwa beban tidak menghasilkan runtuh rangkak dari spesimen FRP dengan meningkatkan beban awal yang diperlukan.

2.9.7.4 Beban awal harus diterapkan tanpa membuat spesimen terguncang atau bergetar. Laju pembebanan yang ditentukan harus 200 ± 50 MPa per menit. Regangan pada spesimen harus dijaga konstan setelah beban awal diterapkan dan dipertahankan selama (120 ± 2) detik. Waktu ini harus dianggap sebagai waktu mulai pengujian.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.9.7.5 Reduksi beban umumnya harus diukur selama periode setidaknya 1000 jam. Lebih disarankan, reduksi beban harus direkam secara otomatis oleh alat perekam yang terpasang pada mesin uji. Jika tidak ada perekam yang terpasang pada mesin pengujian, relaksasi tegangan harus diukur dan dicatat pada waktu berikut: (1, 3, 6, 9, 15, 30, dan 45) menit; dan (1, 1,5, 2, 4, 10, 24, 48, 72, 96, dan 120) jam. Pengukuran selanjutnya harus dilakukan setidaknya sekali setiap 120 jam.

2.9.8 *Perhitungan*

2.9.8.1 Nilai relaksasi harus dihitung dengan membagi beban yang diukur dalam uji relaksasi dengan beban awal.

2.9.8.2 Kurva relaksasi harus digambar pada grafik semi-logaritmik di mana nilai relaksasi, dalam persen, diwakili pada skala aritmatika sepanjang sumbu vertikal, dan waktu pengujian, dalam jam, diwakili pada skala logaritmik di sepanjang sumbu horizontal. Garis pendekatan harus diturunkan dari data grafik dengan menggunakan metode kuadrat-terkecil menurut Pers. (2.9.8.2)

$$Y_r = a_1 - b_1 logT \qquad (2.9.8.2)$$

2.9.8.3 Tingkat relaksasi setelah 1 juta jam harus ditentukan dari garis pendekatan; nilai ini mewakili tingkat relaksasi jutaan jam. Jika umur layanan struktur yang menggunakan batang FRP ditentukan terlebih dahulu, laju relaksasi untuk jumlah tahun masa kerja, atau laju relaksasi masa kerja, juga harus ditentukan.

2.9.9 Laporan pengujian − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut:

a) Nama dagang, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah kelompok produk yang diuji
b) Jenis serat dan bahan pengikat serat, seperti yang dilaporkan oleh pabrikan, dan fraksi volume serat
c) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
d) Penunjukan, diameter, dan luas penampang
e) Tanggal pengujian dan uji kondisi lingkungan (kelembapan dan suhu dan fluktuasi mereka)
f) Jenis dan produsen mesin uji
g) Beban awal dan laju beban
h) Kapasitas tarik terjamin dan rasio beban awal terhadap kapasitas tarik terjamin
i) Kurva relaksasi untuk setiap spesimen uji
j) Laju relaksasi rata-rata pada 10, 120, dan 1000 jam
k) Formula untuk menentukan garis aproksimasi
l) Laju relaksasi sejuta jam
m) Laju relaksasi yang sesuai dengan usia layanan desain, atau tingkat relaksasi kehidupan layanan, jika berlaku

2.10 Metode uji untuk kinerja angkur tulangan FRP

Referensi berikut disediakan untuk sejarah dan tujuan informasi saja — Chaallal dan Benmokrane (1993) dan Nanni et al. (1996).

2.10.1 Lingkup − *Metode uji ini menetapkan persyaratan uji untuk kinerja angkur tulangan FRP yang digunakan sebagai tendon prategang partarik pada beton dan pasangan. Dalam aplikasi ini, pengangkuran digunakan hanya untuk waktu yang singkat untuk mentransfer gaya tarik ke tendon. Pengangkuran jangka panjang adalah melalui lekatan tendon ke beton. Kinerja*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

pengangkuran selama periode penggunaan yang panjang, misalnya, kinerja fatik, tidak tercakup dalam tes ini.

2.10.2 *Dokumen referensi*

ASTM Internasional

ASTM D7205 / D7205M-06 (2011) — *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10 — *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

2.10.3 Signifikansi dan penggunaan − Metode uji untuk menyelidiki kinerja angkur ini dimaksudkan untuk digunakan dalam tes laboratorium di mana variabel utama adalah ukuran atau jenis tendon FRP yang digunakan dalam tendon prategang pratarik. Metode uji ini tidak boleh digunakan untuk mengembangkan desain tendon.

2.10.4 Peralatan uji dan persyaratan − Gunakan mesin uji atau dongkrak hidrolik dan load cell dengan kapasitas beban melebihi kapasitas tarik spesimen uji dan dikalibrasi sesuai dengan ASTM E4. Mesin uji dengan kontrol laju pembebanan atau laju perpindahan lebih disarankan. Tendon dapat diuji secara vertikal atau horizontal menggunakan dongkrak hidrolik.

Tendon FRP harus dibebani pada kecepatan (100-500) MPa /menit, dan pengujian harus selesai dalam waktu 1 menit - 10 menit.

2.10.5 Persiapan spesimen − Spesimen seharusnya disiapkan dengan menempatkan angkur prategang untuk dinilai ke salah satu ujung tendon FRP. Ujung lain dari tendon harus diangkurkan sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

Panjang spesimen harus merupakan jumlahan dari panjang tendon dan panjang bagian pengangkuran di kedua ujung. Panjang tendon tidak boleh kurang dari 100 mm, juga tidak boleh kurang dari 40 kali diameter tendon FRP. Untuk tendon FRP dalam bentuk kawat *strand*, panjangnya juga harus lebih besar dari dua kali jarak kawat *strand*.

Jumlah spesimen uji tidak boleh kurang dari lima.

2.10.6 Kondisi pengujian − Kecuali jika lingkungan pengujian yang berbeda ditentukan sebagai bagian dari percobaan, uji angkur cabut harus dilakukan di laboratorium standar (23 ± 3) ° C dan kelembapan relatif (50 ± 10) persen.

Prakondisi tendon FRP diizinkan. Prakondisi dapat mencakup abrasi permukaan tendon, kondisi lingkungan dari tendon, dan pascaperawatan tendon. Prakondisi tendon FRP diizinkan. Prakondisi dapat mencakup abrasi/pengasaran permukaan tendon, kondisi lingkungan tendon, dan pascaperawatan tendon.

2.10.7 Metode uji − Spesimen uji harus dipasang dan didukung oleh mesin uji tarik. Luas dan geometri permukaan yang mendukung pengangkuran dan cara penerapan gaya harus sedekat mungkin mendekati kondisi aktual struktur beton prategang. Ujung angkur tendon harus didukung pelat dengan cara yang serupa dengan spesimen tarik ditunjukkan pada Gambar A1.3 di ASTM D7205 / D7205M.

Pembebanan harus dilanjutkan hingga kegagalan tarik, sebagaimana ditentukan oleh kegagalan tendon FRP atau deformasi berlebihan pada alat penahan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.10.8 Perhitungan − Kapasitas tarik untuk setiap spesimen dan kapasitas tarik rata-rata harus dihitung. Pola kegagalan harus dicatat, walaupun tidak terjadi deformasi atau kegagalan pada angkur.

2.10.9 Laporan pengujian − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut.

a) Nama dagang, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah kelompok produk yang diuji
b) Jenis mesin uji
c) Jenis serat dan bahan pengikat serat, seperti yang dilaporkan oleh pabrikan, dan fraksi volume serat
d) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
e) Penunjukan, diameter, dan luas penampang
f) Mengondisikan awal tendon, jika ada
g) Tanggal pengujian, suhu pengujian, dan laju pembebanan
h) Dimensi spesimen uji dan deskripsi pengangkuran
i) Kapasitas kegagalan tarik untuk setiap spesimen uji, kapasitas tarik rata-rata, lokasi kegagalan, dan mode kegagalan
j) Rekaman segala deformasi atau kerusakan pada jangkar

2.11 Metode uji sifat tarik batang tulangan FRP yang dibengkokkan

2.11.1 Lingkup − Metode uji ini menetapkan persyaratan uji untuk sifat tarik batang FRP yang dibengkokkan, yang digunakan sebagai tendon prategang dalam beton.

2.11.2 *Dokumen referensi*

ASTM Internasional

ASTM D618-08 — *Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*

ASTM D7205 / D7205M-06 (2011) — *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

ASTM E4-10 — *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

2.11.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.11.3.1 Metode uji ini untuk memperoleh sifat tarik batang FRP yang dibengkokkan dimaksudkan untuk digunakan dalam uji laboratorium di mana variabel utama adalah ukuran atau jenis tulangan FRP.

2.11.3.2 Jika tulangan FRP yang diproduksi sebagai batang lurus ditegangkan setelah dibengkokkan, tegangan lentur atau tekanan lateral tambahan dapat menyebabkan pengurangan kekuatan. Metode uji ini dikembangkan untuk tulagan FRP yang dibengkokkan sebagai pratekan eksternal atau disusun dalam tata letak melengkung sebagai prategang internal.

2.11.3.3 Metode uji ini dimaksudkan untuk menentukan data tarik lentur tulangan FRP yang dibengkokkan untuk spesifikasi bahan, penelitian dan pengembangan, jaminan mutu, desain dan analisis struktur. Hasil tes utama adalah kapasitas tarik dari spesimen yang dibengkokkan dalam kondisi dibebani pada lingkungan tertentu.

2.11.3.4 Sifat tarik lentur dari beton pratekan dan struktur pasangan merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan dalam desain. Untuk tulangan FRP yang digunakan sebagai tendon, perilaku tarik lentur harus diukur sesuai dengan metode yang diberikan di sini.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.11.4 *Peralatan dan persyaratan uji*

2.11.4.1 Gunakan mesin uji dengan kapasitas beban yang melebihi kapasitas tarik spesimen uji dan dikalibrasi sesuai dengan ASTM E4. Mesin uji dengan kontrol laju pemuatan atau perpindahan lebih disarankan. Perlengkapan uji harus mencakup alat pemberi beban, indikator beban, penahan angkur, dan deflektor.

2.11.4.2 Perangkat pembebanan harus memiliki kapasitas yang melebihi kapasitas tarik spesimen uji dan harus mampu menerapkan beban pada laju beban yang diperlukan.

2.11.4.3 Indikator beban harus mampu menampilkan beban dengan akurasi tidak kurang dari 1 persen dari beban runtuh.

2.11.4.4 Tempat penjangkaran harus sesuai untuk geometri spesimen dan harus mampu meneruskan beban secara akurat dari mesin uji ke spesimen. Angkur harus dibuat sedemikian sehingga hanya meneruskan gaya aksial ke spesimen uji, tanpa meneruskan gaya puntir atau gaya lentur.

2.11.4.5 Deflektor harus mampu mempertahankan sudut kelengkungan dan diameter kelengkungan yang diperlukan selama pengujian sampai kegagalan spesimen uji. Permukaan deflektor yang bersentuhan dengan spesimen harus kontak dengan permukaan luar batang. Untuk batang berbentuk kawat *strand* atau pilin, permukaan deflektor halus dapat digunakan. Untuk batang yang berbentuk kawat *strand* atau pilin, mungkin perlu menggunakan deflektor yang cocok dengan permukaan batang.

2.11.5 *Persiapan spesimen*

2.11.5.1 Spesimen harus mewakili kelompok yang diuji. Selama pengambilan sampel dan persiapan spesimen uji, semua deformasi, pemanasan, paparan sinar ultraviolet luar ruangan, atau kondisi lain yang mungkin menyebabkan perubahan pada sifat material spesimen harus dihindari.

2.11.5.2 Spesimen uji harus disiapkan dan ditangani sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.11.5.3 Panjang spesimen harus merupakan jumlah dari panjang bagian uji dan panjang bagian pengangkuran. Panjang bagian uji harus sedemikian rupa sehingga jarak dari angkur ke bagian yang dibengkokkkan tidak boleh kurang dari 100 mm atau kurang dari 40 kali diameter batang FRP. Untuk batang FRP dalam bentuk kawat *strand*, jarak dari angkur ke bagian yang dibengkokkan tidak boleh kurang dari dua kali jarak untaian kawat *strand*.

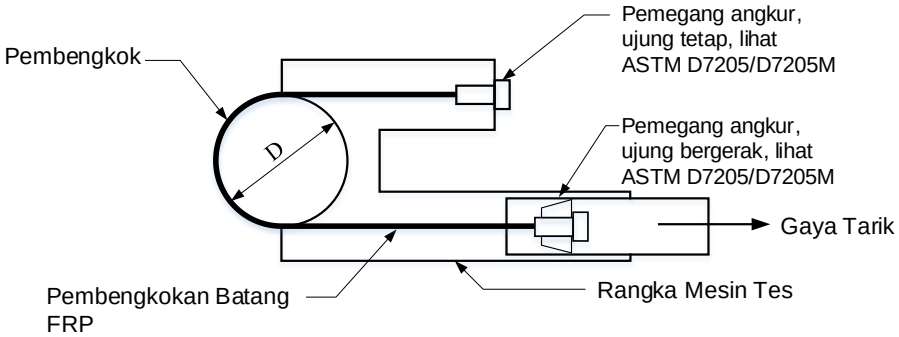
2.11.5.4 Jumlah spesimen uji untuk setiap kondisi pengujian (kombinasi diameter lentur dan lengkung sudut) tidak boleh kurang dari lima. Jika spesimen gagal di bagian pengangkuran, atau terlepas dari bagian pengangkuran, tes tambahan harus dilakukan pada spesimen terpisah yang diambil dari kelompok yang sama dengan spesimen yang gagal.

2.11.6 Prosedur pengkondisian standar − *Pengkodisian spesimen sesuai dengan Prosedur A ASTM D618. Simpan dan uji di atmosfer laboratorium standar (23 ± 3) ° C dan kelembapan relatif (50 ± 10) persen, kecuali lingkungan yang berbeda (seperti suhu atau larutan alkali) ditentukan sebagai bagian dari percobaan.*

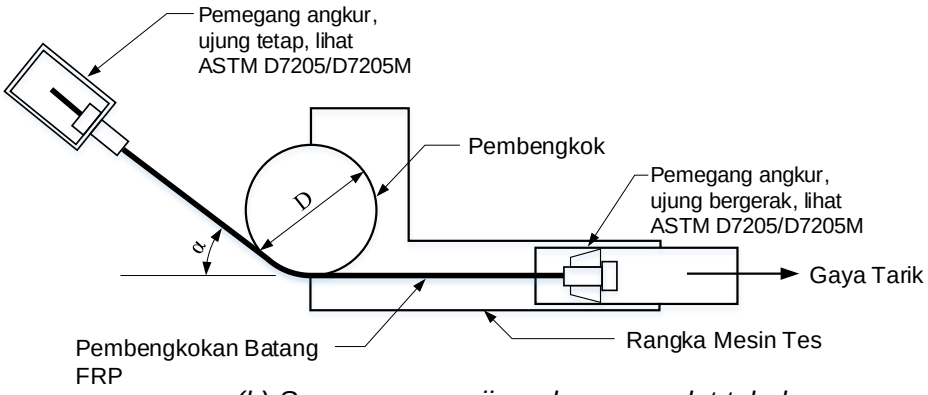
2.11.7 *Metode uji*

2.11.7.1 Diameter dan sudut pembengkokan harus ditetapkan dengan tepat untuk pengujian (Gambar B.11.7.1). Kombinasi ini membentuk satu kondisi pengujian. Setiap spesimen harus hanya memiliki satu bagian yang dilengkungkan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"



(a) Susunan pengujian, dengan sudut tekuk 180º



(b) Susunan pengujian, dengan sudut tekuk 180º

Gambar B.11.7.1 – Tes set up tipikal uji lentur

2.11.7.2 Perlu perhatian khusus saat pemasangan spesimen pada mesin uji untuk mempertahankan sudut dan diameter kelengkungan yang diperlukan pada bagian yang dibengkokkan selama pengujian.

2.11.7.3 Laju pembebanan yang harus antara 100 dan 500 MPa /menit dan pengujian harus selesai dalam 1 hingga 10 menit. Batang yang dibengkokkan harus keluar dari deflektor pada garis singgung dan tidak menekuk di sudut deflektor.

2.11.7.4 Pembebanan harus dilanjutkan sampai kegagalan spesimen uji. Beban kegagalan dan lokasi kegagalan harus diukur dan dicatat.

2.11.8 *Perhitungan*

2.11.8.1 Sifat material dari batang FRP harus diperiksa pada bagian yang mengalami kegagalan. Dalam kasus di mana kegagalan tarik atau slip telah terjadi di bagian pengangkuran, data harus diabaikan dan uji tambahan harus dilakukan sampai jumlah spesimen uji gagal di bagian uji tidak kurang dari lima.

2.11.8.2 Maksimum, minimum, rata-rata, dan deviasi standar dari kapasitas tarik lengkung untuk setiap set pengujian harus dihitung sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M.

2.11.8.3 Lokasi dan pola kegagalan harus diamati dan dicatat untuk setiap spesimen uji.

2.11.9 Laporan pengujian − Laporan pengujian harus mencakup hal-hal berikut:

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

a) Nama dagang, bentuk, dan tanggal pembuatan (jika tersedia), dan jumlah kelompok produk yang diuji
b) Jenis serat dan bahan pengikat serat, seperti yang dilaporkan oleh pabrikan, dan fraksi volume serat
c) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
d) Penamaan, diameter, dan luas penampang
e) Kondisi permukaan batang FRP (bahan, ketebalan, konfigurasi lapisan apa saja, dan sebagainya)
f) Tanggal pengujian, suhu pengujian, laju pembebanan, dan jenis dan pabrik mesin uji
g) Jenis perangkat jangkar
h) Sudut lengkung, diameter luar permukaan deflektor yang bersentuhan dengan batang FRP, rasio diameter bengkokan, dan konfigurasi material dan permukaan
i) Kapasitas tarik lentur untuk setiap spesimen uji
j) Lokasi dan pola kegagalan untuk setiap spesimen uji
k) Jumlah spesimen uji untuk setiap set kondisi, dan maksimum, minimum, rata-rata, dan deviasi standar dari kapasitas tarik lentur

2.12 Metode uji untuk menentukan efek jari-jari sudut pada kekuatan tarik batang FRP

2.12.1 Lingkup − Metode ini menentukan efek jari-jari sudut pada sifat tarik batang FRP yang digunakan sebagai batang tulangan atau tendon prategang dalam beton, di mana batang mengalami tegangan tarik. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan perlengkapan uji tiga komponen.

2.12.2 *Dokumen referensi*

ASTM Internasional

ASTM D883-11 — *Standard Terminology Relating to Plastics*

ASTM D3039 / D3039M-08 — *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*

ASTM D7205 / D7205M-06 (2011) — *Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

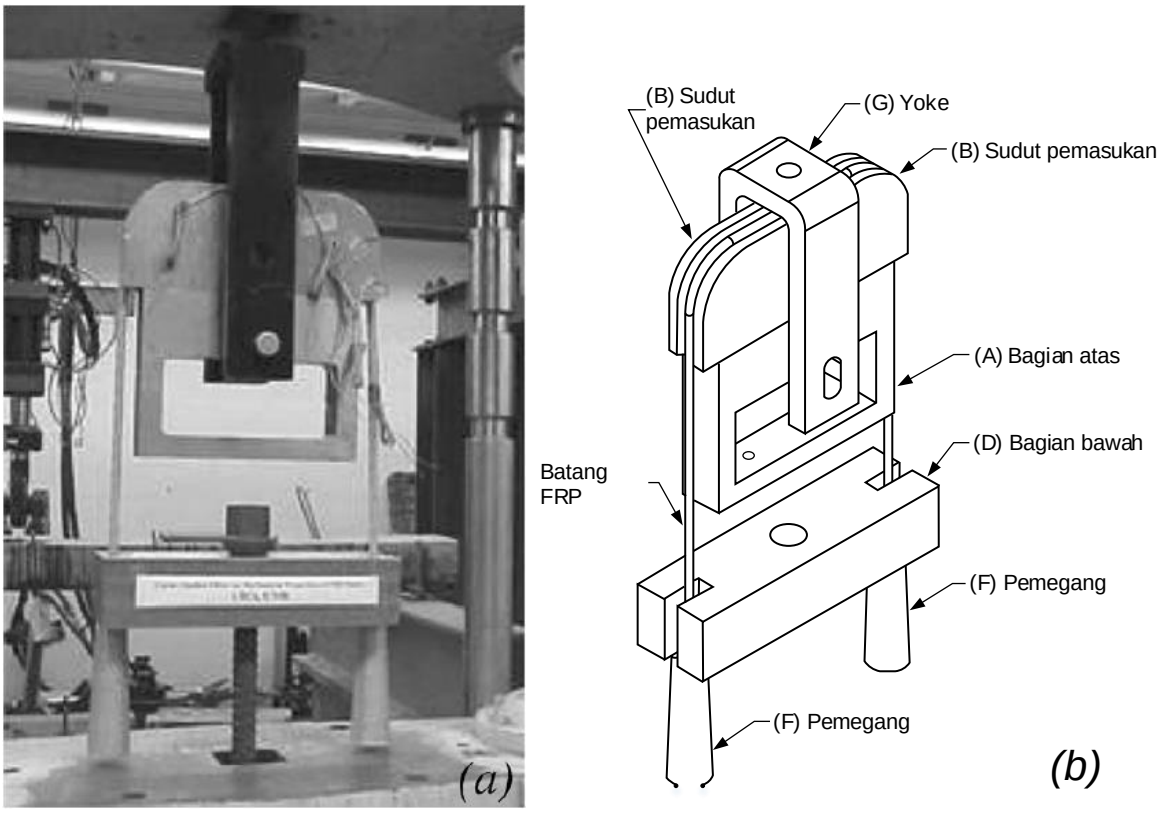
ASTM E4-10 — *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

ASTM E6-09 — *Standard Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing*

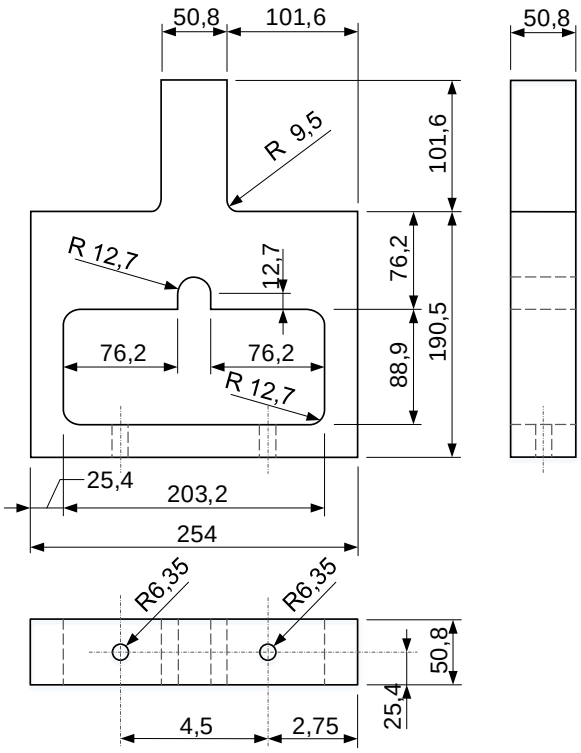
2.12.3 *Signifikansi dan penggunaan*

2.12.3.1 Tes tarik dilakukan dengan perlengkapan uji khas. Perlengkapan uji terdiri dari tiga komponen: bagian atas dan bawah dan sisipan sudut yang dapat ditukar, yang terbuat dari logam, seperti aluminium atau baja (Gambar B.12.3.1a). Dimensi secara rinci ditunjukkan pada Gambar B.12.3.1b hingga B.12.3.1f. Spesimen FRP dalam bentuk batang terbengkokkan ditempatkan di alur yang membentang di sepanjang sisi dan bagian atas perlengkapan uji dan sisipan sudut. Instrumentasi dipasang tergantung pada variabel yang dipantau. Jika modulus dan distribusi regangan diperlukan, pengukur regangan dapat dipasang di sekitar area sudut. Beban diterapkan sampai kegagalan spesimen FRP.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

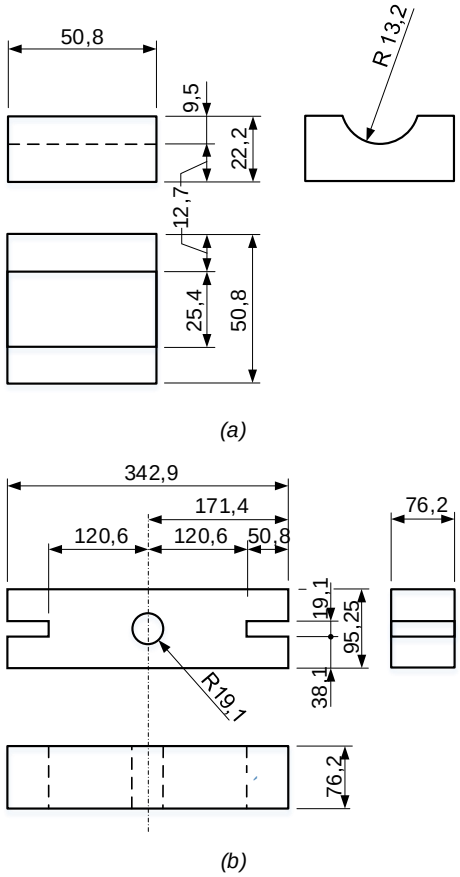


Gambar B.12.3.1a – (a) Perakitan peralatan uji; dan (b) Sketsa

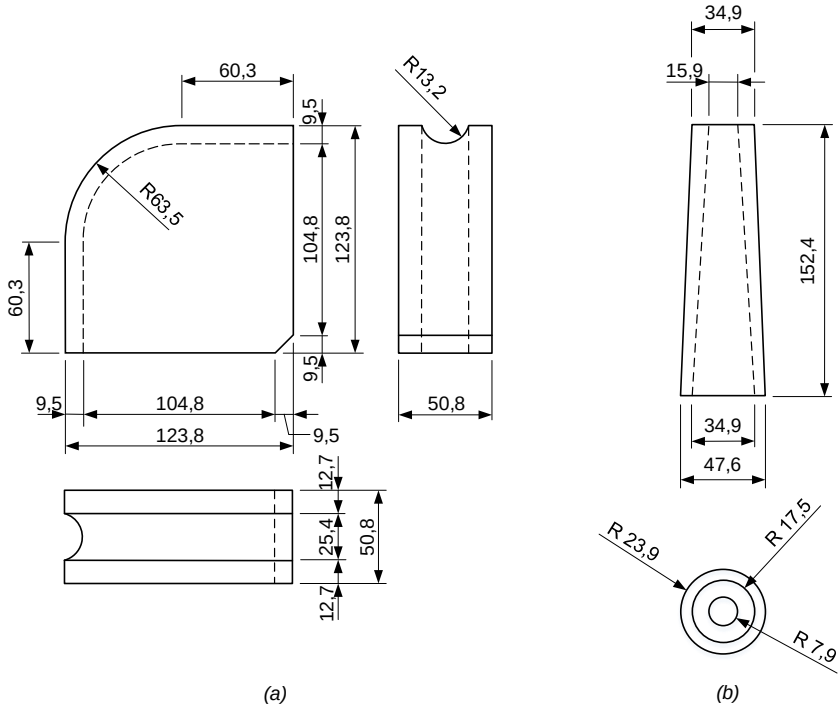


Gambar B.12.3.1b – Bagian atas peralatan uji (dalam mm)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

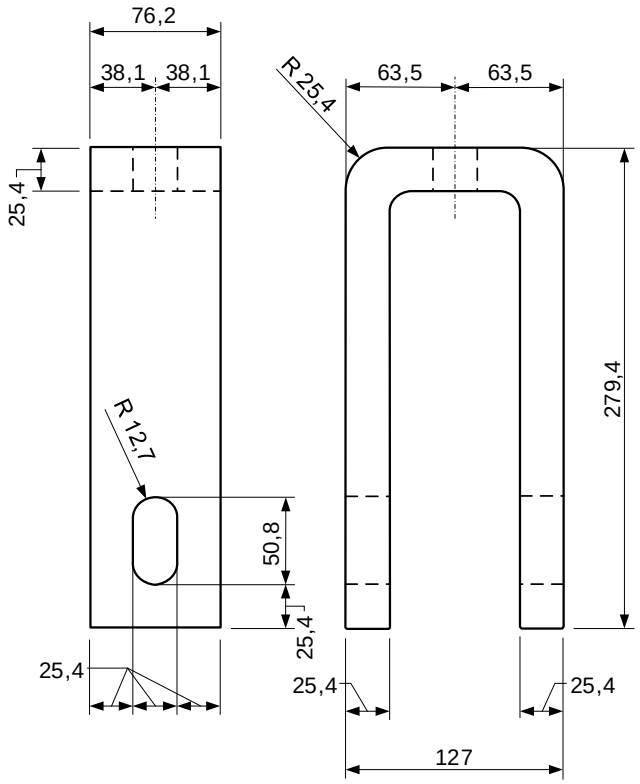


Gambar B.12.3.1c – Bagian bawah peralatan uji : (a) baji; dan (b) bagian bawah (dalam mm)

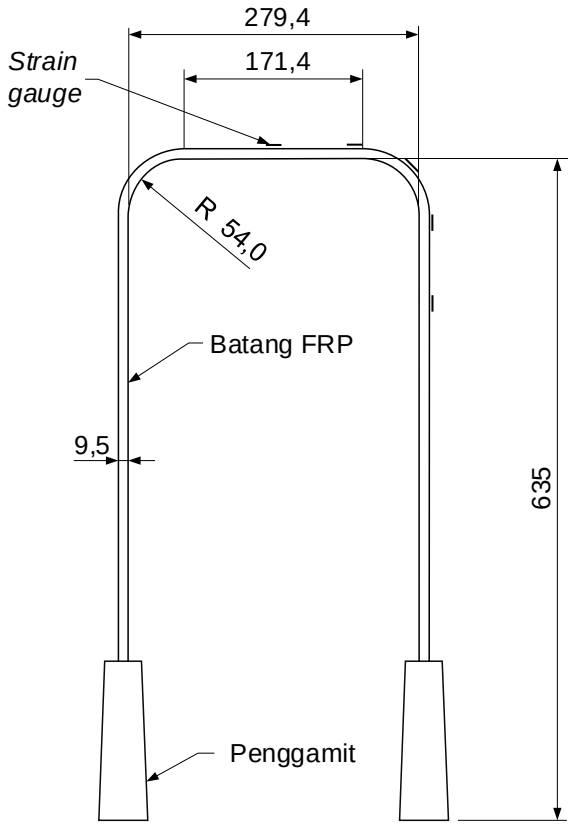


Gambar B.12.3.1d – Baji dan sudut penyisipan yang dapat diganti: (a) sudut pemasukan; dan (b) pemegang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"



Gambar B.12.3.1e – Peralatan tarik dibutuhkan dua set (*yoke*) (dalam mm)



Gambar B.12.3.1f – Pemasangan benda uji dan pengaturan alat ukur regangan (dalam mm)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.12.3.2 Uji tarik ini dapat memberikan informasi yang akurat berkenaan dengan efek jari-jari sudut pada sifat tarik batang FRP yang dilengkungkan, yang diterapkan pada kondisi dengan mekanisme interaksi serupa dengan metode uji.

2.12.3.3 Metode ini dapat digunakan untuk menguji batang FRP lengkung dengan jenis serat atau resin dalam bentuk solid persegi atau bulat.

2.12.3.4 Data yang disediakan dalam tes ini dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan, desain, dan kriteria penerimaan /penolakan.

2.12.4 *Peralatan uji*

2.12.4.1 *Pengukur (Gauges)* − Pengukur harus mempunyai akurasi setidaknya 0,01 mm untuk mengukur lebar spesimen.

2.12.4.2 *Mesin uji* − Mesin uji harus terdiri dari yang berikut:

a) Komponen tetap — Komponen tetap atau tidak bergerak yang mendukung perlengkapan beban
b) Komponen bergerak — Komponen yang mampu menerapkan beban tarik ke perlengkapan beban tarik dan meneruskan beban ke perlengkapan uji
c) Mekanisme penggerak — penggerak untuk memberikan kecepatan terkendali kepada komponen bergerak sehubungan dengan komponen stasioner
d) Indikator beban — Mekanisme penunjuk beban yang sesuai yang mampu menunjukkan total beban tarik yang dipikul oleh perlengkapan uji. Mekanisme ini harus menunjukkan beban dengan akurasi 1 persen atau lebih baik dari nilai sebenarnya. Keakuratan harus diverifikasi sesuai dengan ASTM E4.

2.12.4.3 *Perekaman regangan* — Sistem perekaman regangan yang sesuai diperlukan untuk penentuan modulus dan distribusi regangan.

2.12.4.4 *Perlengkapan uji* — Perlengkapan uji terdiri dari bagian atas dan bawah di sekitar tempat FRP dipasang. Bagian atas digunakan sebagai area pengujian dengan sisipan sudut yang dapat dipertukarkan terletak di dua sudutnya. Bagian bawah digunakan untuk menjangkar spesimen melalui jangkar. Dua baut dan dua batang baja digunakan untuk menahan bagian perlengkapan atas dan bawah selama pemasangan spesimen.

2.12.4.5 *Pelengkapan beban tarik* — Perlengkapan digunakan untuk memindahkan gaya dari mesin uji ke perlengkapan uji (Gambar B.12.3.1e). Semua lubang yang dibor di perlengkapan pemberi tarik dan perlengkapan uji harus cukup besar (*oversized*) untuk menghindari terpilin (*twisting*) dan pengencangan (*tigthening*) ketika batang dan mur dipasang. Semua lubang harus dibor 1,60 mm lebih besar dari nilai nominal.

2.12.5 *Persiapan spesimen*

2.12.5.1 *Geometri* — Spesimen uji FRP harus sesuai dengan dimensi perlengkapan uji yang ditunjukkan pada Gambar B.12.3.1b dan B.12.3.1c.

2.12.5.1.1 *Angkur* — Sistem pengangkuran di ujung batang uji harus dilengkapi dengan panjang dan ukuran yang memadai sesuai dengan ASTM D7205 / D7205M sehingga kegagalan terjadi pada bagian lengkung.

2.12.5.1.2 *Penyelarasan* — Spesimen harus dipusatkan pada alur-alur perlengkapan uji.

2.12.5.2 *Regangan* — Jika data beban-regangan diinginkan, spesimen dapat dilengkapi dengan pengukur regangan. Pengukur regangan harus berorientasi paralel dengan arah serat.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Pengukur regangan harus dipasang di daerah lurus batang di antara dan di luar sudut. Susunan pengukur regangan yang disarankan ditunjukkan pada Gambar B.12.3.1f.

2.12.5.3 *Jumlah spesimen* — Minimal lima spesimen direkomendasikan untuk setiap material.

2.12.6 Pengkondisian − *Simpan dan uji pada kondisi laboratorium standar (23 ± 3) ° C dan kelembapan relatif (50 ± 10) persen, kecuali lingkungan yang berbeda, seperti suhu atau larutan alkali, ditetapkan sebagai bagian dari percobaan.*

2.12.7 *Metode uji*

2.12.7.1 Perlengkapan pembebanan tarik ditempatkan pada kepala silang atas dari mesin uji, dan perlengkapan pengujian atas dihubungkan ke perlengkapan pembebanan tarik menggunakan batang baja polos pendek melalui lubang-lubang di bagian atas. Bagian bawah perlengkapan uji ditempatkan pada pelat bawah mesin uji menggunakan batang baja berulir dan dua mur. Batang baja harus cukup panjang untuk menyediakan ruang yang cukup untuk jangkar batang uji bila ditempatkan di antara bagian bawah dan kepala silang bawah.

2.12.7.2 Seharusnya tidak ada ketidaksejajaran antara perlengkapan tes dan rangka beban tarik. Tidak perlu dipilin (*twisting*) dalam peralatan dan spesimen uji.

2.12.7.3 Sambungkan peralatan rekaman data.

2.12.7.4 Terapkan dan lepaskan sedikit beban pada spesimen (kurang dari 5 persen dari beban kegagalan yang diharapkan) untuk meluruskan kembali perlengkapan uji. Pengukur regangan dinolkan pada langkah ini.

2.12.7.5 Atur kecepatan pengujian yang disarankan. Kecepatan pengujian harus ditentukan oleh spesifikasi untuk bahan yang diuji atau oleh klien. Namun, ketika kecepatan pengujian tidak ditentukan, kecepatan 1,0 - 2,0 mm / menit direkomendasikan.

2.12.7.6 Catat nilai regangan dan beban secara terus menerus.

2.12.7.7 Rekam beban maksimum dari indikator beban mesin uji.

2.12.7.8 Rekam pola kegagalan spesimen. Zona kegagalan biasanya terletak di sekitar sudut.

2.12.8 *Perhitungan*

2.12.8.1 *Kekuatan tarik tereduksi* — Hitung kekuatan tarik tereduksi menggunakan Pers. (2.12.8.1). Laporkan hasilnya ke tiga angka signifikan

$$S = P/(2A) \qquad (2.12.8.1)$$

2.12.8.2 *Modulus tarik* − Hitung modulus tarik pada titik-titik yang berbeda menggunakan Pers. (2.12.8.2). Laporkan hasilnya ke tiga angka signifikan. Modulus harus dihitung dengan menggunakan nilai beban dan regangan yang sesuai dengan 20 dan 50 persen dari kekuatan tarik tereduksi S.

$$EL = \Delta P/(2A\Delta\varepsilon) \qquad (2.12.8.2)$$

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

2.12.9 *Laporan pengujian* – Laporan uji harus berisi hal sebagai berikut:

a) Identifikasi lengkap dari bahan yang diuji, termasuk sumber, nomor kode pabrikan, formulir, riwayat sebelumnya, jenis resin, detail pemrosesan, kontrol kualitas spesimen, deskripsi peralatan yang digunakan, penyimpangan dari metode uji standar ini, dan deskripsi proses pembuatan dari spesimen dibandingkan dengan yang ditentukan yang disediakan oleh pabrikan
b) Metode penyiapan spesimen uji dan verifikasi kualitas
c) Dimensi dan radius sudut spesimen uji
d) Angka atau tanda identifikasi pada spesimen uji
e) Kecepatan pengujian
f) Beban saat terjadi kegagalan
g) Kekuatan spesimen individu dan nilai rata-rata
h) Modulus spesimen individual dan nilai rata-rata
i) Tanggal tes

3 Metode uji untuk FRP laminasi

3.1 Metode uji untuk uji cabut

Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7522 / D7522M.

3.2 Metode uji untuk uji tarik spesimen pipih

Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7565 / D7565M.

3.3 Metode uji untuk uji tarik sambungan lewatan

Metode uji ini telah digantikan oleh ASTM D7616 / D7616M.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

REFERENSI

American Concrete Institute

ACI 440.1R-06—*Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars*

ACI 440.2R-08—*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*

ACI 440.6-08—*Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement*

ASTM Internasional

ASTM D7205/D7205M—*Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars*

B.3 Metode uji untuk kekuatan lekat batang FRP dengan uji cabut

Al-Zahrani, M. M.; Nanni, A.; Al-Dulaijan, S. U.; and Bakis, C. E., 1996, "Bond of FRP to Concrete for Rods with Axisymmetric Deformations," Proceedings, ACMBS-II, Montreal, QC, Canada, Aug., pp. 853-860.

Benmokrane, B.; Zhang, B.; Laoubi, K.; Tighiouart, B.; and Lord, I., 2002, "Mechanical and Bond Properties of New Generation of Carbon Fibre Reinforced Polymer Reinforcing Bars for Concrete Structures," Canadian Journal of Civil Engineering, V. 29, No. 2, pp. 338-343.

Chaallal, O., and Benmokrane, B., 1993, "Pullout and Bond of Glass-Fiber Rods Embedded in Concrete," RILEM Journal of Materials and Structures, V. 26, No. 157, pp. 167-175.

Freimanis, A. J.; Bakis, C. E.; Nanni, A.; and Gremel, D., 1998, "A Comparison of Pull-Out and Tensile Behaviors of FRP Reinforcement for Concrete," Proceedings, ICCI-98, Tucson, AZ, V.2, Jan. 5-7, pp. 52-65.

B.5 Metode uji untuk kekuatan batang FRP yang dibengkokkan dan sengkang pada lokasi pembengkokkan

Morphy, R.; Shehata, E.; and Rizkalla, S., 1997, "Bent Effect on Strength of CFRP Stirrups," Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Sapporo, Japan, Oct., pp. 19-26.

B.6 Metode uji dipercepat untuk ketahanan alkali dari batang FRP

Benmokrane, B.; Wang, P.; and Ton-That, T. M., 2001, "Durability of GFRP Reinforcing Bars in Alkaline Environments," Proceedings of the CICE 2001, International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Hong Kong, Dec. 12-15, pp. 1527-1534.

Benmokrane, B.; Wang, P.; Ton-That, T. M.; Rahman, H.; and Robert, J.-F., 2002, "Durability of GFRP Reinforcing Bars in Concrete Environment," Journal of Composites for Construction, ASCE, V. 6, No. 3, pp. 143-155.

Gangarao, H. V. S., and Vijay, P. V., 1997, "Aging of Structural Composites under Varying Environmental Conditions in Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," Proceedings of the 3rd International Symposium, FRPRCS-3, Sapporo, Japan, V. 2, 91 pp.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Gentry, T. R., 2001, "Life Assessment of Glass-Fiber Reinforced Composites in Portland Cement Concrete," Paper No. 077, Proceedings, 16th Annual Meeting of the American Society for Composites, Blacksburg, VA, Sept. 10-12.

Mehus, J., 1995, "Long Term Durability of Fiber Composite Reinforcement for Concrete," MS thesis, Iowa State University, Ames, IA, Dec.

Nkurunziza, G.; Masmoudi, R.; and Benmokrane, B., 2002, "Effect of Sustained Tensile Stress and Temperature on Residual Strength of GFRP Composite Bars," Proceedings of the Second International Conference on Durability of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction, CDCC 2002, Montreal, QC, Canada, May 29-31, pp. 347-358.

Porter, M. L.; Mehus, J.; and Young, K. A., 1995, "Aging Degradation of Fiber Composite Reinforcements for Structural Concrete," Final Report Submitted to Army and Navy, Engineering Research Institute, College of Engineering, Iowa State University, Ames, IA, Sept., 203 pp.

Porter, M. L.; Mehus, J.; Young, K. A.; Barnes, B. A.; and O'Neil, E. F., 1996, "Aging Degradation of Fiber Composite Reinforcement for Structures," Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, M. M. El-Badry, ed., Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, QC, Canada, 641 pp.

B.7 Metode uji untuk fatik tarik batang FRP

Adimi, R.; Rahman, A. H.; Benmokrane, B.; and Kobayashi, K., 1998, "Effect of Temperature and Loading Frequency on the Fatigue Life of a CFRP Bar in Concrete," Fiber Composite in Infrastructure, Proceedings of the 2nd International Conference on Composites in Infrastructure (ICCI'98), H. Saadatmanesh and M. R. Ehsani, eds., Tucson, AZ.

Odagiri, T.; Matsumoto, K.; and Nakai, 1997, "Fatigue and Relaxation Characteristics of Continuous Fiber Reinforced Plastic Rods," Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, FRPRCS-3, Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, V. 2, pp. 227-234.

Rahman, A. H., and Kingsley, C. Y., 1996, "Fatigue Behaviour of a Fiber-Reinforced-Plastic Grid as Reinforcement for Concrete," Fiber Composite in Infrastructure, Proceedings of the 1st International Conference on Composites in Infrastructure, H. Saadatmanesh and M. R. Ehsani, eds., Tucson, AZ.

B.9 Metode uji untuk relaksasi jangka panjang batang FRP

Odagiri, T.; Matsumoto, K.; and Nakai, 1997, "Fatigue and Relaxation Characteristics of Continuous Fiber Reinforced Plastic Rods," Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, FRPRCS-3, Japan Concrete Institute, Sapporo, V. 2, pp. 227-234.

B.10 Metode uji untuk kinerja angkur batang FRP

Chaallal, O., and Benmokrane, B., 1993, "Physical and Mechanical Performance of an Innovative Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod for Concrete and Grouted Anchorages," Canadian Journal of Civil Engineering, V. 20, No. 2, pp. 254-268.

Nanni, A.; Bakis, C. E.; O'Neil, E.; and Dixon, T. O., 1996, "Performance of FRP Tendon-Anchor Systems for Prestressed Concrete Structures," PCI Journal, V. 41, No. 1, pp. 34-44.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komite Teknis perumus SNI

Komite Teknis 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung.

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis perumus SNI

Ketua : Ir. Ridwan Marpaung, MT
Wakil Ketua : Ferri Eka Putra, ST, MDM
Sekretaris : Rudi Setiadji Agustiningtyas, ST, M.Sc
Anggota :
1. Erwin Lim, ST, MS, Ph.D
2. Prof. Bambang Suryoatmono
3. Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
4. Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.
5. Ir. Grace Indriani Sandika, MT
6. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
7. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
8. Dr, Ir. Nathan Madutujuh, M.Sc

Pada saat perumusan SNI, susunan keanggotaan Sub Komite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan. adalah sebagai berikut:

Ketua : Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES
Wakil Ketua : Ir. Lutfi Faizal
Sekretaris : Dany Cahyadi, S.T., M.T.
Anggota :
1. Ir. RG Eko Djuli Sasongko, M.M.
2. Prof. Dr. Ir. Suprapto, M.Sc., FPE., IPM.
3. Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng
4. Ir. Asriwiyanti Desiani, M.T.
5. Ir. Felisia Simarmata
6. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
7. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
8. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D

[3] Konseptor Penyusun SNI

No.	Nama	Instansi
Tim Penasehat		
1	Prof. Iswandi Imran, MASc., Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
2	Prof. Bambang Suhendro, M.Sc, Ph.D	Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM)
Tim Teknis		
3	Prof. Dr. Ir. Antonius	Universitas Islam Sultan Agung
4	Ir. Lutfi Faizal	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
5	Prof. Dr. Ir. Han Ay Lie, M.Eng	Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
6	Prof. Dr. Ir. Sri Tudjono, MS	Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
7	Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng	Universitas Atma Jaya Yogyakarta

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"

No.	Nama	Instansi
8	Dr.-Ing. Ir. Andreas Triwiyono	Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM)
9	Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D	Fakultas Teknik Sipili dan Perencanaan - Institut teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
10	Dr. Eng. Aris Aryanto, MT	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
11	Patria Kusumaningrum, ST, Ph.D	
12	Ir. Sutadji Yuwasdiki,Dipl.E.Eng	Balai Litbang Bahan dan Struktur Bangunan, Puslitbang Perumahan dan Permukiman
13	Lasino, ST, APU	
14	Ir. Aventi, MT	
15	Moh. Rusli, ST, MDM	
16	Lena Tri Lestari, ST	Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
17	Dwinita Fibriani Astuti, ST	Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk KT 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung, dan tidak untuk dikomersialkan"