

**LAPORAN TAHUN TERAKHIR
PENELITIAN FUNDAMENTAL**



**PENGARUH PERLAKUAN TERHADAP KUAT TEKAN
DAN TARIK MATERIAL KOMPOSIT SERAT IJUK LOKAL
UNIDIREKSIONAL BERMATRIK POLIMER**

Tahun ke-2 dari rencana 2 tahun

Ketua Tim: Sudarisman, Drs., M.S., Ph.D., NIDN. 0002055901

Anggota: Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng., NIDN. 0023057901

Anggota: Sunardi, S.T., M.Eng., NIDN. 0510027701

**DIBIYAI DENGAN
DIPA DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
NOMOR: DIPA-042.06.0.1.401516/2016 TERTANGGAL 7 DESEMBER 2015**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

November 2016

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengaruh perlakuan terhadap kuat tekan dan tarik material komposit serat ijuk lokal unidireksional bermatrik polimer

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Drs SUDARISMAN
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
NIDN : 0002055901
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP : 081804307825
Alamat surel (e-mail) : sudarisman05@yahoo.com.au

Anggota (1)
Nama Lengkap : MUHAMMAD BUDI NUR RAHMAN S.T
NIDN : 0023057901
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Anggota (2)
Nama Lengkap : SUNARDI M.Eng, S.T
NIDN : 0510027701
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Institusi Mitra (jika ada) : -
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 60.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 0,00

Mengetahui,
Dekan FT UMY



(Jazauf Ikhsan, M.T., Ph.D.)
NIP/NIK 123037

Yogyakarta, 29 - 11 - 2016
Ketua,

(Drs SUDARISMAN)
NIP/NIK 195905021987021001

Menyetujui,
Ketua LP3M UMY



(Hilman Latief, M.A., Ph.D.)
NIP/NIK 133033

RINGKASAN HASIL PENELITIAN

Kesimpulan hasil penelitian tahun pertama: (a) ada keefektifan pembersihan kotoran bawaan pada permukaan serat sehingga diperoleh rekatan antar-muka serat-matrik yang kuat dan dapat diperoleh transfer beban yang baik, (b) Untuk sistem ijuk-poliester, kuat geser rekatan tertinggi didapat dari waktu perendaman 2 jam, dengan kadar alkali 2,5 wt% untuk serat kecil (5,22 MPa) dan kadar alkali 7,5 wt% untuk serat besar (4,76 MPa), (c) Untuk sistem ijuk-epoksi, kuat geser rekatan tertinggi didapat dari waktu perendaman 2 jam, untuk serat besar dengan kadar alkali 2,5 wt% (2,88 MPa) dan untuk serat kecil dengan kadar alalkali 7,5 wt% (2,58 MPa). Kesimpulan (b) dan (c) tersebut selanjutnya digunakan untuk perlakuan serat ijuk pada tahun kedua ini. Hasil-hasil penelitian akan dipublikasikan pada jurnal Composite Science and Technology, atau Composite Structures, atau Journal of Reinforced Plastics and Composites yang terindek Scopus. Sampai dengan laporan ini dibuat, kemajuan yang telah dicapai adalah: (i) pembuatan plat komposit dan spesimen menurut standar ASTM D340 dan spesimen tarik menurut standar ASTM D3039, (ii) desain dan pembuatan alat pemegang/grip untuk pengujian tekan menurut standar ASTM D340, (iii) pengujian dan analisis data, (iv) telah dikirim naskah berjudul 'Compressive properties of unidirectional palm fiber-reinforced polyester composite' ke International Conference on Science, Technology, Engineering and Management (ICSTEM), yang akan diadakan di Denpasar pada 28-29 Desember 2016. Dari analisis data diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (i) hubungan tegangan dan regangan tekan hampir linear sampai mendekati patah, kuat tekan meningkat seiring dengan naiknya kadar serat sampai dengan 20 %vol di dalam komposit kemudian turun pada kadar serat 30 %vol, regangan tekan pada tegangan maksimum menurun seiring dengan naiknya kadar serat di dalam komposit, sebagaimana kuat tekan, modulus tekan juga naik seiring dengan naiknya kadar serat sampai dengan 20 %vol di dalam komposit kemudian turun bila kadar serat dinaikkan ke 30 %vol, spesimen poliester murni dan yang berkadar serat rendah, 10 %vol, menunjukkan moda gagal tekan hancur sedangkan yang dengan kadar serat lebih tinggi menunjukkan moda gagal kinking; (ii) hubungan tegangan dan regangan tarik sebagaimana pada pengujian menunjukkan hubungan yang hampir linear, kuat tarik meningkat seiring dengan meningkatnya kadar serat hingga 40 %vol, regangan tarik pada tegangan maksimum diperoleh tidak memiliki pola tertentu, modulus tarik meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan serat hingga 30 %vol kemudian turun pada kandungan serat 40 %vol, hampir semua spesimen mengalami patah tunggal disertai tercabutnya serat dari matrik.

KATA PENGANTAR



Alhamdu lillahi rabbil 'alaamin. Puji syukur pada Dzat Yang Maha 'Alim yang Maha Mengetahui segalanya, yang senantiasa melimpahkan nikmat kesempatan kepada hamba-Nya untuk bertafakur. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Agung Muhammad Saw, Sang Reformator Dunia.

Proyek penelitian yang berjudul Pengaruh 'Perlakuan Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Material Komposit Serat Ijuk Lokal Unidireksional Bermatrik Polimer sudah terlaksana, dengan serapan dana 100% sampai sementara kegiatan seminar internasional serta penulisan dan pengiriman naskah publikasi di jurnal internasional masih akan terus berjalan smpai menjelang akhir tahun 2016 ini. Hal ini karena keterbatasan penerimaan dana penelitian, yang baru diterima tim peneliti pada 22 Agustus 2016.

Pencapaian target ini tak lepas dari dukungan dari berbagai pihak, baik kolega internal maupun eksternal UMY. Ijinkan kami, Tim Peneliti, menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. DRPM Dikti yang merupakan penyandang dana penelitian ini.
2. Bapak-bapak Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dekan Fakultas Teknik, Ketua LP3M beserta teman sejawat, Teknisi dan Staf di lingkungan UMY, serta asisten dan mahasiswa yang telah membantu pembuatan spesimen dan pengumpulan data.
3. Bapak Kepala Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTBA LIPI) Yogyakarta beserta Teknisi dan Staf yang telah berkenan memberikan pelayanan pengambilan foto SEM sampel kami.

Penulis menyadari adanya keterbatasan dalam penelitian ini, sehingga segala bentuk kritik, saran dan komentar yang konstruktif akan sangat dihargai.

Yogyakarta, 30 November 2016

Ketua Tim Peneliti

Sudarisman, Drs., M.S., Ph.D.

DAFTAR ISI

BAB	HALAMAN
HALAMAN SAMPUL.....	1
HALAMAN PENGESAHAN	2
RINGKASAN	3
PRAKATA.....	4
DAFTAR ISI	5
DAFTAR TABEL.....	6
DAFTAR GAMBAR.....	6
DAFTAR LAMPIRAN.....	7
1. PENDAHULUAN	8
2. TINJAUAN PUSTAKA	9
3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
4. METODE PENELITIAN	15
5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	23
5.1. Sifat-sifat Tekan	23
5.2. Sifat-sifat Tarik	27
5.3. Luaran	31
6. KESIMPULAN DAN SARAN	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	38

1. DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
Tabel 4.1. Penamaan Sampel	16

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
Gambar 2.1. Pembebanan tarik pada serat tertanam	10
Gambar 2.2. Peta-jalan penelitian	13
Gambar 4.1. Rancangan penelitian	15
Gambar 4.2. Ijuk Aren	17
Gambar 4.3. Pencetakan plat komposit	19
Gambar 4.4. Plat komposit serat ijuk/epoksi: (a) $V_f = 10\%$, (b) $V_f = 0\%$	20
Gambar 4.5. Pemotongan plat komposit menjadi spesimen, (b) Spesimen dengan tab ...	21
Gambar 4.6. Penjepitan spesimen untuk pengujian tekan	21
Gambar 5.1. Hubungan Tegangan-Regangan Tekan	23
Gambar 5.2. Hubungan Kadar Serat-Kuat Tekan	24
Gambar 5.3. Hubungan Kadar Serat-Regangan pada Tegangan Tekan Maksimum	25
Gambar 5.4. Hubungan Kadar Serat-Modulus Tekan	26
Gambar 5.5. Moda Gagal Spesimen Uji Tekan	27
Gambar 5.6. Hubungan Tegangan-Regangan Tarik	28
Gambar 5.7. Hubungan Kadar Serat-kuat Tarik	29
Gambar 5.8. Hubungan Kadar Serat-Regangan pada Tegangan Tarik Maksimum	30
Gambar 5.9. Hubungan Kadar Serat-Modulus Tarik	31

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	HALAMAN
1. Personalia tim peneliti	39
2. Sertifikat dan makalah 1	47
3. Bukti kirim untuk presentasi dan makalah 2	54
4. Draf naskah publikasi di jurnal internasional 1	61
5. Draf naskah publikasi di jurnal internasional 2	66

BAB 1. PENDAHULUAN

Makin berkurangnya pasokan kayu oleh hutan alami, walaupun telah diiringi dengan meningkatnya pasokan oleh hutan tanaman industri (HTI) masih belum mampu memenuhi keperluan bahan baku industri perkayuan dan kertas nasional sehingga ancaman terhadap kelestarian hutan alami makin terasa berat (Masripatin, Ruffie, Ginoga, Ginting, Siregar, dan Sugardiman, 2010). Menurut Obidzinski dan Chaudury (2009), volume ekspor kayu lapis Indonesia, turun sekitar 55% dari tahun 2004 ke tahun 2006, sedangkan volume ekspor kayu gergajian turun sekitar 40% pada periode yang sama.

Di lain pihak, ijuk aren yang melimpah belum dimanfaatkan secara optimum. Lahan kebun aren di Indonesia mencapai luas sekitar 70.000 ha, yang tersebar di Kalimantan Timur seluas 17.794 ha, Kalimantan Tengah seluas 17.000 ha, Jawa Barat seluas 13.878 ha, dan sisanya tersebar di berbagai provinsi (Yusuf, Keim, Purwaningsih, Darnaedy, dan Triono, 2012), dengan Kabupaten Ciamis merupakan sentra produsen ijuk di Provinsi Jawa Barat (Pemda Jawa Barat, 2013). Sementara itu, di Jawa Tengah, Kabupaten Temanggung merupakan salah satu pusat produsen ijuk aren dengan lahan kebun aren seluas 573,93 ha (Pemkab Temanggung, 2008). Sedangkan potensi sabut kelapa nasional mencapai 9.000.000 ton per tahun (Nara, 2012).

Selama ini pemanfaatan ijuk baru sebatas untuk pembuatan sapu, tali dan material penapis bangunan instalasi resapan air (Pemda Jawa Barat, 2013; Pemkab Temanggung, 2008). Jenis serat ini belum digunakan dengan memanfaatkan potensi karakteristik mekanisnya sebagai material untuk struktur. Walaupun beberapa penelitian tentang pemanfaatan serat alami sebagai pengisi untuk material komposit telah dilakukan (Thamae dan Baillie, 2007), Sahari, dkk. (2012), Dong dan Davies (2011), namun diantara yang dilaporkan tersebut tidak ada yang meneliti tentang sifat-sifat tekan material komposit yang dihasilkan.

Dari uraian di atas, terlihat bahwa terdapat permasalahan pasokan kayu dari hutan, baik alami maupun HTI, belum mampu memenuhi permintaan industry perkayuan yang terus meningkat, sementara itu potensi serat ijuk belum dimanfaatkan secara optimum.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

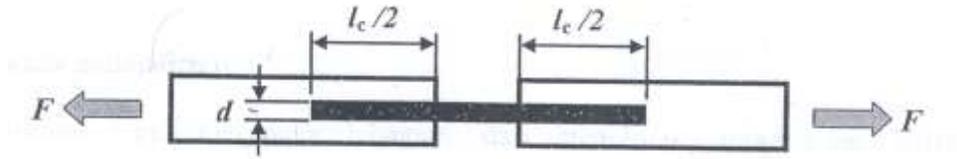
a. Penelitian terdahulu

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan serat alami sebagai pengisi (filler) untuk material komposit telah dilakukan. Thamae dan Baillie (2007) meneliti pengaruh perlakuan awal serat pandan berduri, yang akan digunakan untuk pengisi material komposit untuk *plafond*, terhadap kuat tarik serat dan rekatan antar-muka serat-matrik. Matrik yang mereka gunakan adalah HDPE, dan tidak dilaporkan adanya pengujian terhadap material komposit yang dihasilkan. Sahari, dkk. (2012) meneliti sifat fisis dan kimiawi serat dari beberapa bagian pohon aren, tanpa ada perlakuan alkali dan pembuatan material komposit. Dong dan Davies (2011) meneliti tentang pemanfaatan serat pohon gandum yang terdistribusi secara acak sebagai pengisi material komposit berbasis poliester. Tidak dijelaskan apakah dilakukan perlakuan awal atau tidak, sedangkan sifat mekanis yang diuji adalah sifat-sifat lenturnya.

Sementara itu, Ramadhan (2011), Sudarisman, dkk. (2013), dan Febrianto(2013), meneliti tentang pengaruh perlakuan alkali terhadap kuat geser rekatan beberapa jenis serat alami dengan beberapa jenis matrik yang berbeda. Namun demikian, dari penelitian-penelitian tersebut tidak ada yang mengkaji tentang pengaruh perlakuan pendahuluan terhadap karakteristik tekan komposit yang dihasilkan, sehingga banyak parameter kegagalan elemen yang menerima beban tekan yang belum dapat dijelaskan detail, termasuk mekanisme transfer beban yang terjadi pada antar muka serat-matrik. Dengan demikian, diperlukan kajian tentang pengaruh perlakuan serat terhadap morfologi serat dan transfer beban yang telah dilaksanakan pada tahun pertama proyek penelitian ini. Selanjutnya hasil yang tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan naik –turunnya kuat tekan dan tarik serta mekanisme kegagalannya (*failure mechanism*).

b. Rekatan pada antar-muka serat-matrik

Perlakuan pendahuluan dimaksudkan untuk modifikasi permukaan serat, sehingga diperoleh rekatan antar-muka serat-matrik yang baik untuk menjamin terjadinya transfer beban yang efektif. Rekatan pada antar-muka serat-matrik dapat berupa perekatan difusi (*diffusion bonding*), perekatan kimiawi (*chemical bonding*), atau penguncian mekanis (*mechanical locking*).



Gambar 2.1. Pembebanan tarik pada serat tertanam

Bila sehelai serat yang tertanam di dalam matrik menerima pembebanan tarik (Gambar 2.1), maka dalam keadaan setimbang besar gaya tarik yang bekerja pada penampang serat akan sama dengan besar gaya geser yang bekerja pada satu sisi permukaan antarmuka serat-matrik, yang secara matematis dinyatakan

$$\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sigma_f = \pi \cdot d \cdot \frac{l_c}{2} \cdot \tau_i \quad (\text{N}) \quad (1)$$

dengan: d = diameter serat (mm)

l_c = panjang kritis = panjang serat tertanam pada kedua sisinya (mm)

σ_f = kuat tarik serat (MPa)

τ_i = kuat geser antar-muka serat-matrik (MPa)

Dengan demikian, agar serat tercabut dari matrik (*fiber pull-out*), maka nilai ruas kanan pada persamaan (1) harus lebih kecil nilai ruas kirinya, sehingga akan diperoleh

$$\frac{l_c}{2} \leq \frac{4 \cdot \tau_i}{d \cdot \sigma_f} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

Bila serat tercabut, maka kuat geser rekatan antar-muka serat-matrik dapat dihitung dengan persamaan (3) berikut

$$\tau_i = \frac{F}{\pi d \cdot l} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

dengan: F = beban maksimum (N)

d = diameter serat (mm)

l_c = panjang serat yang tertanam (mm)

Sedangkan bila serat putus maka tidak diperoleh kuat geser rekatan antar-muka serat-matrik, tetapi akan diperoleh kuat tarik seratnya.

c. Perilaku tekan dan tarik material komposit

Wonderly, dkk. (2005) dan Hamada, dkk.(1992) melaporkan bahwa kuat tekan material komposit serat pada umumnya lebih rendah dari pada kuat tariknya. Sementara itu, tidak terdapat hubungan antara kuat tarik dengan kuat tekan material komposit. Misalnya, serat karbon berkualitas menengah memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat kaca, tetapi kekuatan tekan material komposit bermatrik polimer yang dihasilkan untuk kadar serat yang sama lebih rendah, yang dapat disebabkan oleh perbedaan struktur mikro gelas (kristalin) dan karbon (amorfos) (Lee dan Waas, 1999). Oleh karena itu, karakteristik tekan dan tarik material komposit berserat ijuk perlu diuji karena kekhususan karakteristiknya tersebut. Untuk komposit CFRP pada umumnya, moda gagal pembebanan tekan berupa tekukan setempat (*local buckling*) yang kemudian diikuti oleh *kinking* (Lee dan Waas, 1999; Lee, dkk., 2000) yang sangat ditentukan tingkat kesearahan seratnya (Budianski dan Fleck, 1993; Budianski, dkk., 1998) dan kuat luluh geser komposit tersebut (Budianski, dkk., 1998).

Berkaitan dengan moda gagal tekan material komposit, Lee dan Waas (Lee dan Waas, 1999; Lee dan Waas, 2000) melaporkan bahwa pada V_f yang rendah, sampai dengan 30%, komposit GFRP unidireksional yang mengalami pembebanan tekan mengalami kegagalan dengan pembelahan (*splitting*), sedangkan pada V_f yang lebih tinggi mengalami kegagalan dengan kombinasi antara pembelahan dan *kinking*. Penelitian oleh Yerramalli dan Waas (2003) juga menunjukkan hasil yang sama untuk material komposit serat kaca E /vinilester untuk pembebanan kombinasi tekan dan geser. Selain itu, Yerramalli dan Waas juga menemukan bahwa kuat tekan turun seiring dengan naiknya besar gaya geser. Komposit bermatrik serat alami sangat besar kemungkinannya memiliki moda gagal yang berbeda.

d. Kekuatan, Regangan Patah dan Modulus Elastisitas

Dari hasil pengujian yang berupa data numerik dan grafik, pada grafiknya kemudian dilakukan ‘toe compensation’ untuk memperoleh perubahan panjang yang sesungguhnya dari spesimen uji. Selanjutnya besarnya kekuatan, regangan patah, dan modulus elastisitas tekan dan tarik dapat dihitung dengan persamaan-persamaan (4) sampai dengan (6) berikut.

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_i} \quad (\text{mm/mm}) \quad (5)$$

$$E = \frac{\Delta F L_i}{\Delta \delta A} \quad (\text{MPa}) \quad (6)$$

dengan: σ = kuat tekan atau tarik (MPa)

F_{\max} = gaya tekan atau tarik maksimum (N)

A = luas penampang spesimen (mm^2)

ε = regangan patah (mm/mm)

δ = perubahan panjang spesimen (mm)

L_i = panjang awal spesimen (mm)

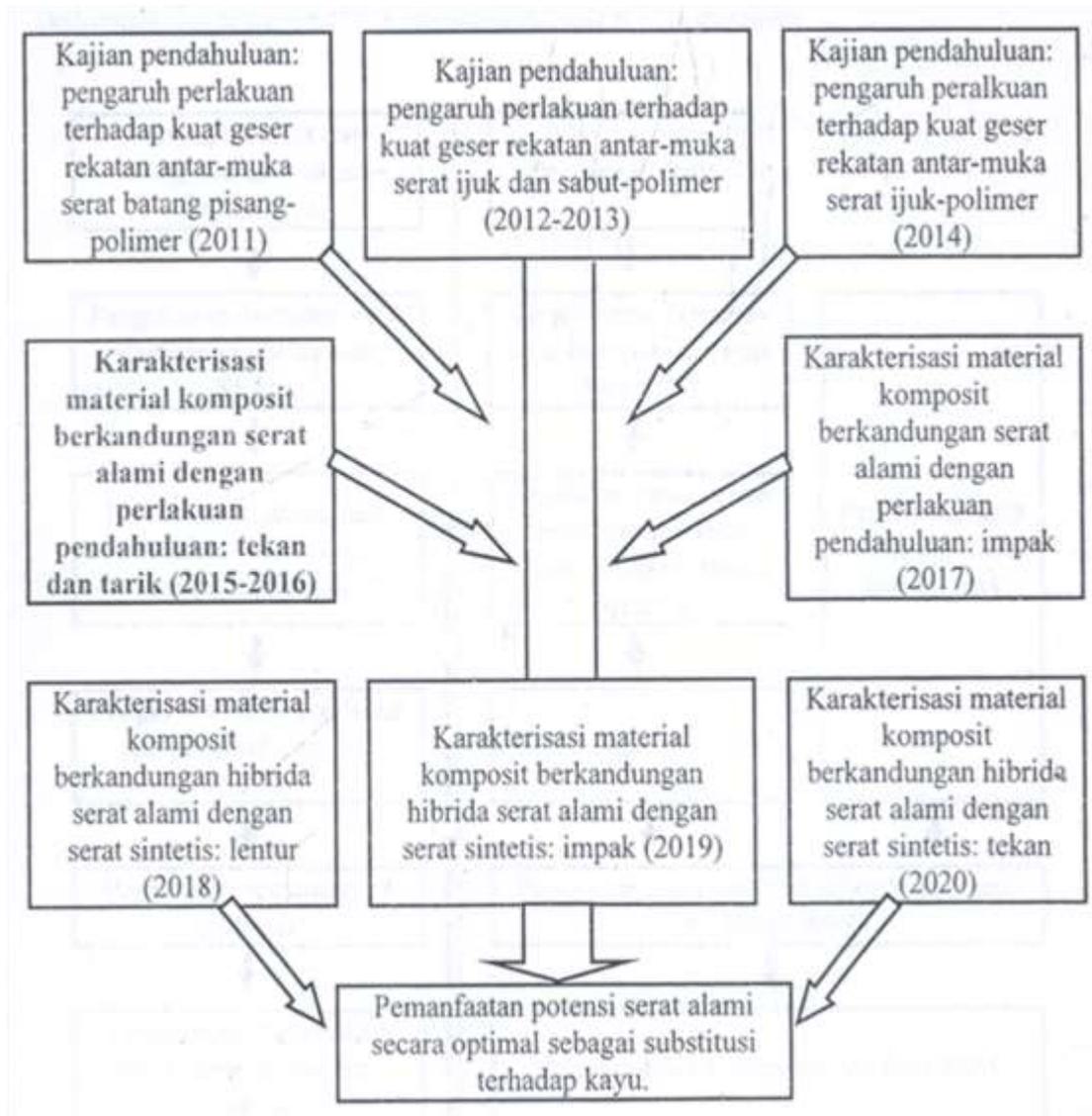
E = modulus elastisitas (MPa)

ΔF = interval besar gaya tekan atau tarik antara dua titik amatan di pangkal grafik lurus pada grafik F - δ (N)

$\Delta \delta$ = perubahan panjang spesimen antara dua titik amatan di pangkal grafik lurus pada grafik F - δ (mm)

e. Peta-jalan Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian induk yang berjudul “Pengembangan komposit yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan serat alami lokal”. Dengan penelitian ini diharapkan permintaan kayu alami dari perusahaan perkayuan bisa dikurangi dengan substitusi oleh material komposit berpenguat serat alami terhadap sebagian kebutuhan kayu alami. Dengan demikian serat alami yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal dan potensi sumber daya hutan yang sangat dibutuhkan oleh kehidupan dapat lebih dihemat. Adapun peta jalan penelitian ini selengkapnya disajikan pada Gambar 2.2 pada halaman berikut.



Gambar 2.2. Peta-jalan penelitian

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT

a. Tujuan

Dengan substitusi material komposit berpenguat serat ijuk dan bermatrik polimer pada kayu untuk keperluan industri perkayuan diharapkan permasalahan tentang keterbatasan pasokan kayu dapat diatasi. Dengan demikian kelestarian sumber daya hutan alami yang merupakan paru-paru dunia akan dapat dipertahankan. Sedangkan secara spesifik tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui:

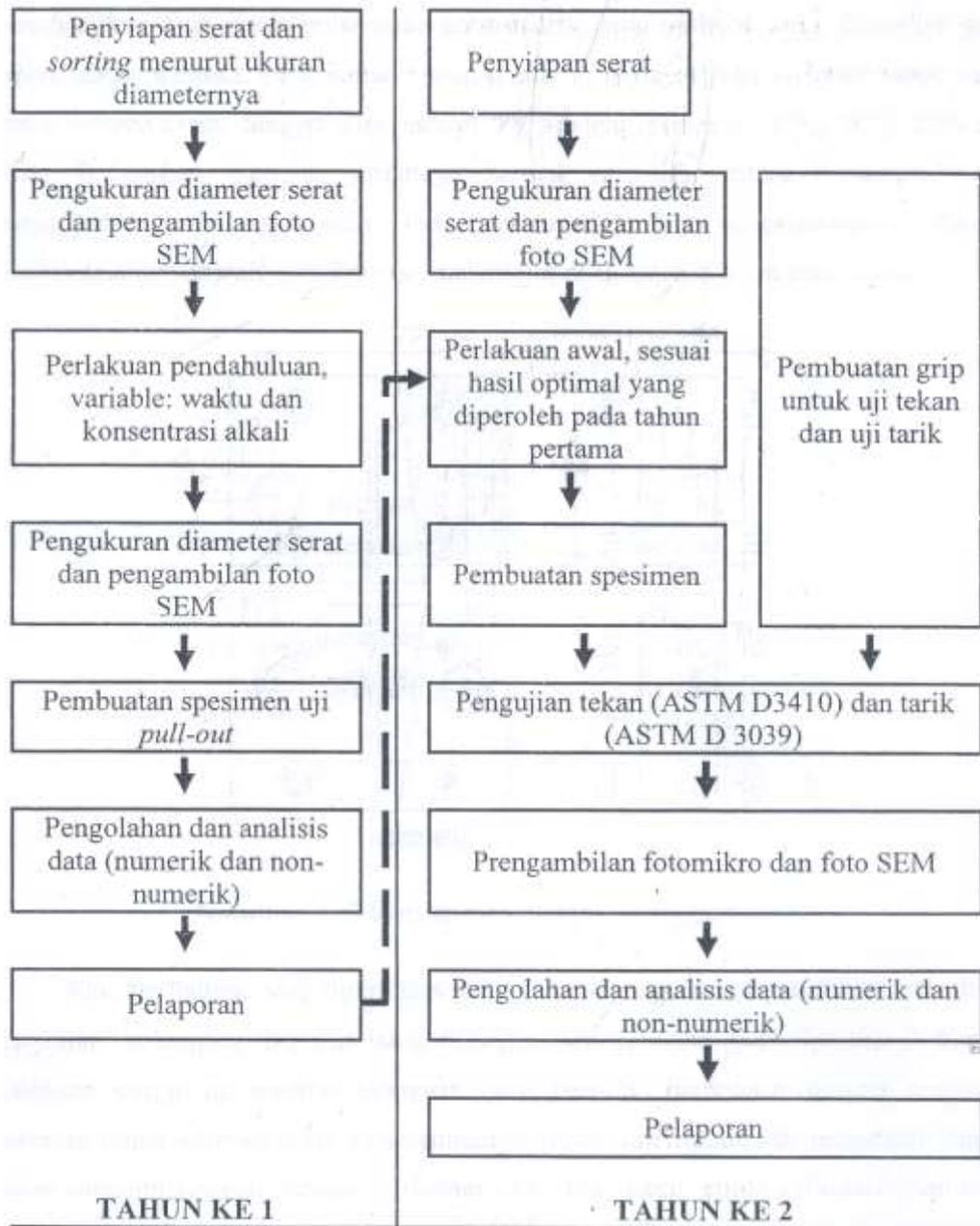
1. Pengaruh perlakuan pendahuluan terhadap morfologi serat, terutama permukaannya yang merupakan bidang kontak antara serat dengan matrik.
2. Pengaruh morfologi serat terhadap kuat geser rekatan antar-muka serat-matrik yang merupakan faktor penting dalam transfer beban pada material komposit.
3. Pengaruh kadar serat terhadap kuat tekan dan kuat tarik material komposit berserat ijuk local unidireksional bermatrik polimer
4. Moda dan mekanisme kegagalan (*failure mode dan failure mechanism*) yang terjadi akibat pembebanan tekan dan pembebanan tarik.

Tujuan pertama dan kedua merupakan fokus penelitian pada tahun pertama dan hasilnya telah diperoleh. Selanjutnya untuk tahun kedua ini fokus penelitian adalah untuk mencapai tujuan yang ketiga dan keempat.

b. Manfaat Penelitian

1. Dengan diketahuinya pengaruh perlakuan alkali terhadap morfologi serat maka dapat dilakukan modifikasi permukaan serat untuk memperoleh kuat geser antar-muka serat-matrik yang optimal.
2. Bila kuat geser antar-muka serat-matrik yang optimal dapat diperoleh maka transfer beban dari matri ke serat dan sebaliknya dapat diperoleh secara optimal pula sehingga sifat mekanis komposit yang dihasilkan akan dapat ditingkatkan.
3. Dengan diketahuinya perilaku mekanis antar-muka serat-matrik maka akan dapat dioptimalkan mekanisme transfer beban dari matrik ke serat, distribusi beban dari suatu serat ke serat di sekitarnya melalui matrik, serta diantisipasi kegagalannya.

BAB 4. METODE PENELITIAN



Gambar 4.1. Rancangan penelitian

Sebagian besar kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, yang meliputi persiapan serat, perlakuan pendahuluan, pembuatan spesimen uji *fiber pull-out*, penyiapan spesimen untuk pengambilan foto mikro, pengambilan foto mikro, penyiapan spesimen untuk pengambilan

foto SEM, pengolahan dan analisis data, serta penyusunan laporan penelitian. Pengujian *fiber pull-out* dan pengambilan foto SEM dilaksanakan berturut-turut di Universitas Gajah Mada Yogyakarta dan di Universitas Sebelas Maret Surakarta. Rancangan penelitian untuk dua tahun masa penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Pada tahun pertama kajian difokuskan pada mencari parameter perlakuan pendahuluan yang menghasilkan kuat rekatan antar-muka serat-matrik yang optimal. Serat yang dipilih adalah serat ijuk karena tingkat kekakuannya yang tinggi, sedangkan matrik yang dipilih adalah poliester dan epoksi. Variabel bebas yang pertama dalam penelitian tahun pertama adalah kadar alkali dalam larutan perendam pada perlakuan pendahuluan, sehingga diperoleh kombinasi antara kadar alkali dengan waktu perendaman yang menghasilkan kuat rekatan antar muka yang optimal. Ringkasannya disajikan pada Tabel 4.1 di bawah.

Tabel 4.1. Penamaan sampel

Variabel Bebas		3. Diameter serat			
		4. Matrik poliester		4. Matrik epoksi	
		Kecil	Besar	Kecil	Besar
1. Kadar alkali dalam larutan perendam (wt%), waktu perendaman 2 jam	0	AKPE 1	ABPE 1	AKEP 1	ABEP 1
	2,5	AKPE 2	ABPE 2	AKEP 2	ABEP 2
	5	AKPE 3	ABPE 3	AKEP 3	ABEP 3
	7,5	AKPE 4	ABPE 4	AKEP 4	ABEP 4
2. Lama waktu perendalaman (jam), kadar alkali larutan 5 wt%	0	WKPE 1	WBPE 1	WKEP 1	WBEP 1
	2	WKPE 2	WBPE 2	WKEP 2	WBEP 2
	4	WKPE 3	WBPE 3	WKEP 3	WBEP 3
	6	WKPE 4	WBPE 4	WKEP 4	WBEP 4

Catatan: A = kadar alkali, W = waktu, K = kecil, B = besar, PE = poliester, EP = epoksi
Yang di *highlight* dengan warna yang sama adalah spesimen yang sama.

Kuat geser rekatan antar-muka serat-matrik diperoleh melalui uji fiber pull-out. Uji *fiber pull-out* diadopsi dari yang digunakan oleh Redon, dkk. (2001) untuk serat PVA. Bahan dan alat yang diperlukan sebagaimana yang terinci pada Perincian biaya penelitian, sedangkan kegiatan yang dilakukan sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1.

Untuk tahun yang kedua ini kajian terfokus pada pengaruh kadar serat terhadap kuat tekan dan kuat tarik serta moda gagal sampel material komposit. Terdapat dua variabel bebas dan satu variabel terikat pada penelitian tahun kedua ini. Variabel bebas yang pertama adalah kadar serat yang terdiri atas lima variasi, yakni 0 vol% sebagai referensi, 10, 20, 30 dan 40 vol%. Variabel bebas yang kedua jenis matrik yang terdiri atas dua jenis yakni Eposchon Bisphenol A-epichlorohydrin resin epoksi yang dikombinasikan dengan Eposchon Polyaminoamide *hardener* epoksi dengan perbandingan campuran 1:2 seperti yang direkomendasikan oleh produsennya. Variabel terikat yang pertama adalah sifat mekanis yang terdiri atas dua sifat, yakni sifat-sifat tekan dan sifat tarik yang masing-masing terdiri atas kekuatan, regangan patah, modulus elastisitas, dan moda gagal.

a. Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Serat ijuk aren yang diperoleh langsung dari pohonnya yang banyak tumbuh di daerah pegunungan. Serat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari daerah pegunungan Menoreh, tepatnya dusun Nglinggo, desa Pagerharjo, kecamatan Samigaluh, kabupaten Kulonprogo. Serat ijuk ini, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, merupakan bahan utama yang menjadi obyek kajian.



Gambar 4.2. Ijuk Aren

2. Sebagai matrik dipilih dari yang mudah diperoleh, poliester dan epoksi. Matrik ini berfungsi sekaligus sebagai *holder* untuk serat pada spesimen pengujian fiber pull-out.
3. Alkali (NaOH) digunakan untuk membersihkan kotoran yang mungkin menyelimuti permukaan serat agar diperoleh rekatan yang kuat pada antar-muka serat-matrik.
4. Lakban, digunakan untuk penyekat antara poliester atau epoksi dengan cetaknya.
5. *Gelcoat release agent*, digunakan untuk melapisi permukaan lakban tidak merekat dengan lakban dan mudah dilepaskan dari cetakan.

6. Penyekat elastis, dalam penelitian ini digunakan karet penghapus. Penyekat ini berfungsi sebagai penutup ujung-ujung cetakan dan pelindung bagian serat tang menjadi obyek penelitian dari kontak dengan matrik pasangannya.
7. Kertas karton, digunakan untuk menjaga posisi kedua *holder* tetap kaku dan serat tetap terjaga ketepatan posisinya dan tidak patah sampai dengan akan dilakukan penarikan pada mesin uji tarik.
8. Lem, digunakan untuk merekatkan kertas karton pada spesimen.
9. Kertas label, digunakan untuk memberi tanda pada specimen yang diperlukan dalam pengambilan datanya.
10. Kertas amplas, digunakan untuk merapikan specimen setelah dikeluarkan dari cetakan, dan juga untuk membersihkan cetakan ketika akan digunakan kembali.
11. Alat tulis dan kantor, yang diperlukan untuk pencatatan dan perekaman data.

b. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tahun kedua ini meliputi:

1. Bejana perendam, digunakan untuk merendam serat ijuk aren dalam tahap perlakuan awalnya.
2. Cetakan-tekan lengkap dengan alat penekannya, digunakan untuk mencetak plat komposit yang selanjutnya akan dipotong menjadi specimen.
3. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang material yang digunakan, baik air, NaOH, serat ijuk, resin poliester, katalis, resin epoksi, maupun pengeras epoksi (*epoxy hardener*).
4. Gunting dan pisau (*cutter*), digunakan untuk memotong material yang diperlukan.
5. Mistar sorong, digunakan untuk mengukur dimensi spesimennya.
6. Mesin potong keramik, digunakan untuk memotong plat komposit menjadi specimen dengan ukuran sesuai dengan standar
7. Mesin uji universal lengkap dengan penjepit untuk uji tekan dan uji tarik, digunakan untuk pengujian tekan dan pengujian tarik.
8. Mikroskop optik, digunakan mengambil foto mikro seratnya yang diperlukan untuk pengukuran luas penampang serat dan kelilingnya, maupun untuk mengetahui kualitas rekatan yang terjadi pada antar-muka serat-matrik.

9. Mesin SEM, diperlukan untuk pembuatan foto SEM guna mengetahui detail morfologi seratnya, terutama permukaan serat, baik sebelum perlakuan, setelah perlakuan, maupun setelah pengujian serta moda patah spesimen tekan maupun tarik.
10. Perangkat lunak terbuka (*open source software*) imageJ, digunakan untuk analisis foto mikro maupun foto SEM.
11. Komputer dan laptop, digunakan untuk merancang penjepit pada pengujian, pengolahan data dan pengetikan laporan.

c. Pencetakan Plat Komposit



Gambar 4.3. Pencetakan plat komposit

Cetakan yang akan digunakan dipersiapkan dengan memasang '*release film*' yang telah diolesi dengan '*release agent*' untuk mempermudah melepaskan plat hasil cetakan dari cetakkannya. Ijuk aren yang telah mengalami penyortiran menurut ukuran diameternya dan mengalami perlakuan awal, kemudian dipotong menurut ukuran panjang spesimen yang diperlukan. Ijuk tersebut kemudian disusun pada cetakan bawah dengan diikat menggunakan *double tape* sehingga tersusun secara unidireksional. Matrik epoksi atau polyester, sesuai dengan yang akan dibuat, dipersiapkan dalam bejana. Setelah resin dengan hardener untuk epoksi atau resin dengan katalis untuk polyester tercampur dengan merata, maka secara pelan dituangkan pada susunan serat dalam cetakan bawah. Coran kemudian dirol untuk meratakan permukaannya dan mengeluarkan gelembung udara (*void*) yang



Gambar 4.4. Plat komposit serat ijuk/epoksi: (a) $V_f = 10\%$, (b) $V_f = 0\%$.

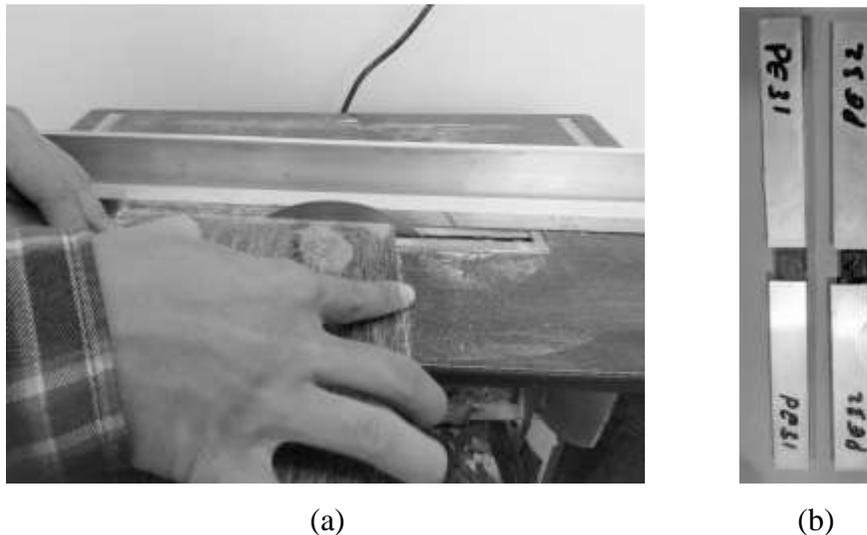
kemungkinan terperangkap. Ditunggu beberapa waktu sampai membentuk gel, baru kemudian dipasang cetakan atas yang telah dipasang *release film* yang telah diolesi dengan *release agent*.

Selanjutnya, untuk luasan plat $\sim 200\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ diaplikasi gaya tekan sebesar $\sim 80\text{-}90\text{ kN}$ yang diperoleh dari gaya tekan dongkrak hidrolis dan dilipatkan dengan tuas, seperti terlihat pada alat pres cetakan pada Gambar 4.3. Ditunggu sampai terjadi konsolidasi yang cukup, sekitar ~ 20 jam untuk yang bermatrik epoksi dan ~ 4 jam untuk yang bermatrik poliester, baru kemudian plat hasil cetakan dikeluarkan. Dari pencetakan diperoleh seperti terlihat pada Gambar 4.4 di atas.

d. Pembuatan Spesimen

Plat yang telah diberikan perlakuan pasca curing (*post curing*) kemudian digaris-garis, diberi label, dan dipotong, dengan alat pemotong keramik yang berputar dengan $\sim 6000\text{ rpm}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5(a), sesuai dengan standar ASTM D3410 untuk pengujian tekan dan ASTM D3039 untuk pengujian tarik untuk dibuat specimen. Sisi-sisi bekas pemotongannya diampas secara memanjang untuk menghilangkan *edge effect* akibat tegangan sisa dari proses pemotongan. Spesimen tersebut kemudian dipasang tab aluminium yang tebalnya $\sim 0,55\text{ mm}$ dengan cara dilem menggunakan epoksi, kemudian

dipres sampai terjadi konsolidasi yang sempurna (Gambar 4.5 (b)). Sebelum dilakukan pengujian, spesimen-spesimen tersebut diukur dimensinya.



Gambar 4.4. Pemotongan plat komposit menjadi spesimen, (b) Spesimen dengan tab.

e. Pengujian Mekanis

Pengujian fiber tekan dan tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik



Gambar 4.6. Penjepitan spesimen untuk pengujian tekan.

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan mesin uji universal dengan laju pergeseran kepala silang 2 mm/menit. Pencekaman spesimen yang siap diujitekan ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Dari pengujian ini diperoleh beban maksimum yang dapat diterima oleh setiap spesimen, dan grafik hubungan antara beban dengan pergeseran kepala silang. Dari pengujian ini diperoleh data tentang beban maksimum, pergeseran maksimum kepala silang, dan grafik hubungan antara beban dengan pergeseran kepala silang (grafik hubungan $F - \delta$). Grafik ini digunakan untuk menghitung besarnya modulus elastisitas, dan untuk analisis proses terjadinya kegagalan.

f. Pengukuran Luas Penampang Tekan/Tarik Spesimen

Luas penampang spesimen uji tekan dan uji tarik dilakukan dengan menggunakan mistar sorong dengan ketelitian 0,05 mm.

g. Moda Gagal

Moda gagal specimen diperoleh dari analisis fotomakro spesimen yang telah diuji sampai mengalami kegagalan (*failure*). Permukaan dan morfologi di sekitar patahan diamati dengan teliti dan saksama sehingga dapat diperoleh moda patahan yang terjadi.

h. Analisis Data Numerik

Kuat tekan dan tarik, regangan patah tekan dan tarik, serta modulus elastisitas tekan dan tarik diperoleh dengan menghitung menggunakan persamaan-persamaan (4) sampai dengan (6) berdasar pada data yang diperoleh dari hasil pengujian mekanis. Penghitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel 2010.