KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK BIO – KOMPOSIT DENGAN FILLER CANGKANG TELUR MENGGUNAKAN ALAT UJI UNIVERSAL TESTING MACHINE

SKRIPSI



Disusun Oleh:

Aulia Rahil Asy Syaidah 3331200075

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA CILEGON-BANTEN 2024

KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK BIO – KOMPOSIT DENGAN FILLER CANGKANG TELUR MENGGUNAKAN ALAT UJI UNIVERSAL TESTING MACHINE

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana S1 Pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Disusun Oleh:

Aulia Rahil Asy Syaidah 3331200075

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA CILEGON-BANTEN 2024 No: 124/UN.43.3.1/PK.03.09/2024

TUGASAKHIR

Karakteristik Sifat Mekanik Bio-Komposit Dengan Filler Cangkang Telur Menggunakan Alat Uji Universal Testing Machine

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Aulia Rahil Asy Syaidah 3331200075

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal, 16 Agustus 2024

Pembimbing Utama

AR.

Erny Listijorini, S.T., M.T NIP: 197011022005012001

My

Anggota Dewan Penghji

.

60

Dr. Dwinanto, ST., MT. NIP.198301122008121001

Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT. NIP.198902262015041002

in

<u>Sidik Susilo, S.T., M.Sc.</u> NIP. 198806052019031006

191

NIP: 197011022005012001 A De Com

Listijorini, S.T., M.T

Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT. NIP. 198902262015041002

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

> Tanggal, 10 Januari 2025 Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA ULTASTENNI Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng. NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Aulia Rahil Asy Syaidah

NPM : 3331200075

Judul : Karakterisasi Sifat Mekanik Bio – Komposit Dengan Filler Cangkang Telur Menggunakan Alat Uji Universal Testing Machine

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Februari 2024

Aulia Rahil Asy Syaidah NPM. 3331200075

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala, yang atas rahmat dan karunia-Nya, saya berhasil menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "Karakterisasi Sifat Mekanik Bio – Komposit Dengan Filler Cangkang Telur Menggunakan Alat Uji Universal Testing Machine (UTM)" dengan baik. Saya sadar sepenuhnya bahwa tanpa bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, pencapaian ini tidak akan terwujud. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

- Terima kasih diucapkan kepada Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., yang menjabat sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, atas dorongan dan sokongan yang berharga bagi penulis.
- Penghargaan disampaikan kepada Ibu Erny Listijorini, S.T., M.T., yang bertindak sebagai Dosen Pembimbing I, atas motivasi, bimbingan, serta pengorbanan waktu, tenaga, dan pemikiran dalam pengembangan proposal tugas akhir ini.
- Selanjutnya, penghargaan juga dialamatkan kepada Bapak Haryadi, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing akademik, yang memberikan bimbingan mulai dari tahap awal hingga penyusunan skripsi.
- 4. Ucapan terima kasih tertuju kepada seluruh Dosen dan Staf Akademik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, atas kontribusi ilmiah, bantuan, dan arahan yang diberikan sepanjang masa perkuliahan.
- 5. Penulis ingin menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Bapak Sucahyono dan Ibu Krisna Hastuti, sebagai orang tua penulis. Proposal tugas akhir ini ditujukan sebagai ungkapan terima kasih kepada keduanya, yang memiliki peranan penting dalam kehidupan penulis.
- 6. Penghargaan juga disampaikan kepada Akhmad Ryandeka Efendi dan Siti Dara Fahma, yang merupakan sahabat terdekat penulis, yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

- Tidak lupa, terima kasih kepada Intan Nazwa dan Fitri Sri Devi, sahabat terdekat penulis, yang senantiasa mendampingi dalam perjalanan seharihari untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
- Ucapan terima kasih juga kepada rekan mahasiswa dari angkatan 2020 di Jurusan Teknik Mesin, yang memberikan semangat dan motivasi selama perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini dengan baik.
- 9. Untuk yang terkasih, penulis mengucapkan

Penulis berharap agar Allah Subhanahu Wa ta'ala memberikan balasan yang setimpal atas segala kebaikan yang telah diberikan oleh semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca serta berkontribusi pada perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan.

Cilegon, Januari 2024

Penulis

ABSTRAK

Karakterisasi Sifat Mekanik Bio – Komposit Dengan Filler Cangkang Telur Menggunakan Alat Uji UTM

Disusun Oleh:

Aulia Rahil Asy Syaidah 3331200075

Perkembangan teknologi material memainkan peran penting dalam menciptakan solusi yang sesuai dengan kebutuhan di berbagai sektor, termasuk industri otomotif. Salah satu aplikasi menarik adalah penggunaan material komposit berbasis karet alam pada battery holder kendaraan listrik. Perkembangan teknologi material telah menghasilkan berbagai inovasi, termasuk penggunaan material komposit. Komposit ini dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan material tertentu, terutama sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan daripada plastik konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi filler berupa serbuk cangkang telur ayam dan sulfur terhadap sifat mekanik material komposit. Sampel komposit dibuat dengan metode pencampuran bahan matriks, termasuk karet alam, sulfur, ZnO, dan asam stearat. Variasi filler serbuk cangkang telur dilakukan pada tingkat 55%, 60%, dan 65%. Uji tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi komposisi filler memiliki dampak signifikan pada sifat mekanik material komposit. Nilai optimum ditemukan pada spesimen dengan filler sebesar 60%, tekanan hot press sebesar 30 MPa, temperatur hot press sebesar 160°C, dan waktu hot press selama 60 menit.

Kata Kunci: Cangkan Telur Ayam, Komposit, Uji Tarik, Sifat Mekanik

ABSTRACT

Characterisation of Mechanical Properties of Bio-Composites with Eggshell Filler Using UTM Test Equipment

Arranged By:

Aulia Rahil Asy Syaidah 3331200075

The development of materials technology plays an important role in creating solutions that suit the needs of various sectors, including the automotive industry. One interesting application is the use of natural rubber-based composite materials in electric vehicle battery holders. The development of material technology has resulted in various innovations, including the use of composite materials. These composites are specifically designed to meet specific material needs, especially as a more environmentally friendly alternative to conventional plastics. This study aims to analyse the effect of variation in filler composition in the form of chicken eggshell powder and sulfur on the mechanical properties of composite materials. Composite samples were prepared by mixing matrix materials, including natural rubber, sulphur, ZnO, and stearic acid. The variation of eggshell powder filler was carried out at the level of 55%, 60%, and 65%. Tensile tests were conducted using a Universal Testing Machine. The test results showed that variation in filler composition had a significant impact on the mechanical properties of the composite material. The optimum value was found in the specimen with 60% filler, hot press pressure of 30 MPa, hot press temperature of 160°C, and hot press time of 60 minutes.

Keywords: Chicken Egg Shell, Composite, Tensile Test, Mechanical Properties

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHANiii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iiv
KATA PENGANTARv
ABSTRAK
DAFTAR ISIix
DAFTAR GAMBARxi
DAFTAR TABEL
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3Tujuan Penelitian
1.4Batasan Masalah2
1.5Manfaat Penelitian
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 State of The Art
2.2 Cangkang Telur Ayam
2.3 Komposit
2.4 Karet Alam
2.5 Sifat Mekanik Komposit
2.5.1 Stiffness
2.5.2 Elasticity 15
2.6 ASTM D638 Section V 15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Diagram Alir Penelitian
3.2 Alat dan Bahan
2.2.1 Alat
2.2.2 Bahan
3.3 Variabel Pengujian

3.4 Prosedur Penelitian	29
3.4.1 Preparasi Sampel	29
3.4.2 Pembuatan Sampel	30
3.4.3 Pemotongan Sampel	32
3.4.4 Pengujian Sampel	35
3.4.5 Prosedur Uji Tarik	35
3.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	37
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Proses Pembuatan Sampel Papan Partikel Bio-Komposit	38
4.2 Sampel Komposit	40
4.3 Hasil Uji Tarik Papan Partikel Menggunakan Alat Uji UTM	41
4.4 Analisa Hasil Pengujian Sifat Mekanik Uji Tarik Dengan UTM	48
4.5 Komparasi Dengan Nilai Standar Bayblend	60
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Worlwide Egg Production Between 2000 and 20187
Gambar 2.2 The Nutritional Composition of Chicken Egg Shells
Gambar 2.3 Composites Properties
Gambar 2.4 Schematic Representation of Composites
Gambar 2.5 Compositions of Field Latex
Gambar 2.6 Tensile Properties of Nanocomposites Sample and Pure Epoxy 13
Gambar 2.7 The Mechanical Properties of ABS 13
Gambar 2.8 Dimensi ASTM D638 Sect.V (1) 16
Gambar 2.9 Dimensi ASTM D638 Sect.V (2) 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian
Gambar 3.2 Oven
Gambar 3.3 Mesin <i>Hotpress</i>
Gambar 3.4 Mesin Coldpress
Gambar 3.5 Cetakan Papan Partikel
Gambar 3.6 Mesin UTM MTS Landmark 100 kN 25
Gambar 3.7 Eggshell Powder
Gambar 3.8 Sulfur
Gambar 3.9 ZnO
Gambar 3.10 Stearic Acid 27
Gambar 3.11 Latex Rubber
Gambar 3.12 Preparasi Sampel
Gambar 3.13 Pembuatan Sampel
Gambar 3.14 Mempersiapkan Mesin Water Jet Cutting
Gambar 3.15 Melakukan Input Dimensi Pada Mesin Cutting 33
Gambar 3.16 Meletakan Spesimen Pada Pelat Cutting
Gambar 3.17 Proses Pemotongan
Gambar 3.18 Spesimen Potong ASTM D638 Section V 34
Gambar 3.19 Pemasangan Spesimen Pada Capit UTM

Gambar 3.20 Proses Uji Tarik dengan Mesin UTM	36
Gambar 3.21 Spesimen Uji Setelah Dilakukan Uji Tarik	37
Gambar 4.1 Spesimen A1	42
Gambar 4.2 Spesimen A2	43
Gambar 4.3 Spesimen A3	44
Gambar 4.4 Spesimen B1	44
Gambar 4.5 Spesimen B2	45
Gambar 4.6 Spesimen B3	46
Gambar 4.7 Spesimen C1	46
Gambar 4.8 Spesimen C2	47
Gambar 4.9 Spesimen C3	48
Gambar 4.10 Nilai Optimum	53
Gambar 4.11 SN Ratio	53
Gambar 4.12 Grafik UTS Terhadap Variasi Komposisi Filler	54
Gambar 4.13 Grafik Yield Stress Terhadap Variasi Komposisi Filler	55
Gambar 4.14 Grafik Modulus Young Terhadap Variasi Komposisi Filler	56
Gambar 4.15 Grafik Strain Terhadap Variasi Komposisi Filler	57
Gambar 4.16 Multi – Response Optimization Problems	59
Gambar 4.17 Perbandingan Nilai Optimum Dengan Standar ABS	61

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 State of Art	4
Tabel 2.2 Standard Properties of ABS	15
Tabel 4.1 Komposisi Papan A	38
Tabel 4.2 Komposisi Papan Partikel A dalam gram	38
Tabel 4.3 Komposisi Papan B	39
Tabel 4.4 Komposisi Papan Partikel B dalam gram	39
Tabel 4.5 Komposisi Papan C	40
Tabel 4.6 Komposisi Papan Partikel C dalam gram	40
Tabel 4.7 Sampel Uji dengan Variasi Komposisi	41
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Spesimen A	48
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Spesimen B	50
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Spesimen C	51
Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Terbesar dan Terkecil Setiap Sampel	52
Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Standar Beybland dengan Nilai Hasil Uji Tar	rik. 57

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era modern ini, perkembangan teknologi telah menjadi fokus utama dalam berbagai industri, khususnya industri otomotif. Salah satu aspek penting dari kemajuan tersebut adalah inovasi dalam penyimpanan energi, yang menjadi kunci untuk keberlanjutan dan efisiensi. Baterai menjadi komponen kunci dalam sistem penyimpanan energi, dan peningkatan teknologi baterai memiliki dampak besar pada berbagai sektor. Dalam rangka mengembangkan teknologi baterai, penelitian mengenai baterai holder menjadi penting, terutama yang terfokus pada bidang material.

Hal ini mendorong upaya untuk mencari bahan ramah lingkungan yang dapat diolah kembali menjadi suatu inovasi. Salah satu bahan yang menonjol adalah cangkang telur ayam, yang tersedia dalam jumlah besar dan dapat dijadikan bahan baku untuk pembuatan bio-komposit. Dengan memanfaatkan cangkang telur ayam sebagai bahan baku untuk bio-komposit, industri otomotif dapat mengadopsi teknologi terkini dalam penyimpanan energi sambil juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan demikian, pengembangan baterai holder dari bahan ramah lingkungan seperti cangkang telur ayam dapat menjadi salah satu langkah menuju keberlanjutan dalam industri otomotif.

Selain itu, untuk meningkatkan kinerja mekanik dan daya tahan terhadap lingkungan dari papan partikel bio-komposit yang dihasilkan, karet alam dipilih sebagai matriks pengikat. Karet alam dikenal memiliki sifat-sifat yang memadai untuk digunakan sebagai matrix dalam komposit, termasuk ketahanan terhadap air.

Pengujian sifat mekanik papan partikel bio-komposit yang dihasilkan menjadi langkah krusial dalam penelitian ini. Universal Testing Machine (UTM) menjadi alat yang digunakan untuk mengukur sifat-sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan kekuatan lentur dari papan partikel tersebut. Hasil dari pengujian tersebut akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik mekanik dari bahan tersebut, yang selanjutnya dapat menjadi dasar untuk pengembangan dan penerapan lebih lanjut dalam industri.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menggali potensi pemanfaatan limbah alam dalam industri, tetapi juga untuk menghadirkan solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam pengembangan material baru untuk aplikasi teknologi baterai, yang diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas terdapat rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu bagaimana karakteristik sifat mekanik, seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan kekuatan lentur, dari papan partikel biokomposit yang dihasilkan, dan seberapa efektif bio-komposit ini dalam memenuhi kebutuhan industri, terutama dalam aplikasi teknologi baterai.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang diatas terdapat tujuan penelitian yaitu

- 1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi filler serbuk cangkang telur ayam terhadap *tensile modulus, Yield Stress, yield strains*.
- 2. Mendapatkan nilai optimum berdasarkan variasi *tensile modulus, yield Strength, yield strains.*
- 3. Mengetahui variasi yang memiliki pengaruh tinggi terhadap *tensile modulus, Yield Stress, yield strains*.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Provinsi Banten, Laboratorium Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, dan Laboratorium Laboratorium Terpadu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang. Bahan yang digunakan adalah serbuk cangkang telur ayam dengan ukuran 100 mesh sebagai *filler* dan karet alam cair, sulfur, ZnO, dan asam stearat sebagai zat perekat. Uji yang dilakukan meliputi analisis densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas komposit. Fokus utama adalah menginvestigasi pengaruh variasi komposisi filler cangkang telur ayam dan matriks karet alam cair, serta parameter *hot press* seperti temperatur, tekanan, dan waktu terhadap sifat fisik komposit.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan sejumlah manfaat yang signifikan, di antaranya adalah sebagai berikut.

- Upaya untuk mengatasi masalah pengelolaan sampah organik dan penumpukan limbah plastik.
- 2. Mengubah cangkang telur ayam menjadi sumber nilai ekonomis melalui pengolahan limbah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of The Art

Penelitian dengan judul "Effect Of Eggshell Powder on Structural and Durability Properties of High Strength Green Concrete for Sustainability: A Critical Review" membahas pemanfaatan serbuk cangkang telur (Eggshell Powder/ESP) sebagai bahan tambahan ramah lingkungan dalam campuran beton. Upaya ini bertujuan menggantikan sebagian semen Portland untuk mengurangi emisi karbon serta meningkatkan sifat mekanik beton. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan ESP pada proporsi 5% hingga 10% tidak memengaruhi sifat mekanik beton secara signifikan, sementara penambahan di atas 10% justru menyebabkan penurunan sifat tersebut. Secara spesifik, penambahan 5% ESP memberikan peningkatan kekuatan awal dan kekuatan lentur beton dibandingkan beton normal, sehingga menunjukkan potensi ESP sebagai bahan tambahan untuk beton yang lebih berkelanjutan.

Penelitian berjudul "Investigation on Effect of Egg Shell Powder on Mechanical Properties of GFRP Composites" mengevaluasi pengaruh penambahan serbuk cangkang telur (Eggshell Powder/ESP) pada sifat mekanik komposit fiberglass reinforced polymer (GFRP). Proses pembuatan komposit ini melibatkan pencampuran serbuk cangkang telur yang telah dihaluskan dengan bahan-bahan lain seperti resin, menghasilkan struktur yang lebih kuat serta permukaan yang lebih halus dan rata. Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan 5% ESP meningkatkan kekakuan dan kekuatan lentur material, namun penambahan filler melebihi 5% menyebabkan pengurangan kekakuan akibat berkurangnya luas area ikatan antara serat dan matriks. Meskipun kekuatan lentur tetap stabil hingga penambahan 10% filler, kinerja optimal dicapai pada penambahan 5% serbuk cangkang telur.

Penelitian berjudul "*Eggshell, A New Bio-Filler for Polypropylene Composites*" mengkaji perilaku mekanik komposit polypropylene (PP) dengan biofiller serbuk cangkang telur (Eggshell/ES) dibandingkan dengan komposit PP menggunakan pengisi konvensional seperti kalsium karbonat dan talc. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit PP–ES memiliki modulus tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit PP–CC, terutama karena ukuran partikel yang lebih sesuai. Selain itu, rasio geometri yang serupa antara partikel ES dan talc memungkinkan potensi untuk menghasilkan komposit PP/ES/talc dengan sifat mekanik yang mendekati karakteristik komposit PP–TA. Temuan ini menyoroti potensi serbuk cangkang telur sebagai bio-filler inovatif untuk meningkatkan performa material polimer berkelanjutan.

Penelitian berjudul "*Effect Of Egg Shell Powder on The Mechanical and Microstructure Properties of AA 2024 Metal Matrix Composite*" mengeksplorasi pengembangan komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite*/MMC) berbasis aluminium AA2024 dengan penambahan serbuk cangkang telur sebagai bahan penguat melalui metode peleburan in-situ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 10% volume serbuk cangkang telur mampu meningkatkan kekuatan tarik material hingga sekitar 10%. Namun, peningkatan persentase serbuk cangkang telur dalam komposit menyebabkan penurunan signifikan pada kekerasan material. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun serbuk cangkang telur dapat meningkatkan kekuatan tarik, keseimbangan antara kekuatan dan kekerasan perlu diperhatikan untuk aplikasi lebih lanjut.

2.2 Cangkang Telur Ayam

Selama tiga dekade terakhir, produksi telur di Asia telah mengalami pertumbuhan pesat. China dan India menjadi penguasa utama dalam produksi telur di wilayah tersebut, menyumbang lebih dari 41% dari total produksi telur global. Pada tahun 2020, produksi telur di India mencapai 6,29 juta ton dengan pertumbuhan tahunan rata-rata sekitar 6,45%. Negara bagian di selatan India menjadi pusat produksi telur terbesar di negara tersebut. Pada tahun 2016, India mencatat lebih dari 83 miliar butir telur, yang meningkat menjadi lebih dari 100 miliar butir pada tahun 2020. Namun, tingginya produksi telur ini menghasilkan limbah cangkang telur yang besar, seringkali dibuang begitu saja dan menimbulkan polusi lingkungan yang signifikan karena komposisi kimianya. Tanpa penanganan yang tepat, limbah padat ini bisa berdampak negatif pada lingkungan sekitarnya [1].



Gambar 2.1 Produksi telur di seluruh dunia antara tahun 2000 dan 2018 (Sumber: [5])

Cangkang telur mentah yang diambil dari sumbernya dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan air biasa untuk menghilangkan kotoran dan lapisan tipis yang melekat [6]. Setelah dibersihkan, cangkang telur kemudian dikeringkan dan dibiarkan terkena sinar matahari hingga benar-benar kering [5]. Namun, ada juga yang menggunakan oven udara panas listrik dengan suhu 120°C selama 24 jam [7], atau bahkan hingga 180°C untuk periode yang sama.

Terdapat perbedaan metode pengeringan yang digunakan oleh peneliti lain. Misalnya, beberapa menggunakan pemanasan pada suhu 110°C selama 12 jam [8]. Setelah mengering, cangkang telur dihancurkan dan digiling menjadi bubuk. Proses penggilingan dapat dilakukan dengan menggunakan drum baja atau mesin penggiling tepung mini. Bubuk cangkang telur yang telah dihasilkan kemudian disaring dengan menggunakan ayakan berukuran 90 mikron dan siap untuk dicampur dengan semen.

Ukuran ayakan untuk proses penyaringan bubuk cangkang telur bervariasi antara peneliti, namun banyak yang menggunakan ayakan berukuran 90 mikron. Namun demikian, ada juga yang menggunakan ukuran ayakan yang lebih kecil, yaitu sebesar 70 mikron, atau bahkan ukuran yang lebih besar sebesar 2,36 mm, dengan hasil yang tetap memuaskan. Hasil akhir dari proses ini adalah ESP halus yang dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk semen. Pemanfaatan bubuk cangkang telur ayam (ESP) bisa sebagai bahan pengisi dalam komposit polimer. Riset oleh Hiremath dan koleganya [9] serta Nayak dan timnya [10] menunjukkan bahwa penambahan ESP dapat meningkatkan beberapa sifat mekanis tertentu, seperti ketahanan lentur dan kekuatan tahan benturan, karena struktur halusnya dan kemampuan penyerapan energi yang baik. Penggunan bubuk cangkang telur yang baru difungsikan dalam komposit matriks Poly (L-lactic acid) (PLLA). Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa bubuk cangkang dapat meningkatkan adhesi antarmuka dan sifat fisik secara keseluruhan karena keberadaan senyawa organik yang berfungsi sebagai agen pengikat. Secara keseluruhan, studi ini menyoroti potensi penggunaan bubuk cangkang telur sebagai bahan pengisi berharga dalam komposit polimer, dengan manfaat tambahan dalam peningkatan kinerja mekanik dan adhesi antarmuka [11].

Nutrisi	Kandungan (% W)	Nutrisi	Kandungan (% W)	Nutrisi	Kandungan (% W)
Air	29 - 35	Sulfur	0,09 - 0,19	Leusin	0,57
Protein	1,4 - 4	Alanin	0,45	Lisin	0,37
Lemak kasar	0,1 - 0,2	Arginin	0,56 - 0,57	Metionin	0,28 - 0,29
Abu	89,9 - 91,1	Asam aspartat	0,83 - 0,87	Fenilalanin	0,38 - 0,46
Kalsium	35,1 - 36,4	Sistein	0,37 - 0,41	Prolin	0,54 - 0,62
CaCO3	90,9	Asam glutamat	1,22 - 1,26	Serin	0,64 - 0,65
Fosfor	0,12	Glisin	0,48 - 0,51	Treonin	0,45 - 0,47
Magnesium	0,37 - 0,40	Histidin	0,25 - 0,30	Tirosin	0,25 - 0,26
Kalium	0,10 - 0,13	Isoleusin	0,34	Valin	0,54 - 0,55

Gambar 2.2 Komposisi Nutrisi Cangkang Telur Ayam
(Sumber: [12])

2.3 Komposit

Komposit berasal dari kata "*to compose*", yang berarti menyusun atau menggabungkan. Dalam konteks material, komposit merujuk pada kombinasi

dua atau lebih bahan yang memiliki sifat yang berbeda, tetapi membentuk satu komponen tunggal pada tingkat makroskopik. Artinya, dalam komposit, bahan-bahan yang berbeda tersebut tetap terpisah dan dapat dibedakan secara visual. Meskipun perbedaan antar bahan dapat terjadi pada tingkat mikroskopik, seperti pada paduan logam, namun hasil akhir dari komposit tersebut adalah material yang secara praktis homogen pada tingkat makroskopik, di mana komponennya tidak dapat dibedakan secara visual [13].

Komposisi	Fraksi volume serat atau filamen	Densitas	Kekuatan tarik	Modulus elastisitas Vouna
Matriks	Serat atau Filamen	(10/111-)	(lb/in²)	(lb/in ²)
Epoxy	S-Glass	0,60	0,072	290 × 10 ³
Epoxy	0	0,40	0,055	103 × 10 ³
Epoxy	Al ₂ O ₃	0,44	0,063	72 × 10 ³
Epoxy	Al ₂ O ₃	0,14	0,050	113 × 10 ³
Al	CuAl ₂	0,45	0,130	42 × 10 ³
Al	Al ₂ Ni	0,10	0,102	48 × 10 ³
Ni	С	0,70	0,60	60 × 10 ³
Polimida	В	0,58	0,330	130 × 10 ³
Hassalloy X	Mo	0,37	0,323	125 × 10 ³

Gambar 2.3 Properti Komposit

(Sumber: [14])

Biokomposit merupakan material komposit yang berasal dari polimer alami yang dapat terbiodegradasi, baik yang berfungsi sebagai matriks atau pengisi [15]. Biokomposit adalah jenis komposit yang dirancang khusus untuk aplikasi bioengineering. Selain persyaratan tambahan biokompatibilitas, semua masalah lain yang terkait dengan sebuah biokomposit juga terpenuhi oleh komposit biasa. Masalah-masalah ini meliputi pemilihan bahan konstituen, pembuatan komposit dari bahan konstituen, karakterisasi mekanis, fisik, dan geometris dari komposit dan bahan konstituennya, serta analisis dan desain komposit untuk mencapai tujuan aplikasi yang terbaik [16].

Biokomposit cangkang telur mengacu pada jenis bahan komposit yang terbuat dari cangkang telur dan dirancang khusus untuk aplikasi dalam bidang bioengineering. Dalam pembuatan biokomposit ini, cangkang telur digunakan sebagai salah satu bahan konstituen utama. Cangkang telur dipilih karena memiliki beberapa karakteristik yang dianggap bermanfaat dalam konteks bioengineering, seperti biokompatibilitas dan potensi sifat mekaniknya.

Proses pembuatan biokomposit cangkang telur biasanya melibatkan beberapa tahap, termasuk pembersihan dan pengeringan cangkang telur, diikuti dengan penggilingan cangkang telur menjadi bubuk halus. Bubuk cangkang telur ini kemudian dicampur dengan bahan lain, seperti polimer atau komponen pengisi lainnya, untuk membentuk bahan komposit yang memiliki sifat yang diinginkan. Biokomposit cangkang telur dapat memiliki berbagai aplikasi dalam bidang bioengineering, seperti dalam pembuatan implant medis, perangkat medis, dan aplikasi lainnya yang memerlukan material yang ramah lingkungan dan biokompatibel. Keunggulan bahan ini terletak pada sifatsifatnya yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi khusus dalam bidang bioengineering.



Gambar 2.4 Representasi Skematis dari Komposit

(Sumber: [17])

2.4 Karet Alam

Karet alami (NR) adalah bahan matriks polimer yang diperoleh dari pohon karet (Hevea brasiliensis) dalam bentuk lateks lapangan. NR, juga dikenal sebagai cis-1,4-poliisoprena, memiliki sifat-sifat khas karet seperti kekuatan tarik yang tinggi dan kelekatannya yang baik. Keunggulan NR sebagai bahan adalah sifatnya yang diperbaharui, biaya yang terjangkau, dan tidak menimbulkan bahaya kesehatan. Karakteristik unggul lainnya termasuk kekuatan tarik tinggi dan pemanjangan pada patah yang disebabkan oleh kristalisasi yang diinduksi oleh regangan, *strain-induced crystallization* (SIC), serta kelekatannya yang superior, yang sangat penting dalam berbagai aplikasi seperti pembuatan ban, selang, dan sabuk [17].

Vulkanisasi merupakan proses krusial dalam industri karet yang meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas material karet. Proses ini secara luas digunakan untuk mengubah karet alam mentah atau material polimer lainnya, seperti karet sintetis, menjadi produk yang lebih kuat dan serbaguna. Vulkanisasi melibatkan pembentukan ikatan silang antara molekul-molekul karet menggunakan belerang atau senyawa yang mengandung belerang [18].

Selama proses vulkanisasi, karet biasanya dicampurkan dengan belerang dan aditif lainnya, seperti akselerator dan aktivator. Campuran ini kemudian dipanaskan pada suhu tinggi, umumnya antara 140 °C hingga 160 °C. Vulkanisasi invers merupakan suatu proses yang mengubah belerang elemental menjadi polimer stabil melalui polimerisasi dengan senyawa yang mengandung ikatan karbon tak jenuh. Proses ini membentuk jaringan polimer tiga dimensi yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk baterai dan membran untuk pemurnian air dan pemisahan gas. Polimer berbasis belerang yang dihasilkan melalui vulkanisasi invers bersifat ekonomis, stabil secara kimiawi, dan ramah lingkungan karena menggunakan belerang yang melimpah dan murah. Proses yang diaktifkan oleh panas memungkinkan belerang bereaksi dengan rantai polimer yang terdapat dalam karet. Ketika suhu meningkat, atom-atom belerang membentuk ikatan kimia dengan situs spesifik pada rantai polimer, menciptakan ikatan silang antara molekul polimer yang berdekatan. Ikatan silang ini menghasilkan pembentukan struktur jaringan tiga dimensi dalam material karet [18].

Komponen	Kuantitas
Karet	33%
Air	60%
Protein	2–3%
Asam lemak	1–3%
Gula	1%
Kandungan abu	1%
Elemen jejak (Cu, Mn)	2–3 ppm
Kotoran (debu, pasir)	8–10 ppm

Gambar 2.5 Komposisi Lateks (Sumber: [17])

Meskipun memiliki banyak keunggulan, NR juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah kekuatannya yang lebih rendah dibandingkan dengan polimer rekayasa lainnya seperti nilon dan termoset seperti poliester epoksi, yang menyebabkan produk berbasis NR rentan terhadap kerusakan, tusukan, dan deformasi. Kelemahan lainnya termasuk ketahanan yang rendah terhadap inisiasi retakan, ozon, dan minyak. Namun, kelemahan-kelemahan ini dapat diatasi dengan metode pengikatan silang atau vulkanisasi [17].

Vulkanisasi adalah proses kimia di mana karet dipanaskan dengan belerang, akselerator, dan aktivator pada suhu tertentu. Proses ini bertujuan untuk membentuk ikatan silang antara molekul karet, meningkatkan elastisitas, kekuatan tarik, viskositas, kekerasan, dan ketahanan cuaca. Efisiensi vulkanisasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan akselerator bersama dengan oksida logam dan asam lemak, seperti ZnO dan asam stearat. Pemilihan sistem vulkanisasi yang tepat bergantung pada sifat karet dan persyaratan produk akhir [17].

Selain vulkanisasi, komposit juga merupakan solusi untuk meningkatkan kekuatan NR. Komposit terdiri dari matriks polimer yang diperkuat dengan serat, baik serat kontinu atau segmen serat pendek. Serat dengan rasio aspek tinggi digunakan untuk segmen serat pendek, sementara serat kontinu biasanya digunakan untuk aplikasi struktural kinerja tinggi. Komposit polimer diperkuat serat karbon kontinu, misalnya, dapat memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi daripada paduan logam konvensional [17].

Meskipun memiliki banyak keunggulan, bahan komposit juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah sifat anisotropik, yang membuat sifat-sifat seperti kekuatan dan kekakuan bergantung pada orientasi serat. Delaminasi juga dapat menjadi masalah dalam komposit. Namun, penggunaan serat alami sebagai pengganti kaca telah menjadi alternatif yang menarik, terutama dalam aplikasi perumahan. Meskipun memiliki sifat mekanik yang moderat, serat alami memiliki berat spesifik yang rendah, menghasilkan kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi daripada serat kaca [17].

2.5 Sifat Mekanik Komposit

Pengujian mekanik, seperti uji tarik, lentur, dan dampak, merupakan fitur komposit biologis hibrida yang paling umum diselidiki. Kekuatan tarik dari komposit biologis yang diperkuat serat umumnya meningkat dengan konten serat, hingga nilai optimum, kemudian akan menurun. Hal ini disebabkan oleh nilai kekuatan dan kekakuan serat yang jauh lebih tinggi daripada matriks polimer [18]. Ketika serat alami diperkenalkan ke dalam matriks polimer hidrofobik, sifat hidrofilik mereka bertentangan dengan matriks yang menghasilkan penyerapan air yang tinggi dan akibatnya menghasilkan kekuatan tarik yang rendah pada komposit biologis. Perlakuan permukaan merupakan solusi penting untuk memodifikasi hidrofobisitas serat dan interaksi antarmuka serat/matriks, yang mengarah pada peningkatan sifat Tarik [19].

Sampel nanokomposit polimer	Kekuatan tarik (dalam MPa)	Modulus tarik (dalam MPa)	Perpanjangan pada saat putus (%)
Jute/epoxy/tempurung kelapa	25,440 ± 0,274	684,269 ± 87,787	3,775 ± 0,444
Jute/epoxy/cangkang telur	34,329 ± 1,058	782,548 ± 84,030	4,388 ± 0,455
Flax/epoxy/tempurung kelapa	17,649 ± 3,126	519,854 ± 83,807	3,388 ± 0,455
Flax/epoxy/cangkang telur	28,601 ± 0,455	706,011 ± 90,906	4,055 ± 0,455

Sampel nanokomposit polimer	Kekuatan tarik (dalam MPa)	Modulus tarik (dalam MPa)	Perpanjangan pada saat putus (%)
Epoxy/tempurung kelapa	14,331 ± 0,243	461,558 ± 40,760	3,098 ± 0,345
Epoxy/cangkang telur	23,742 ± 0,356	668,641 ± 39,087	3,544 ± 0,445
Epoxy murni	13,314 ± 0,128	383,949 ± 19,745	3,464 ± 0,445

Gambar 2.6 Sifat Tarik Sampel Nanokomposit dan Murni (Sumber: [20])

Dengan memahami ciri-ciri sifat material pada komposit, peneliti bisa memperoleh pemahaman yang lebih baik dan melakukan perbandingan dengan plastik konvensional. Persentase sifat material pada plastik konvensional dapat digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini.

Properti Mekanis	Nilai
Kekuatan Tarik	43,8 MPa
Batas Elastis	38,45 MPa
Modulus Young	1,47 GPa
Rasio Poisson	0,3
Perpanjangan saat putus (%)	7,2
Tegangan saat putus	29,58 MPa

Gambar 2.7 Sifat Mekanis ABS

(Sumber: [21])

2.5.1 Stiffness

Kekakuan adalah kemampuan sebuah sistem mekanik untuk menopang beban dari luar tanpa mengalami perubahan geometri yang berlebihan (deformasi). Ini menjadi salah satu kriteria desain paling penting untuk komponen dan sistem mekanik. Meskipun kekuatan dianggap sebagai kriteria desain utama, terdapat banyak kasus di mana tegangan pada komponen dan sambungannya jauh di bawah batas yang diizinkan, sehingga dimensi dan karakteristik kinerja dari sistem mekanik dan komponennya ditentukan oleh kebutuhan akan kekakuan.

Modulus Elastisitas, yang juga dikenal sebagai Modulus Young. Menggambarkan rasio antara tegangan dan regangan dalam batas. proporsional suatu bahan saat mengalami tarikan atau tekanan. Satuan yang digunakan adalah pound per inci persegi (psi) atau megapascal (MPa). Menunjukkan seberapa kaku atau elastis bahan tersebut. semakin besar nilai modulus young, maka makin besar tegangan yang diperlukan untuk meregangkan benda (benda akan semakin kaku) [22].

Tabel 2.2 Properti Standar untuk ABS

Sifat	Kondisi	Satuan	Standar	Nilai
Modulus Tarik	1 mm/menit	MPa	ISO 527-1, -2	2700
Tegangan Luluh	50 mm/menit	MPa	ISO 527-1, -2	65
Regangan Luluh	50 mm/menit	%	ISO 527-1, -2	4,0

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F_{A}}{\Delta L_{\Delta L_{0}}} = \frac{F_{A}}{A_{\Delta L}}....(2.1)$$

Dimana:

- σ = The uniaxial stress in Pa
- ε = The strain or proportional deformation
- F = The force exerted by the object under tension
- A = It is the actual cross-sectional area
- ΔL = It is the change in the length
- L_0 = It is the actual length

Penelitian dalam skripsi ini berfokus pada karakterisasi sifat mekanik bio-komposit berbasis filler cangkang telur ayam, dengan matriks utama berupa karet alam cair. Sifat mekanik yang diuji meliputi tensile modulus, yield stress, dan yield strain menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan dengan standar properti ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja bio-komposit sebagai alternatif material yang ramah lingkungan.

2.5.2 Elasticity

Elastisitas adalah kemampuan suatu material untuk kembali ke bentuk aslinya setelah gaya yang diterapkan dihilangkan. Tegangan Luluh atau *Yield Stress* adalah tegangan maksimum yang dapat diberikan pada bahan uji tanpa menyebabkan perubahan permanen dalam bentuknya. Nilainya terkait dengan jumlah regangan tertentu, biasanya 0,1% atau 0,2% dari dimensi awal. Tegangan luluh sering ditentukan dengan menggunakan metode pergeseran pada kurva tegangan-regangan. Satuannya sama seperti kekuatan luluh, yaitu psi atau MPa. *Yield Stress* adalah tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan sedikit deformasi plastis (tegangan yang diperlukan agar benda menjadi bersifat plastis) [23].

Perbedaan utama antara keduanya adalah titik di mana material mengalami deformasi permanen atau pecah. *Yield Stress* fokus pada deformasi permanen, sedangkan *Yield Stress* fokus pada pecah atau kerusakan pada material. Selain itu, *Yield Stress* sering digunakan dalam pengembangan material yang harus mampu menahan tekanan statis dalam waktu lama, sementara *Yield Stress* digunakan untuk memahami ketahanan material terhadap tegangan yang dihasilkan dari penggunaan atau pemasangan material tersebut.

Dimana:

 σ_y = Tegangan yield (kN/mm²) P_y = Beban yield (kN)

2.6 ASTM D638 Section V

ASTM D638 adalah standar uji yang digunakan untuk menentukan sifat tarik plastik, baik yang diperkuat maupun tidak diperkuat, termasuk material komposit. Standar ini menetapkan prosedur pengujian yang meliputi pengukuran modulus elastisitas (*tensile modulus*), kekuatan tarik (*tensile strength*), tegangan luluh (*yield stress*), regangan luluh (*yield strain*), serta elongasi hingga patah. Prosedur uji dalam ASTM D638 menggunakan spesimen berbentuk standar (*dog bone*) yang diuji dengan Universal Testing

Machine (UTM) pada kecepatan tertentu, sesuai dengan spesifikasi material. Pengujian ini dilakukan pada material padat dengan ketebalan hingga 14 mm. Standar ini sering digunakan untuk mengevaluasi sifat mekanik material plastik atau komposit yang dibutuhkan dalam berbagai aplikasi teknik. *Scope* 1.1: *"This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed*". Dengan demikian, ASTM D638 dapat digunakan untuk material komposit, termasuk plastik yang diperkuat dengan serat atau bahan tambahan lainnya, selama material tersebut memiliki bentuk spesimen standar berbentuk dumbbell dan memenuhi syarat uji lainnya.



Gambar 2.8 Dimensi ASTM D638 Sect. V (1)



Gambar 2.9 Dimensi ASTM D638 Sect. V (2)

Spesimen uji tarik yang ditunjukkan pada gambar memiliki bentuk memanjang dengan penampang melintang yang konstan di bagian tengah dan mengecil secara bertahap menuju bagian ujung. Dimensi-dimensi yang tertera pada gambar memberikan informasi penting mengenai geometri spesimen, yang meliputi:

- Panjang Total: Spesimen memiliki panjang total sebesar 63,50 mm. Panjang ini mencakup bagian uji, bagian leher (bagian yang akan mengalami deformasi terbesar saat ditarik), dan bagian pegangan untuk dijepit oleh mesin uji.
- Lebar Bagian Uji: Bagian uji memiliki lebar konstan sebesar 26,33 mm. Bagian ini merupakan area yang akan mengalami tegangan dan regangan yang paling signifikan selama pengujian.
- 3. Tebal Spesimen: Spesimen memiliki tebal sebesar 4 mm. Tebal ini konsisten sepanjang spesimen, termasuk pada bagian uji dan bagian pegangan.
- Bagian Leher: Bagian leher memiliki panjang 18,58 mm dan lebar terkecil 3,18 mm. Bagian ini dirancang untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum terjadi patah.
- 5. Radius Lengkung: Bagian transisi antara bagian uji dan bagian leher memiliki radius lengkung sebesar 12,70 mm. Radius lengkung ini berfungsi untuk menghindari konsentrasi tegangan yang berlebihan pada titik transisi.
- Panjang Bagian Pegangan: Bagian pegangan memiliki panjang sekitar 9,53 mm di kedua ujung spesimen. Bagian ini berfungsi sebagai tempat jepitan pada mesin uji.

Setiap dimensi pada spesimen uji tarik memiliki fungsi spesifik. Dimensidimensi ini dirancang untuk memastikan bahwa hasil pengujian dapat diandalkan dan dapat dibandingkan dengan hasil pengujian lainnya. Berikut adalah beberapa fungsi utama dari dimensi-dimensi tersebut:

- Lebar dan Tebal Bagian Uji: Dimensi ini menentukan luas penampang awal spesimen, yang digunakan untuk menghitung tegangan yang dialami oleh spesimen selama pengujian.
- 2. Panjang Bagian Leher: Panjang bagian leher menentukan panjang daerah plastis yang terbentuk sebelum terjadi patah.

- 3. Radius Lengkung: Radius lengkung membantu menghindari konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan retak dini pada spesimen.
- 4. Panjang Bagian Pegangan: Panjang bagian pegangan memastikan bahwa spesimen dapat dijepit dengan kuat pada mesin uji.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan tahap awal berupa studi literatur untuk memahami dasar teori dan referensi yang relevan dengan penelitian. Setelah itu, dilakukan penentuan bahan baku (*raw material*) yang akan digunakan dalam penelitian. Langkah selanjutnya adalah menentukan desain eksperimen menggunakan metode Taguchi untuk memastikan rancangan percobaan yang optimal.

Setelah desain eksperimen ditentukan, dilakukan proses persiapan sampel komposit yang melibatkan beberapa bahan utama, yaitu serbuk cangkang telur, ZnO, asam stearat, sulfur, dan pengisi karet alam. Tahapan proses pembuatan sampel komposit melibatkan beberapa langkah utama: pertama, *rolling* material; kedua, proses oven pada suhu 100°C selama 4 jam; ketiga, proses hot press pada tekanan 30,450, atau 500 kg/cm² dengan variasi suhu (150°C, 160°C, 170°C) selama durasi waktu tertentu (5, 6, atau 7 menit); dan terakhir, *cold press* pada suhu 25°C selama 2 menit.

Setelah sampel komposit selesai dibuat, dilakukan pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menentukan sifat mekanik material. Hasil pengujian akan dievaluasi berdasarkan kriteria nilai perbandingan >50% ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Jika hasil pengujian tidak memenuhi kriteria, langkah-langkah tertentu mungkin diulang untuk perbaikan.

Tahapan selanjutnya adalah analisis data hasil pengujian untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian. Akhirnya, penelitian diselesaikan dengan pembuatan kesimpulan dari seluruh proses yang telah dilakukan.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam studi ini, terdapat penggunaan alat dan bahan tertentu yang telah disediakan. Berikut adalah daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan selama pelaksanaan penelitian ini meliputi berbagai peralatan yang berperan penting dalam mendukung jalannya proses penelitian, antara lain sebagai berikut. 1. Oven

Oven dipakai untuk mengeringkan sampel agar siap digunakan dalam pengujian konduktivitas termal, dengan mempertahankan suhu pada 100 °C selama 4 jam.



Gambar 3.2 Oven

Dalam penelitian ini, digunakan oven pengering Memmert UN 450 dengan sistem konveksi alami. Oven ini memiliki kapasitas sebesar 449 liter dan mampu mencapai suhu maksimum hingga 300°C. Suhu dalam oven dapat diatur dengan presisi tinggi berkat adanya tampilan digital. Oven ini dilengkapi dengan dua rak berbahan stainless steel untuk menampung sampel. Spesifikasi teknis oven ini adalah sebagai berikut:

- a) Merek dan Model: Memmert UN 450
- b) Kapasitas: 449 liter
- c) Rentang Suhu: Suhu ruang + 5°C hingga 300°C
- d) Daya: 5800 W (tiga fasa)
- e) Dimensi dalam (P x T x T): 1040 x 720 x 600 mm
- f) Dimensi luar (P x T x T): 1224 x 1247 x 784 mm
- g) Nomor Seri: B723.0348

2. Mesin Hotpress

Hotpress machine, menjadi instrumen utama dalam pembuatan papan partikel dengan menekan material dalam cetakan sesuai dengan standar tekanan yang ditentukan. Mesin ini dilengkapi dengan pemanas yang dapat diatur untuk mencapai suhu yang diperlukan. Dalam proses ini, berbagai variasi tekanan (30, 40, 50 MPa), suhu (150, 160, 170°C), dan durasi waktu (50, 60, 70 menit) digunakan. Hot press machine digunakan untuk menjalankan proses vulkanisasi sulfur dengan membentuk papan partikel di bawah tekanan dan suhu yang ditentukan.



Gambar 3.3 Mesin Hotpress

Peralatan ini terdiri dari *Automatic Hot Press* (BMN: 3.08.01.06.004.4) yang dirancang untuk proses pressing material lignoselulosa secara otomatis, dengan pengaturan tekanan dan suhu yang presisi untuk menghasilkan material berkualitas tinggi dalam pembuatan biopolimer. Spesifikasi *Hot Press:*

- a) Ukuran Platen: $200 \times 200 \text{ mm}$
- b) Bukaan Platen Maksimum: 90 mm
- c) Diameter Silinder: $\phi 45 \text{ mm}$
- d) Gaya Maksimum: 100 kN (Hidraulik 62.9 MPa)
- e) Rentang Suhu: Maksimum 300 °C (Opsional: Maksimum 400 °C)
- f) Opsional: Pendinginan Platen dengan Air
- g) Sumber Daya: AC 200 V, 1 Fasa, 20 A, 50/60 Hz
- h) Dimensi/ Berat (Kira-kira): P410 × L335 × T760 mm, 130 kg

3. Mesin Coldpress

Cold press machine digunakan untuk mendinginkan sampel setelah melewati tahap pengolahan dengan mesin hot press. Proses

pendinginan ini bertujuan untuk mengembalikan sampel pada suhu normalnya tanpa menambah temperatur yang dapat menyebabkan ekspansi, sehingga memastikan sampel tetap dalam dimensi yang diinginkan.



Gambar 3.4 Mesin Coldpress

Secara umum, mesin press hidrolik memiliki beberapa fungsi utama, antara lain:

- a) Membentuk: Mengubah bentuk material menjadi bentuk yang diinginkan, seperti membengkokkan plat logam atau membentuk komponen plastik.
- b) Memperkuat: Meningkatkan kekuatan suatu material dengan cara memadatkannya.
- c) Memotong: Memotong material dengan cara memberikan tekanan yang sangat besar pada bagian yang akan dipotong.
- d) Menggabungkan: Menggabungkan beberapa bagian menjadi satu kesatuan, seperti pada proses laminasi atau pembuatan komposit.

Mesin press hidrolik terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- a) Silinder hidrolik: Komponen utama yang menghasilkan gaya tekan.
- b) Pompa hidrolik: Memompa fluida hidrolik ke dalam silinder.
- c) Katup kontrol: Mengontrol aliran fluida hidrolik dan tekanan yang dihasilkan.
- d) Unit tenaga: Memberikan tenaga untuk mengoperasikan pompa hidrolik.
- e) Plat tekan: Bagian yang memberikan tekanan langsung pada benda kerja.
- f) Kerangka mesin: Menopang seluruh komponen mesin.
- 4. Cetakan Papan Partikel

Untuk penelitian ini, telah dibuat sebuah set cetakan khusus untuk pembuatan papan partikel. Cetakan kayu berukuran 10 cm x 5 cm x 2 cm berperan sebagai cetakan awal, memberikan bentuk dasar pada sampel dan membantu memadatkan partikel dalam tahap awal menggunakan cold press. Frame yang dirancang khusus berfungsi sebagai penjepit yang mengatur jarak antara plat logam atas dan bawah, sehingga memungkinkan pengaturan ketebalan papan partikel secara presisi selama proses pengompakan panas. Penggunaan plat logam yang dilapisi kertas teflon dan minyak silikon bertujuan untuk mencegah lengketnya material pada cetakan dan memudahkan pelepasan sampel setelah proses selesai. Desain cetakan ini dibuat khusus untuk memastikan hasil penelitian yang akurat dan relevan.



Gambar 3.5 Cetakan Papan Partikel

5. Mesin UTM

Mesin UTM (*Universal Testing Machine*) adalah alat yang digunakan untuk menguji kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan sifat mekanik lainnya dari berbagai bahan seperti logam, plastik, karet, dan komposit. Mesin ini memanfaatkan mekanisme pemuatan yang dapat menghasilkan gaya secara bertahap pada spesimen uji untuk mengukur responsnya terhadap beban yang diberikan. Dengan menggunakan sensor dan perangkat pengukuran yang tepat, mesin UTM memberikan data yang akurat mengenai perilaku material saat dikenakan gaya, sehingga penting dalam pengujian kualitas dan keamanan spesimen.



Gambar 3.6 Mesin UTM MTS Landmark 100 kN

Berikut adalah spesifikasi lengkap sistem MTS Landmark Testing Solutions:

- a) Floor-Standing Systems: Untuk aplikasi uji kekuatan tinggi dan spesimen besar.
- b) Tabletop Systems: Untuk aplikasi uji gaya rendah, hemat ruang, dan spesimen lebih kecil.
- c) Force Capacity: Rentang 15 kN hingga 500 kN (3.3 kip hingga 110 kip).
- d) Dynamic Stroke: 100 mm hingga 250 mm (4–10 inci).
- e) Dimensi dan Berat (Model 370.10 370.50).
- f) Ketinggian Ruang Uji Vertikal: 140 mm hingga 2085 mm (5.5– 82.1 inci).
- g) Lebar Ruang Uji: 533 mm hingga 762 mm (21–30 inci).
- h) Berat Sistem: 635 kg hingga 1760 kg (1400–3875 lbs).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan sepanjang pelaksanaan penelitian ini mencakup berbagai material penting yang berfungsi mendukung setiap tahapan proses penelitian, di antaranya sebagai berikut. 1. Serbuk Cangkang Telur Ayam

Serbuk cangkang telur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran *mesh* 100, yang secara umum mudah didapatkan di pasaran. Ukuran partikel yang seragam ini sangat penting untuk memastikan proses pengadukan dan pencampuran dengan bahan lain berjalan efektif. Dengan menggunakan serbuk cangkang telur dengan spesifikasi ini, diharapkan dapat menghasilkan biokomposit dengan sifat homogenitas yang lebih baik.



Gambar 3.7 Eggshell Powder (Sumber: [24])

2. Sulfur

Peran sulfur dalam meningkatkan konduktivitas termal bahan cangkang telur adalah krusial, bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran. Dengan mengisi celah antar partikel, sulfur memperbaiki kepadatan bahan secara keseluruhan, sehingga meningkatkan efisiensi konduktivitas termal pada biokomposit. Selain itu, sebagai agen vulkanisir, sulfur memainkan peran penting dalam meningkatkan elastisitas karet melalui proses pemanasan. Melalui pembentukan ikatan silang kimia di antara rantai molekul, karet menjadi lebih kuat dan elastis, memperbaiki kualitas produk akhir secara signifikan.



Gambar 3.8 Sulfur (Sumber: [25])

3. ZnO

Penambahan bahan ZnO pada bahan dasar biokomposit dari cangkang telur bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. ZnO berperan sebagai bahan penguat yang tidak hanya meningkatkan kepadatan partikel dalam komposit, tetapi juga meningkatkan kekuatan dan ketahanannya terhadap deformasi serta retakan. Selain itu, ZnO berfungsi sebagai bahan aktivator yang mempercepat proses vulkanisasi sulfur secara signifikan, mengurangi waktu proses dari beberapa jam menjadi beberapa menit saja. Bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran.



Gambar 3.9 ZnO (Sumber: [26])

4. Stearic Acid

Bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran. *Stearic acid* memiliki peran penting sebagai bahan pengikat dan pelumas dalam pembuatan biokomposit. Sebagai asam lemak jenuh dengan rantai karbon panjang, stearic acid berfungsi sebagai surfaktan dan *stabilizer*, memfasilitasi pencampuran bahan dan meningkatkan kekuatan adhesi antara bahan cangkang telur dengan tambahan seperti ZnO dan sulfur. Selain itu, *stearic acid* berperan sebagai bahan pelunak, membantu melunakkan karet selama proses rolling dan mengurangi viskositas karet, mempermudah pencampuran dengan bahan lainnya.



Gambar 3.10 Stearic Acid (Sumber: [27])

5. Karet Alam Cair

Penggunaan karet alam dalam penelitian ini bertujuan sebagai pengikat antara bahan cangkang telur dengan tambahan seperti sulfur dan ZnO dalam proses pembuatan biokomposit. Bahan ini secara umum mudah didapatkan di pasaran. Karet alam, dikenal karena sifat adhesinya yang unggul, mampu melekat pada berbagai permukaan bahan lain, sehingga berperan dalam meningkatkan kekuatan mekanik dari biokomposit yang dihasilkan.



Gambar 3.11 Latex Rubber (Sumber: [28])

3.3 Variabel Pengujian

Dalam penelitian ini, terdapat sejumlah variabel yang diuji, yang mencakup berbagai aspek penting untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu sebagai berikut.

1. Variabel KONTROL

Variabel independen dalam penelitian ini mencakup jenis *filler* dengan ukuran 100 *mesh* dan matriks yang dipergunakan.

2. Variabel TERIKAT

Variabel dependen yang diamati meliputi tegangan tarik, regangan, modulus tarik, titik luluh, titik patah, rasio poisson.

- 3. Variabel BEBAS
 - a. Komposisi *filler* sebesar 55%, 60%, dan 65%.
 - b. Tekanan hot press sebesar 30, 40, dan 50 MPa.
 - c. Suhu *hot press* sebesar 150°C, 160°C, dan 170°C.
 - d. Waktu hot press selama 50, 60, dan 70 menit.

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, beberapa langkah prosedur harus dijalankan. Berikut adalah tahapan yang perlu dilakukan.

3.4.1 Preparasi Sampel

Untuk mencapai ukuran yang diinginkan, yaitu 100 mesh, sampel serbuk cangkang telur dipersiapkan melalui proses penepungan dan pengayakan menggunakan saringan 100 mesh. Setelah itu, serbuk cangkang telur dicampur dengan bahan lainnya menggunakan mixer.



Gambar 3.12 Preparasi Sampel

Gambar 3.12 menggambarkan langkah-langkah persiapan sampel yang melibatkan bahan dasar bubuk cangkang telur. Proses ini dimulai dengan tahap penepungan, di mana cangkang telur yang telah dibersihkan dan dikeringkan dihaluskan menjadi bubuk. Bubuk cangkang telur ini kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 100 untuk memastikan ukuran partikelnya seragam dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Setelah diayak, bubuk cangkang telur yang telah lolos ayakan kemudian ditimbang secara akurat untuk menentukan jumlah yang dibutuhkan dalam proses selanjutnya. Tahap akhir dari persiapan sampel adalah proses pencampuran. Pada tahap ini, bubuk cangkang telur yang telah ditimbang dicampurkan dengan bahan-bahan tambahan seperti sulfur, seng oksida (ZnO), dan asam stearat. Pencampuran dilakukan secara merata untuk memastikan distribusi bahan-bahan tambahan yang homogen di dalam sampel. Campuran homogen inilah yang kemudian akan digunakan sebagai sampel untuk penelitian atau pengujian lebih lanjut.

3.4.2 Pembuatan Sampel

Proses manufaktur papan partikel dimulai dengan merolling sampel pada mesin *roll*, lalu specimen dimasukkan ke dalam oven selama 4 jam pada suhu 100°C. Setelah itu, specimen dimasukkan ke dalam cetakan yang sudah diolesi cairan minyak silicon dan dilapisi kertas teflon. Kemudian, sampel diproses dalam mesin kempa panas (*hotpress*) yang memiliki variasi suhu, tekanan, dan waktu tertentu. Setelah proses *hotpress*, sampel segera dimasukkan dalam coldpress selama 20 menit untuk pendinginan, mencegah pemuaian. Selanjutnya, papan partikel dipotong menjadi ukuran 50 mm x 20 mm x 3 mm sesuai dengan kebutuhan pengujian. Kemudian sampel dibentuk sesuai dengan standar prosedur menggunakan metode *water jet cutting* menyesuaikan dimensi standar.



Gambar 3.13 Pembuatan Sampel

Proses pembuatan sampel biopolimer yang digambarkan pada diagram alir 3.13 melibatkan beberapa tahapan penting. Dimulai dari persiapan bahan baku biopolimer, yang mungkin berupa ekstrak tumbuhan, limbah pertanian, atau bahkan mikroorganisme. Bahan baku ini kemudian diproses melalui tahap rolling untuk mendapatkan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Proses selanjutnya adalah perlakuan panas dalam oven, di mana biopolimer dipanaskan pada suhu dan tekanan tertentu untuk mengubah struktur molekulnya. Variasi suhu, tekanan, dan waktu pemanasan ini memungkinkan peneliti untuk mengontrol sifat-sifat akhir dari sampel, seperti kekuatan, kelenturan, dan biodegradabilitas. Setelah proses pemanasan, sampel didinginkan dan kemudian dipotong menjadi ukuran yang sesuai untuk menghasilkan sampel biopolimer dengan sifat yang konsisten dan dapat diprediksi, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pembuatan kemasan biodegradable, bahan medis, atau komponen elektronik. Dengan memanipulasi parameter proses, para peneliti dapat mengembangkan biopolimer dengan sifat yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik suatu aplikasi.

3.4.3 Pemotongan Sampel

Sebelum dilakukan pengujian tarik sesuai dengan standar ASTM D638 Bagian V, seluruh sampel uji telah melalui proses pemotongan yang presisi. Sampel-sampel ini dipotong dengan menggunakan mesin *Water Jet Cutting* untuk memastikan dimensi geometrik sampel sesuai dengan spesifikasi standar. Proses pemotongan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya cacat atau tegangan sisa pada permukaan sampel yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.



Gambar 3.14 Mempersiapkan Mesin Water Jet Cutting

Gambar 3.14 memperlihatkan tahapan persiapan mesin Water Jet Cutting sebelum memulai proses pemotongan. Pada tahap ini, komponenkomponen utama mesin seperti nosel, tabung pencampur, dan tangki abrasif sedang diperiksa dan disiapkan untuk memastikan kinerja mesin yang optimal. Proses persiapan ini meliputi pemeriksaan tekanan air, pasokan abrasif, dan pengaturan parameter pemotongan lainnya.



Gambar 3.15 Melakukan Input Dimensi Pada Mesin Cutting

Gambar 3.15 memperlihatkan proses krusial dalam pemotongan spesimen menggunakan mesin Water Jet Cutting, yaitu tahap input dimensi. Pada tahap ini, operator memasukkan data dimensi yang diinginkan untuk spesimen yang akan dipotong ke dalam sistem komputer mesin. Data dimensi ini mencakup panjang, lebar, bentuk, serta detail geometri lainnya dari spesimen. Informasi yang akurat pada tahap ini sangat penting untuk memastikan hasil potongan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.



Gambar 3.16 Meletakan Spesimen Pada Pelat Cutting

Gambar 3.16 menunjukkan tahap penting dalam proses pemotongan spesimen dengan *Water Jet Cutting*, yaitu penempatan spesimen pada pelat cutting. Spesimen yang telah dirancang secara digital sebelumnya kemudian ditempatkan secara akurat di atas pelat cutting sesuai dengan pola yang telah ditentukan. Penempatan yang tepat ini sangat krusial untuk memastikan hasil potongan sesuai dengan desain yang diinginkan.



Gambar 3.17 Proses Pemotongan

Gambar 3.17 memperlihatkan momen krusial dalam proses pemotongan spesimen menggunakan mesin *Water Jet Cutting*, yakni saat jet air bertekanan tinggi yang bercampur dengan abrasive mulai melakukan kontak dengan material. Pada tahap ini, jet air akan secara bertahap mengikis material, mengikuti pola yang telah diprogram sebelumnya, sehingga menghasilkan potongan yang presisi sesuai dengan desain.



Gambar 3.18 Spesimen Potong ASTM D638 Section V

Gambar 3.18 memperlihatkan tiga buah spesimen uji tarik yang telah dipotong sesuai dengan standar ASTM D638 Bagian V. Spesimen-spesimen ini memiliki bentuk dan dimensi yang spesifik, dengan bagian tengah yang lebih sempit untuk menginduksi tegangan dan deformasi saat dilakukan pengujian tarik. Permukaan spesimen terlihat telah disiapkan dengan baik untuk memastikan hasil pengujian yang akurat.

3.4.4 Pengujian Sampel

Uji Tarik (*Tensile Test*) adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan (*tensile strength*) suatu material/bahan dengan cara memberikan beban (gaya statis) yang sesumbu dan diberikan secara lambat atau cepat. Diperoleh hasil sifat mekanik dari pengujian ini berupa kekuatan dan elastisitas dari material/bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva hasil uji tarik.

3.4.5 Prosedur Uji Tarik

Proses pengujian material dimulai dengan memastikan semua peralatan terkalibrasi dengan benar, termasuk mesin pengujian tarik, sensor beban, dan perangkat lunak pengujian. Spesimen ditempatkan di antara kedua pegangan pengujian dengan posisi yang lurus dan simetris. Parameter pengujian seperti kecepatan pemuatan, tingkat beban, dan jumlah siklus diatur sesuai dengan standar atau persyaratan relevan. Pengujian dimulai dengan pemuatan perlahan hingga sampel mengalami deformasi, dilanjutkan hingga sampel patah atau mencapai batas pengujian. Data relevan seperti kekuatan maksimum, deformasi maksimum, dan kurva regangan-kekuatan direkam selama pengujian oleh perangkat lunak terhubung dengan mesin tarik.

Setelah pengujian selesai, data dianalisis untuk mengevaluasi kinerja material, termasuk perhitungan kekuatan ultimate, modulus elastisitas, dan parameter lain sesuai kebutuhan. Hasil pengujian dilaporkan secara rinci, mencakup prosedur pengujian, data yang diperoleh, dan hasil analisis. Keselamatan selama proses pengujian sangat diutamakan, dengan penggunaan peralatan pelindung diri dan pemahaman terhadap bahaya yang terkait. Terakhir, sampel disimpan dengan baik untuk referensi dan pengujian lanjutan jika diperlukan.



Gambar 3.19 Pemasangan Spesimen Pada Capit UTM

Pada Gambar 3.19, kita dapat mengamati proses pemasangan spesimen uji pada mesin UTM MTS Landmark 100 kN. Spesimen telah ditempatkan di antara dua capit hidrolik yang akan memberikan gaya tarik berlawanan arah selama pengujian. Capit hidrolik ini dilengkapi dengan mekanisme penjepitan yang presisi untuk memastikan spesimen terfiksasi dengan baik. Penggunaan capit hidrolik ini memungkinkan penyesuaian gaya penjepitan sesuai dengan jenis dan ukuran spesimen yang diuji.



Gambar 3.20 Proses Uji Tarik dengan Mesin UTM

Pada Gambar 3.20, kita dapat melihat spesimen uji yang sedang mengalami pembebanan tarik. Mesin UTM secara bertahap meningkatkan gaya tarik yang diberikan pada spesimen hingga material tersebut tidak dapat lagi menahan beban dan mengalami kegagalan. Bagian tengah spesimen, yang memiliki penampang yang lebih kecil, biasanya merupakan area pertama yang mengalami deformasi plastis dan akhirnya patah. Perubahan bentuk dan akhirnya kegagalan material akan diamati dan dicatat untuk menganalisis sifat mekanik material tersebut.



Gambar 3.21 Spesimen Uji Setelah Dilakukan Uji Tarik

Pada Gambar 3.21, kita dapat mengamati bahwa spesimen uji telah mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum akhirnya mengalami patah. Retakan yang terbentuk umumnya dimulai dari bagian tengah spesimen yang memiliki penampang yang lebih kecil, yang merupakan area dengan konsentrasi tegangan tertinggi. Bentuk dan ukuran retakan dapat memberikan petunjuk mengenai distribusi tegangan di dalam material selama proses pengujian.

3.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode bulan Agustus 2023 sampai dengan Agustus tahun 2024 di Laboratorium Kimia Dasar, Laboratorium Terpadu, dan Laboratorium Material, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Provinsi Banten, serta Laboratorium Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Kabupaten Bogor.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembuatan Sampel Papan Partikel Bio-Komposit

Penelitian ini melibatkan pembuatan sampel papan partikel berukuran 100x50x20mm, menggunakan bahan serbuk cangkang telur, karet alam cair, sulfur, ZnO, dan asam stearat. Sub-bab ini mencakup perhitungan jumlah bahan sesuai variasi yang ditentukan. Berikut estimasi bahan yang dibutuhkan:

A. Papan Bio-Komposit Komposisi Filler 55% dan Matriks 45%

Bahan Komposisi Nilai Asam Stearat 2 phr ZnO 5 phr 45% Sulfur 25 phr Serbuk Cangkang Telur 161,33 phr Karet Alam 100 phr 233,33 phr **Total Matriks** 132 phr 55%

Tabel 4.1 Komposisi Papan A

Tabel 4.2 Komposisi Papan Partikel A dalam gram

Bahan	Perhitungan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	$\frac{100}{293,33}$	0,340 x 480 gr	163,64 gr
Sulfur	25 293,33	0,085 480 gr	40,91 gr
ZnO	5 293,33	0,017 x 480 gr	8,18 gr
Asam Stearat	2 293,33	0,007 x 480 gr	3,27 gr
Serbuk Cangkang Telur	161,33 293,33	0,550 x 480 gr	263,99 gr

Dalam proses konversi karet alam menjadi lateks (karet cair) berdasarkan standar ASTM D.1076, dengan Dry Rubber Content (DRC) sebesar 60% (atau 0,6), jumlah lateks yang digunakan adalah 272 gram. Untuk membuat sampel dengan komposisi filler 55% dan matriks 45%, diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 269,99 gram, lateks cair sebanyak 272,73 gram, sulfur sebanyak 40,91 gram, ZnO sebanyak 8,18 gram, dan asam stearat sebanyak 3,27 gram.

B. Papan Bio-Komposit Komposisi Filler 60% dan Matriks 40%

Tabel 4.3 Komposisi Papan B

Bahan	Komposisi	Nilai
Asam Stearat	2 phr	
ZnO	5 phr	
Sulfur	25 phr	40%
Serbuk Cangkang	161, 33	
Telur	phr	
Karet Alam	100 phr	330 phr
Total Matriks	132 phr	60%

Tabel 4.4 Komposisi Papan Partikel B dalam gram

Bahan	Perhitungan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	$\frac{100}{330}$	0,300 x 480 gr	145,45 gr
Sulfur	$\frac{25}{330}$	$\frac{25}{330}$ 0,080 480 gr	
ZnO	$\frac{5}{330}$	0,020 x 480 gr	7,27 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{330}$	0,006 x 480 gr	2,91 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{198}{330}$	0,600 x 480 gr	288 gr

Dalam proses konversi karet alam menjadi lateks (karet cair) berdasarkan standar ASTM D.1076 dengan Dry Rubber Content (DRC) sebesar 60% (atau 0,6), jumlah lateks yang digunakan adalah 242,42 gram. Untuk membuat sampel dengan komposisi filler 60% dan matriks 40%, diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 288 gram, lateks cair sebanyak 242,2 gram, sulfur sebanyak 36,36 gram, ZnO sebanyak 7,27 gram, dan asam stearat sebanyak 2,91 gram.

C. Papan Bio-Komposit Komposisi Filler 65% dan Matriks 35%

Tabel 4.5 Komposisi Papan C

Bahan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	100 phr	
Sulfur	25 phr	250/
ZnO	5 phr	55%
Asam Stearat	2 phr	
Total Matriks	132 phr	377,14 phr
Serbuk Cangkang Telur	245,14 phr	65%

Tabel 4.6 Komposisi Papan Partikel C dalam gram

Bahan	Perhitungan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	$\frac{100}{377,14}$	$\frac{100}{377.14} \qquad 0,270 \text{ x } 480 \text{ gr}$	
Sulfur	25 377,14	0,070 480 gr	31,82 gr
ZnO	5 377,14	0,013 x 480 gr	6,36 gr
Asam Stearat	2 377,14	0,005 x 480 gr	2,55 gr
Serbuk Cangkang Telur	245,14 377,14	0,0650 x 480 gr	311,99 gr

Dalam proses konversi karet alam menjadi lateks (karet cair) berdasarkan standar ASTM D.1076 dengan Dry Rubber Content (DRC) sebesar 60% (atau 0,6), jumlah lateks yang digunakan adalah 212,2 gram. Untuk membuat sampel dengan komposisi filler 65% dan matriks 35%, diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 311,99 gram, lateks cair sebanyak 212,2 gram, sulfur sebanyak 31,82 gram, ZnO sebanyak 6,36 gram, dan asam stearat sebanyak 2,55 gram.

4.2 Sampel Komposit

Pada penelitian ini, telah ditentukan jumlah level dan faktor. Selanjutnya, dilakukan penetapan banyaknya sampel menggunakan metode Taguchi. Jumlah sampel yang diperoleh ditentukan berdasarkan banyaknya level dan derajat kebebasan. Dengan tiga level dan empat faktor, diperoleh derajat kebebasan sebesar 8. Berdasarkan derajat kebebasan tersebut, matriks ortogonal yang dipilih adalah matriks ortogonal 3 tingkat, yaitu L₉(3⁴). Sebagai hasilnya, jumlah sampel yang dibuat adalah 9 sampel. Demikianlah variasi sampel yang digunakan dalam penelitian ini.

SAMPLE	FILLER (%)	P. HOT PRESS (MPa)	T. Hot Press	t. Hot Press (menit)
A1	55	40	160	50
A2	55	50	170	60
A3	55	30	170	70
B1	60	40	160	70
B2	60	50	170	50
B3	60	30	150	60
C1	65	40	170	60
C2	65	50	150	70
C3	65	30	160	50

Tabel 4.7 Sampel Uji dengan Variasi Komposisi

4.3 Hasil Uji Tarik Papan Partikel Menggunakan Alat Uji Universal Testing Machine

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Fokus penelitian adalah menguji sifat mekanik suatu material menggunakan alat uji Universal Testing Machine (UTM). Alat UTM yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- 1. Nama Alat: Universal Testing Machine (UTM) Dynamic 100 k
- 2. Merek: MTS System Corp
- 3. Kapasitas Maksimum: 100 kN (kilonewton)
- 4. Kekuatan Grip: 500 psi (pound per square inch)



Gambar 4.1 Spesimen A1

Grafik tegangan-regangan seperti gambar di atas menunjukkan hubungan antara tegangan yang diberikan pada suatu material dan regangan yang dialaminya. Tegangan adalah gaya yang diterapkan per satuan luas, sedangkan regangan adalah perubahan panjang per satuan panjang. Daerah elastis adalah bagian linear dari grafik di awal. Pada daerah ini, material bersifat elastis, artinya akan kembali ke bentuk semula ketika tegangan dihilangkan. Kemudian, kemiringan daerah elastis adalah modulus young, yang merupakan ukuran kekakuan material. Yield Stress adalah tegangan di mana material mulai mengalami deformasi plastis. Hal ini berarti bahwa material tidak akan kembali ke bentuk semula ketika tegangannya dihilangkan. Ultimate *Tensile Strength* adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum patah. Ultimate Tensile Strength adalah ukuran kekuatan material. Daerah *necking* adalah daerah pada grafik di mana material mulai menipis sebelum patah. Daerah necking merupakan hasil dari material mencapai ketika setelah mencapai kekuatan tarik maksimumnya. Daerah fracture adalah daerah terjadinya material patah. Daerah fracture adalah akhir dari kurva teganganregangan.

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada kisaran 7,9 hingga 12,59 MPa sesaat sebelum mencapai area *yield Stress*,

kemudian untuk nilai *yield stress* nya adalah 12,59 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 12,672 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 12,673 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9,4 MPa. Material pada grafik di atas dapat digambarkan bahwa materialnya bersifat ulet, yang artinya material ini bisa diregangkan banyak sebelum patah. Hal ini ditunjukkan oleh daerah *necking* yang panjang. Sebaliknya untuk material yang rapuh, akan memiliki daerah *necking* yang jauh lebih pendek.



Gambar 4.2 Spesimen A2

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen A2. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 MPa hingga 12,6 MPa sesaat sebelum mencapai area *yield Stress*, kemudian untuk nilai *yield Stress* nya adalah 12,83 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 12,931 MPa, lalu *area necking* nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 12,93 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9,4 MPa.



Gambar 4.3 Spesimen A3

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen A3. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 2 MPa hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *yield Stress*, kemudian untuk nilai *yield Stress* nya adalah 20,9 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 21,113 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 21 MPa hingga 13 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 13 MPa hingga 8 MPa.



Gambar 4.4 Spesimen B1

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen B1. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3,5 hingga 13,5 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 22,5 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 22,663 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 15,5 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9,5 MPa.



Gambar 4.5 Spesimen B2

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen B2. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 hingga 17 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 27,46 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 27,711 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 27 MPa hingga 17 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 7 MPa.



Gambar 4.6 Spesimen B3

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen B3. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 15,33 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 15,922 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 15 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 10 MPa.



Gambar 4.7 Spesimen C1

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen C1. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk

daerah elastisnya berada pada 3 hingga 20 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 24,98 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 25,008 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 25 MPa hingga 15 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 15 MPa hingga 9 MPa.



Gambar 4.8 Spesimen C2

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen C2. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 5 hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 13,03 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 13,127 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada 13 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9 MPa.



Gambar 4.9 Spesimen C3

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen C3. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 MPa hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 16,022 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 16,220 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 16 MPa hingga 13 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 13 MPa hingga 11 MPa.

4.4 Analisa Hasil Pengujian Sifat Mekanik Uji Tarik dengan Universal Testing Machine

Spesimen	Variabel	Nilai
(A1)	UTS	12,672 MPa
	Yield Stress	12,6 MPa
Filler 55% P. 40 MPa	Modulus Young	0,18644 Gpa
T. 150°C t. 50 min	Strain	0,097 mm/mm
(A2)	UTS	12,931 MPa
	Yield Stress	12,83 MPa
Filler 55% P. 50 MPa	Modulus Young	2,2 Gpa
T. 160°C t. 60 min	Strain	0,0746 mm/mm
(A3)	UTS	21,113 MPa
	Yield Stress	20,9 MPa
Filler 55% P. 30 MPa	Modulus Young	16,117 Gpa
T. 170°C t. 70 min	Strain	0,0298 mm/mm

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Spesimen A

Kekuatan tarik (UTS) adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum patah. UTS dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 12,672 MPa hingga 21,113 MPa. Nilai UTS tertinggi dicapai oleh sampel A3 dengan komposisi filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 30 MPa, temperature hot press 170°C, dan waktu 70 min.

Yield Stress adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami deformasi plastis permanen. *Yield Stress* dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 12,6 MPa hingga 20,9 MPa. Nilai *Yield Stress* tertinggi dicapai oleh sampel A3 dengan filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 30 MPa, temperature hot press 170°C, dan lama waktu hot press 70 min.

Modulus Young adalah ukuran kekakuan material. Modulus Young dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0,18644 GPa hingga 2,2 GPa. Nilai Modulus Young tertinggi dicapai oleh sampel A3 dengan filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 50 MPa, temperature hot press 160°C, dan waktu 60 min.

Strain adalah perubahan panjang material akibat beban tarik. Strain dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0,0298 mm/mm hingga 0,18644 mm/mm. Nilai strain terendah dicapai oleh sampel A1 dengan filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 30 MPa, temperature hot press 170°C, dan waktu 70 min.

Berdasarkan data di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) dan Modulus Young dari spesimen papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pengolahan. Di sisi lain, nilai Strain dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur menurun seiring dengan peningkatan temperatur pengolahan [29]. Lebih lanjut, semakin tinggi nilai Modulus Young, semakin kaku material tersebut. Papan komposit biokomposit berbahan dasar cangkang telur dengan Modulus Young yang tinggi memiliki kemampuan untuk menahan deformasi dengan baik. Artinya, material tersebut tidak mudah bengkok atau melengkung saat dikenai beban. Selain itu, papan komposit bio-komposit berbahan dasar cangkang telur dengan *Ultimate Tensile Strength* yang tinggi memiliki kemampuan untuk menahan beban tarik dengan baik. Hal ini berarti material tersebut tidak mudah robek atau patah saat ditarik [30].

Spesimen	Variabel	Nilai
(B1)	UTS	22,663 MPa
	Yield Stress	22,521 MPa
Filler 60% P. 40 MPa	Modulus Young	7,127 GPa
T. 160°C t. 70 min	Strain	0,0743 mm/mm
(B2)	UTS	27,711 MPa
	Yield Stress	27,467 MPa
Filler 60% P. 50 MPa	Modulus Young	10,993 GPa
T. 170°C t. 50 min	Strain	0,0518 mm/mm
(B3)	UTS	15.922 MPa
()	Yield Stress	15,336 MPa
Filler 60% P. 30 MPa	Modulus Young	0,482 GPa
T. 150°C t. 60 min	Strain	0,0783 mm/mm

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Spesimen B

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 15.922 MPa hingga 27.711 MPa. Nilai UTS tertinggi tercatat pada sampel B2 dengan filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu 170°C, dan waktu 50 menit.

Selain itu, *Yield Stress* dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 15.336 MPa hingga 27.467 MPa, dengan nilai tertinggi pada sampel B2 yang memiliki filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu 170°C, dan waktu 50 menit.

Modulus Young dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.482 GPa hingga 10.993 GPa, dengan nilai tertinggi pada sampel B2 yang memiliki filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu 170°C, dan waktu 50 menit.

Selanjutnya, nilai Strain dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.0518 mm/mm hingga 0.0743 mm/mm, dengan nilai terendah pada sampel B3 yang memiliki filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu

170°C, dan waktu 50 menit. Dapat disimpulkan bahwa specimen B2 dengan suhu terbesar (170°C) memberikan pengaruh paling optimal terhadap hasil pengujian.

Spesimen	Variabel	Nilai
(C1)	UTS	25,008 MPa
	Yield Stress	24,985 MPa
Filler 65% P. 40 MPa	Modulus Young	6,406 GPa
T. 170°C t. 60 min	Strain	0,055 mm/mm
(C2)	UTS	13,127 MPa
	Yield Stress	13,032 MPa
Filler 65% P. 50 MPa	Modulus Young	0,121 GPa
T. 150°C t. 70 min	Strain	0,137 mm/mm
(C3)	UTS	16,220 MPa
	Yield Stress	16,022 MPa
Filler 65% P. 30 MPa	Modulus Young	7,531 GPa
T. 160°C t. 50 min	Strain	0,0839 mm/mm

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Spesimen C

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Ultimate Tensile Strength (UTS) dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 13.127 MPa hingga 25.008 MPa. Nilai UTS tertinggi tercatat pada sampel C1 dengan filler 65%, tekanan 40 MPa, suhu 170°C, dan waktu 60 menit.

Selain itu, *Yield Stress* dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 13.032 MPa hingga 24.985 MPa, dengan nilai tertinggi pada sampel C1 yang memiliki filler 65%, tekanan 40 MPa, suhu 170°C, dan waktu 60 menit.

Modulus Young dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.121 GPa hingga 7.531 GPa, dengan nilai tertinggi dicapai oleh sampel C3 yang memiliki filler 65%, tekanan 40 MPa, suhu 170°C, dan waktu 60 menit.

Selanjutnya, Strain adalah perubahan panjang material akibat beban tarik. Strain dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.055 mm/mm hingga 0.137 mm/mm. Nilai strain terendah dicapai oleh sampel C2 dengan filler 65%, tekanan 50 MPa, suhu 150°C, dan waktu 70 menit.

No	No Spesimen Komp		Variabal	N	ilai
INO	spesimen	Komposisi	variabei	Terkecil	Terbesar
		Filler 55%	UTS	12,672 MPa	
	A 1	P. 40 MPa	Yield Stress	12,6 MPa	
	AI	T. 150°C	Modulus Young	0,18644 Gpa	
1		t. 50 min	Strain	0,097 mm/mm	
1		Filler 55%	UTS		21,113 MPa
	12	P. 30 MPa	Yield Stress		20,9 MPa
	AS	Т. 170°С	Modulus Young		16,117 Gpa
		t. 70 min	Strain		0,0298 mm/mm
		B3 Filler 60% P. 30 MPa T. 150°C t. 60 min	UTS	15.922 MPa	
			Yield Stress	15,336 MPa	
B3 2 B2	B3		Modulus Young	0,482 GPa	
				0,0783	
		Strain	mm/mm		
	Filler 60%	UTS		27,711 MPa	
	в?	P. 50 MPa	Yield Stress		27,467 MPa
	D2	T. 170°C t. 50 min	Modulus Young		10,993 GPa
			Strain		0,0518 mm/mm
		Filler 65%	UTS	13,127 MPa	
	C^{2}	P. 50 MPa	Yield Stress	13,032 MPa	
	C2	Т. 150°С	Modulus Young	0,121 Gpa	
3 –		t. 70 min	Strain	0,137 mm/mm	
		Filler 65%	UTS		25,008 MPa
	C1	P. 40 MPa	Yield Stress		24,985 MPa
	CI	Т. 170°С	Modulus Young		6,406 Gpa
		t. 60 min	Strain		0,055 mm/mm

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Terbesar dan Terkecil Setiap Sampel

Tabel diatas merupakan perbandingan nilai dari terkecil hingga terbesar untuk setiap sampel. Terdapat indikasi bahwa nilai UTS dan *Yield Stress* mengalami peningkatan seiring meningkatnya temperatur *hot press*.



Gambar 4.10 Nilai Optimum

Gambar di atas menunjukkan nilai optimum dari pengujian yang telah dilakukan menggunakan analisis data dengan metode Taguchi. Nilai optimum yang diperoleh dari pengujian tarik dengan berbagai variasi dan parameter adalah dengan menggunakan komposisi *filler* sebesar 60%, tekanan *hot press* sebesar 30 MPa, temperatur *hot press* sebesar 160°C, dan waktu hot press selama 60 menit. Diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi hasil dari penelitian merupakan *temperature hot press*. Temperatur yang lebih tinggi berdampak pada sifat bahan yang semakin getas. Dapat disimpulkan bahwa temperatur *hot press* mempengaruhi kekerasan matriks dan kekerasan komposit [31].



Gambar 4.11 SN Rasio

Gambar di atas menunjukkan perubahan arah garis pada setiap parameter. Jika garis naik atau turun secara tajam, itu menunjukkan pengaruh yang signifikan. Dalam penelitian ini, SN ratio dari spesimen yang paling tinggi dicapai oleh temperatur hot press, diikuti oleh tekanan hot press, filler, dan terakhir lama waktu hot press. Setelah nilai hasil pengujian didapat, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode anova untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor atau untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh pada sampel tersebut.



Gambar 4.12 Grafik UTS Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai UTS pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 69,95%, kemudian diikuti *filler* dengan nilai sebesar 25,27%, dan terakhir adalah tekanan dengan nilai sebesar 4,05%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 0,73%.

Temperature hot press (69,95%) merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) papan partikel biokomposit berbahan dasar cangkang telur. Hal ini menunjukkan bahwa suhu *hot press* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai hasil uji tarik papan partikel. Semakin tinggi suhu hot press, semakin kuat pula papan partikel. Suhu hot press memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik papan partikel bio-komposit Semakin tinggi suhu hot press, semakin tinggi pula nilai Modulus Young papan partikel. Hal ini disebabkan oleh peningkatan luas permukaan yang menyebabkan lebih banyak interaksi antara pengisi dengan matriks karet [32].



Gambar 4.13 Grafik Yield Stress Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai *Yield Stress* pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 70,84%, kemudian diikuti *filler* dengan nilai sebesar 23,66%, dan terakhir adalah tekanan dengan nilai sebesar 4,63%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 0,87%.



Gambar 4.14 Grafik Modulus Young Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai Modulus Young pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 73,34%, kemudian diikuti waktu dengan nilai waktu sebesar 14,52%, dan terakhir adalah tekanan dengan nilai sebesar 10,29%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 1,85%. Ketika suhu meningkat selama proses vulkanisasi, molekul karet alam menjadi lebih bergerak dan reaktif. Nilai *Tensile Modulus* menunjukkan seberapa tahan material terhadap deformasi elastis. Peningkatan suhu selama vulkanisasi dapat meningkatkan Tensile Modulus karena proses tersebut mempadatkan struktur material.



Gambar 4.15 Grafik Strain Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai Strain pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 40,68%, kemudian diikuti waktu dengan nilai tekanan sebesar 30,9%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 28,41%.

No	Spesimen	Variabel	Nilai		
110	Spesimen	v unuoon	Beybland	Uji Tarik	
	A3	Tensile Modulus	2700 MPa	16117 MPa	
1	Filler 55% P. 30	Yield Stress	65 MPa	20,9 MPa	
MPa T. 170°C t. 70 min	MPa T. 170°C t. 70 min	Yield Strain	4%	2,98%	
	B2	Tensile Modulus	2700 MPa	10993 MPa	
2	Filler 60% P. 50	Yield Stress	65 MPa	27,467 MPa	
- MPa T. 1 m	MPa T. 170°C t. 50 min	Yield Strain	4%	5,18%	
	C3	Tensile Modulus	2700 MPa	7531 MPa	
3	Filler 65% P. 30	Yield Stress	65 MPa	16,022 MPa	
	MPa T. 160°C t. 50 min	Yield Strain	4%	8.39%	

Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Standar Beybland dengan Nilai Hasil Uji Tarik

Tabel hasil penelitian berikut menunjukkan perbandingan antara nilai variabel yang ingin dicapai berdasarkan standar Beybland untuk baterai elektrik dengan nilai hasil uji tarik yang telah dilakukan. Pada spesimen A, diketahui bahwa nilai uji tarik standar adalah sebesar 2700 MPa, sementara hasil pengujian tariknya adalah sebesar 16117 MPa. Dalam hal ini, hasil uji tarik melebihi nilai standar yang ingin dicapai. Kemudian, pada yield stress diketahui bahwa nilai standar sebesar 65 MPa dan nilai pengujian tarik yang didapatkan adalah sebesar 20,9 MPa. Dalam hal ini, nilai yield stress tidak mencapai nilai standar yang diinginkan. Terakhir, perbandingan yield strain standar sebesar 4% dengan nilai pengujian tarik sebesar 2,98% menunjukkan bahwa nilai pengujian tarik tidak mencapai nilai standar.

Pada spesimen B, diketahui bahwa nilai uji tarik standar adalah sebesar 2700 MPa, sementara hasil pengujian tariknya adalah sebesar 10993 MPa. Dalam hal ini, hasil uji mencapai nilai standar yang ingin didapatkan. Kemudian, pada yield stress diketahui bahwa nilai standar sebesar 65 MPa dan nilai pengujian tarik yang didapatkan adalah sebesar 27,467 MPa. Dalam hal ini, nilai yield stress tidak mencapai nilai standar yang diinginkan. Terakhir, perbandingan yield strain standar sebesar 4% dengan nilai pengujian tarik sebesar 5,18% menunjukkan bahwa nilai pengujian tarik melebihi atau mencapai nilai standar.

Pada spesimen C, diketahui bahwa nilai uji tarik standar adalah sebesar 2700 MPa, sementara hasil pengujian tariknya adalah sebesar 7531 MPa. Dalam hal ini, hasil uji tarik mencapai nilai standar yang ingin didapatkan. Kemudian, pada yield stress diketahui bahwa nilai standar sebesar 65 MPa dan nilai pengujian tarik yang didapatkan adalah sebesar 16,022 MPa. Dalam hal ini, nilai yield stress tidak mencapai nilai standar yang diinginkan. Terakhir, perbandingan yield strain standar sebesar 4% dengan nilai pengujian tarik sebesar 8,39% menunjukkan bahwa nilai pengujian tarik melebihi atau mencapai nilai standar.

	PENGUJIAN MEKANIK						
		Uji Tarik					
SAMPLE	Yield Strength (MPa)	w	Modulus Young (MPa)	W	Strain (mm/min)	w	MRPI
A1	12,6	0,07604	186,44	0,00364	0,097	0,14229	1,65135
A2	12,83	0,07743	2200	0,04300	0,0746	0,10943	95,60042
A3	20,9	0,12614	16117	0,31501	0,0298	0,04371	5079,65523
B 1	22,521	0,13592	7127	0,13930	0,0743	0,10899	995,85089
B 2	27,467	0,16577	10993	0,21486	0,0518	0,07599	2366,51813
B3	15,336	0,09256	482	0,00942	0,0783	0,11486	5,96926
C1	24,985	0,15079	6406	0,12521	0,055	0,08068	805,84538
C2	13,032	0,07865	121	0,00236	0,137	0,20097	1,33868
C3	16,022	0,09670	7531	0,14719	0,0839	0,12307	1110,08477

Gambar 4.16 Multi – Response Optimization Problems

Berdasarkan gambar berikut diketahui bahwa sampel dengan nilai optimum adalah A3 dengan nilai MRPI sebesar 5079,65523 dan variasi spesimen dengan nilai *Yield Stress* sebesar 20,9 MPa, nilai Modulus Young sebesar 16117 MPa, nilai Strain sebesar 0,0298 mm/min. Sehingga dapat diketahui dari kesembilan spesimen yang ada, A3 merupakan yang paling optimum.

Material filler berperan penting sebagai pengisi ruang dalam komposit dan untuk mencegah terjadinya porositas pada bahan komposit tersebut. Dalam penelitian ini, kami menggunakan cangkang telur sebagai filler. Terdapat tiga sampel dengan variasi filler yang berbeda, dan masing-masing sampel memiliki nilai optimum. Cangkang telur mengandung kalsium karbonat dalam jumlah tinggi, sehingga memberikan sifat keras dan kuat. Ketika cangkang telur ditambahkan ke dalam material lain, potensinya adalah meningkatkan kekuatan dan kekakuan material tersebut. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa nilai optimum terdapat pada spesimen A3 dengan komposisi filler sebesar 55%. Pada spesimen ini, nilai Tensile Modulus mencapai 16117 MPa, nilai *Yield Stress* sebesar 20,9 MPa, dan nilai Yield Strain sebesar 2,98%.

Dalam penelitian kali ini, Filler 55% menghasilkan nilai tensile modulus terbesar kemudian disusul dengan Filler 60% yaitu pada sampel B2 dengan nilai Tensile Modulus sebesar 10993 MPa, nilai *Yield Stress* sebesar 27,467
MPa, dan nilai Yield Strain sebesar 5,18%. Dan terakhir yaitu Filler 65% pada sampel C3 dengan nilai Tensile Modulus sebesar 7531 MPa, nilai *Yield Stress* sebesar 16,022 MPa, dan nilai Yield Strain sebesar 8,39%.

Disamping komposisi filler, nilai uji tarik spesimen B2 dipengaruhi oleh temperatur hot press yaitu sebesar 170°C [32]. Pada suhu tinggi terjadi peningkatan kekuatan dan kekakuan komposit namun mengurangi kelenturannya. Selain itu, ikatan antara pengisi dan karet dapat terpengaruh oleh suhu. Ikatan yang lebih kuat dapat meningkatkan sifat komposit secara keseluruhan, sementara ikatan yang lemah akibat suhu berlebihan dapat merusak sifat-sifat tersebut. Tidak hanya pengisi, matriks karet juga terpengaruh oleh suhu. Peningkatan suhu dapat mempercepat proses vulkanisasi, meningkatkan kekakuan dan kekerasan karet, tetapi mengurangi elastisitasnya. Suhu yang terlalu tinggi bahkan dapat menyebabkan degradasi karet, menurunkan kinerja keseluruhan komposit. Serbuk cangkang telur memiliki luas permukaan yang besar dan struktur permukaan yang kasar, memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan matriks karet. Protein dalam serbuk cangkang telur juga berkontribusi pada adhesi yang lebih kuat antara pengisi dan karet. Kombinasi ini menghasilkan peningkatan kekuatan tarik, ketahanan sobek, kekerasan [34].

4.5 Komparasi Dengan Nilai Standar Bayblend

Penelitian kali ini dilakukan untuk mendapatkan spesimen uji dengan nilai yang mendekati atau menyerupai dengan standar ABS. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai Tensile Modulus untuk ketiga specimen (A3, B2, dan C3) memenuhi nilai standar Bayblend. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya adalah densitas dan porositas yang mengacu pada penelitian sebelumnya [35]. Peningkatan nilai sifat mekanik hasil uji tarik dipengaruhi oleh variasi temperatur yang memiliki peranan penting dalam proses pembuatan spesimen. Peningkatan suhu vulkanisasi meningkatkan mobilitas molekul karet, dan meningkatkan Tensile Modulus. Penggunaan serbuk cangkang telur sebagai filler memberikan kontribusi tambahan pada peningkatan kekuatan tarik, ketahanan sobek, dan kekerasan

material komposit. Luas permukaan dan struktur permukaan serbuk cangkang telur yang unik, serta kandungan proteinnya, memungkinkan interaksi yang lebih kuat dengan matriks karet. Selain suhu dan jenis filler, densitas material juga berperan penting dalam menentukan sifat mekanik. Tekanan hot press dan temperatur yang lebih tinggi menghasilkan densitas yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan kekuatan material.

Kemudian untuk nilai yield stress specimen, diketahui bahwa dari ketiga nilai optimum specimen (A3, B2, dan C3) tidak ada yang memenuhi nilai standar. Ini mengindikasikan bahwa spesimen uji jauh lebih mudah mengalami deformasi plastis dibandingkan dengan standar Beyblend. Dan yang terakhir merupakan nilai yield strain specimen, diketahui bahwa specimen B2 dan C3 memenuhi nilai standar Bayblend, yaitu dengan nilai sebesar 5,18% dan 8,39% secara berurutan.



Gambar 4.17 Perbandingan Nilai Optimum Dengan Standar ABS

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

- Dengan memvariasikan komposisi dalam komposit berbahan dasar cangkan telur, peneliti mengamati perubahan nilai modulus Young, *Yield Stress*, dan *yield strain*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi serbuk cangkang telur memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekakuan, kekuatan, dan keuletan material.
- a. Diketahui bahwa untuk komposisi *filler* 55% pada sampel A, nilai tertinggi pada *tensile modulus* nya sebesar 16117 MPa, kemudian nilai *Yield Stress* nya sebesar 20,9 MPa, dan terakhir nilai yield strain nya sebesar 2,98%.
- b. Diketahui bahwa untuk komposisi *filler* 60% pada sampel B, nilai tertinggi pada *tensile modulus* nya sebesar 10993 MPa, kemudian nilai *Yield Stress* nya sebesar 27,467 MPa, dan terakhir nilai yield strain nya sebesar 5,18%.
- c. Diketahui bahwa untuk komposisi *filler* 65% pada sampel C, nilai tertinggi pada *modulus young* nya sebesar 7531 MPa, kemudian nilai *Yield Stress* nya sebesar 16,022 MPa, dan terakhir nilai *yield strain* nya sebesar 8,39%.
- Nilai optimum yang diperoleh dari pengujian tarik dengan berbagai variasi dan parameter adalah dengan menggunakan komposisi *filler* sebesar 60%, tekanan *hot press* sebesar 30 MPa, temperatur *hot press* sebesar 160°C, dan waktu *hot press* selama 60 menit.
- Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa variasi yang menjadi pengaruh paling tinggi terhadap nilai *Tensile Modulus*, *Yield Stress*, dan *yield strain* adalah temperatur pengujian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

- Untuk meningkatkan keberlanjutan, kombinasi filler cangkang telur dengan bahan daur ulang lainnya dan penelitian tentang biodegradabilitas material dapat dilakukan. Penelitian lebih lanjut ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam dan aplikasi praktis yang lebih luas untuk komposit berbasis cangkang telur.
- Analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop elektron dapat membantu memahami distribusi dan interaksi antara matriks dan filler. Penelitian juga bisa difokuskan pada pengaruh ukuran partikel cangkang telur terhadap sifat mekanis komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Murthi, "Effect of Eggshell Powder on Structural and Durability Properties of High," *Materials Today: Proceedings*, pp. 1311-1318, 2022.
- [2] P. Hiremath, "Investigation on Effect of Egg Shell Powder on Mechanical Properties of GFRP Composites," in *Materials Today: Proceedings 5*, Karnataka, India, 2018.
- [3] P. Toro, "Eggshell, A New Bio-Filler for Polypropylene Composites," *Materials Letters 61*, p. 4347–4350, 2007.
- [4] S. Jannet, "Effect Of Egg Shell Powder on The Mechanical and Microstructure Properties of AA 2024 Metal Matrix Composite," in *Materials Today: Proceedings*, Coimbatore, India, 2021.
- [5] B.W. Chong, "Properties of Concrete With Eggshell Powder: A review," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2020.
- [6] Yerramala, Amarnath, "Properties of Concrete With Eggshell Powder as Cement Replacement," *Indian Concrete Journal*, pp. 94 - 102, 2014.
- [7] P. Pliya, "Limestone Derived Eggshell Powder as a Replacement in Portland Cement Mortar," *Construction and Building Materials*, pp. 1-9, 2015.
- [8] Marium Waheed, "Channelling Eggshell Waste to Valuable and Utilizable Products: A Comprehensive Review," *Trends in Food Science & Technology*, pp. 78-90, 2020.
- [9] M. Shettar and P. Hiremath, "Investigation on Effect of Egg Shell Powder on Mechanical Properties of GFRP Composites," *Materials Today: Processing*, pp. 3014-3018, 2018.
- [10] S. Nayak, "Use off Egg Shell Particulate As Fillers E-Glass/Epoxy Composites," in Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Industrial Automation, Dubai, 2015.
- [11] P. Jagadeesh, "Effect of Natural Filler Materials on Fiber Reinforced Hybrid Polymer Composites: An Overview," *Jurnal Of Naatural Fibers*, 2020.

- [12] M. Lubis, "The Influence of Chicken Egg Shell as Fillers on Biocomposite Acrylic Resin for Denture Base," *IOP Science*, pp. 1-7, 2017.
- [13] Robert M. Jones, Mechanics of Materials Second Edition, Virginia: Taylor & Francis, 1999.
- [14] I. D. Thompson, "Biocomposites," in *Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*, Woodhead Publishing Series in Biomaterials, 2005, p. 48–58.
- [15] Noerati Kemal, "Studi Pembuatan Biokomposit Dari Limbah Tepung Manihot Esculenta Cranzt Dengan Penguat Serat Batang Semu Pisang," *Arena Tekstil*, pp. 67-72, 2021.
- [16] Z.-M. Huang, "Biocomposites," in *Comprehensive Structural Integrity* (Second Edition), Elsevier Science, 2023, pp. 197-263.
- [17] A.B. Nair, "Eco-Friendly Bio-Composites Using Natural Rubber (NR) Matrices and Natural Fiber Reinforcements," in *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*, India, Cochin University of Science and Technology, 2014, pp. 249-283.
- [18] J. Holbery and D. Houston, "Natural-Fiber-Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications," *Low-Cost Composites in Vehicle Manufacture*, pp. 80-86, 2006.
- [19] B. H. Lee, "Fabrication of Long and Discontinuous Natural Fiber Reinforced Polypropylene Biocomposites and Their Mechanical Properties," *Fibers and Polymers*, p. 83–90, 2009.
- [20] S. Radhakrishnan, "Studies on Mechanical, Thermal, and Water Immersion of Plant," *Biomass Conversion and Biorefnery*, pp. 1-23, 2023.
- [21] F. Sabah, "Failure Analysis of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Materials and Damage Modeling by Fracture," *International Journal of Performability Engineering*, pp. 1-9, 2019.
- [22] Eugene I. Rivin, Handbook on Stiffness & Damping in Mechanical Design, ASME Press, 2010.

- [23] Sidney H. Anver, Introduction to Physical Metallurgy Second Edition, New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1971.
- [24] H. A. Jaber, "Influence of Eggshell Powder on The Portland Cement Mortar Properties," in *Materials Today: Proceedings 20*, Baghdad, 2020.
- [25] T.A.N.R. Gunaratna, "Comparision of Traditional and Laboratory Methods of Sulphur," *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, pp. 1-11, 2023.
- [26] H. A. Rondón-Quintana, "The Use of Zinc Oxide in Asphalts: Review," Sustainability 2023, pp. 1-13, 2023.
- [27] Otasar, "Otasar," 2024. [Online].
- [28] JMK Gruppo, "JMK Gruppo Product," [Online].
- [29] D. Cree, "Mechanical Properties of a Bio-Composite Produced from Two Biomaterials: Polylactic Acid and Brown Eggshell Waste Fillers," *Waste MDPI*, pp. 740-760, 2023.
- [30] K. Khotimah, "Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Komposit dari Alginat dan Karagenan," *Journal of Marine Research*, pp. 409-419, 2022.
- [31] H. Sulaikan, "Pengaruh Temperatur Hot-Press Terhadap Karakteristik Komposit Ac8a/Sicp," Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, pp. 78-84, 2013.
- [32] A. M.D, "Effect of Filler Carbonizing Temperature on the Mechanical Properties of Natural Rubber Composites," *Department of Polymer Technology*, pp. 7-10, 2011.
- [33] N. Nayiroh, "Studi Pengaruh Variasi Fraksi Volum Filler Terhadap Sifat Mekanik Komposit Matriks Polimer (PMC) Berpenguat Cangkang Kerang Hijau (Perna Viridis L.)," Wahana Fisika, pp. 48-58, 2021.
- [34] P. Intharapat, "The Potential of Chicken Eggshell Waste as a Bio-filler Filled Epoxidized Natural Rubber (ENR) Composite and its Properties," J Polym Environ, p. 245–25, 2013.
- [35] S. D. F. Shafira, "Karakterisasi Biokomposit Berbahan Cangkang Telur Ayam Dengan Pengikat Karet Alam Sebagai Pembanding Plastik Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs)," *Teknik Mesin*, pp. 1-58, 2023.

- [36] M. F. A. Thoufan, "Karakterisasi Termomekanik Plastik Biodegredable Dari Limbah Tongkol Jagung Menggunakan Dynamic Mechanical Analyzer (Dma)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [37] A. C. Kumoro, "Sifat Mekanik Dan Morfologi Plastik Biodegradable Dari Limbah Tepung Nasi Aking Dan Tepung Tapioka Menggunakan Pemlastik Gliserol," Jurnal Teknik Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan, pp. 8-16, 2014.

LAMPIRAN I STANDAR PENELITIAN Berikut adalah perbandingan detail antara **ASTM D638** (sifat tarik plastik) dan **ASTM D1076** (spesifikasi lateks karet alami) dalam bentuk tabel:

Agnali	A STM D629 (Sifet Towik Diagtik)	ASTM D1076 (Spesifikasi Lateks		
Азрек	ASTNI D050 (Silat Tarik Plastik)	Karet Alami)		
Tujuan	Mengukur sifat tarik plastik seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, elongasi, dll.	Menentukan spesifikasi untuk lateks karet alam terkonsentrasi.		
Jenis Material	Plastik (tidak diperkuat dan diperkuat), termasuk lembaran, pelat, dan material cetakan.	Lateks karet alami Hevea atau Guayule dalam 5 kategori.		
Ketebalan	\leq 14 mm (0.55 in); material lebih	Tidak berlaku batas ketebalan tertentu,		
Material	tebal perlu dimachining.	fokus pada larutan lateks cair.		
Kategori Material	Tidak ada kategori khusus; berlaku untuk semua jenis plastik sesuai spesifikasi uji.	5 kategori lateks berdasarkan metode stabilisasi dan komposisi kimia.		
Prosedur Sampling	Spesimen dipotong atau dibentuk sesuai tipe standar (I-V) dan dikondisikan sebelum uji.	Sampel diambil dari drum atau tangki menggunakan metode pencampuran homogen.		
Parameter Utama	Kekuatan tarik, elongasi, modulus elastisitas, tegangan pada yield/patah, dll.	Total solids, dry rubber content, protein content, alkalinitas, dll.		
Alat Uji	Mesin tarik dengan extensometer, mikrometer untuk dimensi spesimen.	Alat ukur viskositas, pH meter, oven pengering, dan alat titrasi.		
Metode Uji	Tarik spesimen hingga patah pada kecepatan tertentu.	Analisis total solids dengan pengeringan Titrasi alkalinitas Koagulasi lateks untuk pengukuran DRC.		
Kondisi Pengujian	Suhu dan kelembapan dikondisikan (ASTM D618).	Suhu dan kelembapan dikondisikan; lateks dicampur hingga homogen sebelum uji.		

Aspek	ASTM D638 (Sifat Tarik Plastik)	ASTM D1076 (Spesifikasi Lateks Karet Alami)
Kecepatan Pengujian	5-500 mm/min tergantung spesimen (Tabel dalam D638).	Tidak relevan; parameter fokus pada analisis kimia dan fisik lateks.
Parameter Kimia	Tidak ada pengukuran langsung parameter kimia.	Mengukur protein total, alkalinitas, kandungan logam (Cu, Mn), dan komposisi.
Pelaporan	Identifikasi material, hasil kekuatan tarik, elongasi, modulus elastisitas, dll.	Identifikasi lateks, kandungan kimia, stabilitas mekanis, total solids, dll.
Aplikasi	Digunakan untuk spesifikasi desain plastik dalam aplikasi rekayasa.	Digunakan untuk kontrol kualitas lateks dalam aplikasi industri karet.

Kesimpulan

- 1. **Ruang Lingkup**: ASTM D638 fokus pada sifat mekanik plastik padat, sementara ASTM D1076 fokus pada spesifikasi kimia dan fisik lateks cair.
- 2. **Pendekatan Pengujian**: ASTM D638 lebih bersifat mekanis (tarik spesimen hingga patah), sedangkan ASTM D1076 lebih kimiawi dan fisik untuk larutan lateks.
- 3. **Parameter yang Diukur**: ASTM D638 mengukur kekuatan tarik dan sifat elastisitas, sementara ASTM D1076 lebih banyak mengukur komposisi kimia seperti kandungan protein, alkalinitas, dan stabilitas.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method is applicable for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, ASTM standard D882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) shall be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

Note 1—This standard and ISO 527-1 address the same subject matter, but differ in technical content.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

Note 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D229 and Test Method D651.

Note 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus >20-GPa (> 3.0×10^6 -psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D3039/D3039M.

1.4 Test data obtained by this test method have been found to be useful in engineering design. However, it is important to consider the precautions and limitations of this method found in Note 2 and Section 4 before considering these data for engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

- 2.1 ASTM Standards:²
- D229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation
- D412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension
- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D651 Test Method for Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials (Withdrawn 1989)³
- D882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting
- **D883** Terminology Relating to Plastics
- D1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials
- D3039/D3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
- D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- D4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials (PA)
- D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved Dec. 15, 2014. Published March 2015. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2010 as D638 - 10. DOI: 10.1520/D0638-14.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to

Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standard:⁴

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883 and Annex A2.

4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development.

4.2 Some material specifications that require the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.3 Tensile properties are known to vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.4 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, exercise great care to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care shall be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.5 Tensile properties provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

Note 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted, generally accepted definition to describe the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of

stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stressstrain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constantrate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used take extreme care to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. Align the specimens as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. It is important that the serrations be kept clean and sharp. Should breaking in the grips occur, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used, other techniques shall be used. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubbercoated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting a uniform, controlled velocity to the movable member with

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, http://www.ansi.org.

respect to the stationary member. This velocity is to be regulated as specified in Section 8.

5.1.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of $\pm 1\%$ of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

Note 6—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Practices E4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It frequently will be necessary to perform this function daily.

5.1.6 The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1 % of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

5.1.7 Crosshead Extension Indicator—A suitable extension indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of $\pm 10\%$ of the indicated value.

5.2 *Extension Indicator* (extensometer)—A suitable instrument shall be used for determining the distance between two designated points within the gauge length of the test specimen as the specimen is stretched. For referee purposes, the extensometer must be set at the full gage length of the specimen, as shown in Fig. 1. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance, or any change in it, as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia at the specified speed of testing. Extensometers shall be classified and their calibration periodically verified in accordance with Practice E83.

5.2.1 *Modulus-of-Elasticity Measurements*—For modulusof-elasticity measurements, an extensometer with a maximum strain error of 0.0002 mm/mm (in./in.) that automatically and continuously records shall be used. An extensometer classified by Practice E83 as fulfilling the requirements of a B-2 classification within the range of use for modulus measurements meets this requirement.

5.2.2 Low-Extension Measurements—For elongation-atyield and low-extension measurements (nominally 20% or less), the same above extensioneter, attenuated to 20% extension, is acceptable. In any case, the extensioneter system must meet at least Class C (Practice E83) requirements, which include a fixed strain error of 0.001 strain or ± 1.0 % of the indicated strain, whichever is greater. 5.2.3 *High-Extension Measurements*—For making measurements at elongations greater than 20 %, measuring techniques with error no greater than ± 10 % of the measured value are acceptable.

5.3 *Micrometers*—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Method D5947.

6. Test Specimens

6.1 Sheet, Plate, and Molded Plastics:

6.1.1 Rigid and Semirigid Plastics—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm (0.28 in.) or less is available. The Type II specimen is recommended when a material does not break in the narrow section with the preferred Type I specimen. The Type V specimen shall be used where only limited material having a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less is available for evaluation, or where a large number of specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type IV specimen is generally used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and semirigid). The Type III specimen must be used for all materials with a thickness of greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.2 *Nonrigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type IV specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less. The Type III specimen must be used for all materials with a thickness greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.3 *Reinforced Composites*—The test specimen for reinforced composites, including highly orthotropic laminates, shall conform to the dimensions of the Type I specimen shown in Fig. 1.

6.1.4 *Preparation*—Methods of preparing test specimens include injection molding, machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 14 mm (0.55 in.) shall be machined to 14 mm (0.55 in.) for use as Type III specimens.

Note 7—Test results have shown that for some materials such as glass cloth, SMC, and BMC laminates, other specimen types should be considered to ensure breakage within the gage length of the specimen, as mandated by 7.3.

Note 8—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, exercise care in cutting the specimens parallel to the reinforcement. The reinforcement will be significantly weakened by cutting on a bias, resulting in lower laminate properties, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

Note 9—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 *Rigid Tubes*—The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after

🕼 D638 – 14



Specimen Dimensions for Thickness, T, mm (in.)^A

	7 (0.28)	or under	Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		
Dimensions (see drawings)	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	Tolerances
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO-Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)		+ 6.4 (+ 0.25)
WO-Width overall, min ^G					9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G-Gage length	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)		7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G-Gage length'				25 (1.00)		±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	$\pm 1 \ (\pm 0.04)^{C}$
RO—Outer radius (Type IV)				25 (1.00)		±1 (±0.04)

^AThickness, *T*, shall be 3.2 \pm 0.4 mm (0.13 \pm 0.02 in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, *T*, shall be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to 14 \pm 0.4 mm (0.55 \pm 0.02 in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

^{*B*}For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be 6.00 ± 0.05 mm (0.250 ± 0.002 in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D412.

^CThe Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be: $W = 3.18 \pm 0.03 \text{ mm} (0.125 \pm 0.001 \text{ in.}),$

 $L = 9.53 \pm 0.08 \text{ mm} (0.375 \pm 0.003 \text{ in.}),$

 $G = 7.62 \pm 0.02$ mm (0.300 \pm 0.001 in.), and

 $R = 12.7 \pm 0.08 \text{ mm} (0.500 \pm 0.003 \text{ in.}).$

The other tolerances are those in the table.

^DSupporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1038. ^EThe tolerances of the width at the center W_c shall be +0.00 mm, -0.10 mm (+0.000 in., -0.004 in.) compared with width W at other parts of the reduced section. Any reduction in W at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

^FFor molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) is allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness. See diagram below and this shall be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

^GOverall widths greater than the minimum indicated are used for some materials in order to avoid breaking in the grips.

"Overall lengths greater than the minimum indicated are used for some materials to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

'Test marks or initial extensometer span.

'When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.



FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics



DIMENSIONS OF TUBE SPECIMENS

Nominal Wall Thickness	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, <i>L</i> , of Specimen to Be Used for 89-mm (3.5-in.) Jaws ^A
	I	mm (in.)	
0.79 (1/32)	13.9 (0.547)	350 (13.80)	381 (15)
1.2 (3/64)	17.0 (0.670)	354 (13.92)	381 (15)
1.6 (1/16)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
2.4 (3/32)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
3.2 (1/8)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
4.8 (3/16)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
6.4 (1/4)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
7.9 (5/16)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
9.5 (3/8)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
11.1 (7/16)	51.3 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
12.7 (1/2)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)

^AFor jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 2 Diagram Showing Location of Tube Tension Test Specimens in Testing Machine

machining shall be 60 % of the original nominal wall thick-

ness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm (1 in.) shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located conveniently in the tube by separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 *Rigid Rods*—The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 % of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter.

6.4 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

6.5 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.6 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

7. Number of Test Specimens

7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

7.2 For anisotropic materials, when applicable, test five specimens, normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy.

7.3 Discard specimens that break at some flaw, or that break outside of the narrow cross-sectional test section (Fig. 1, dimension "L"), and make retests, unless such flaws constitute a variable to be studied.

Note 10—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

8. Speed of Testing

8.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. The rate of motion of the driven grip or fixture when the testing machine is running



DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diam- eter	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, <i>L</i> , of Specimen to Be Used for 89-mm (3.5-in.) Jaws ^A
		mm (in.)	
3.2 (1/8)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
4.7 (1/16)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
6.4 (1/4)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
9.5 (3/8)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
12.7 (½)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
15.9 (5/8)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
19.0 (3⁄4)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
22.2 (7/8)	51.5 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
25.4 (1)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)
31.8 (1¼)	60.9 (2.398)	398 (15.65)	419 (16.5)
38.1 (1½)	66.4 (2.615)	403 (15.87)	419 (16.5)
42.5 (1¾)	71.4 (2.812)	408 (16.06)	419 (16.5)
50.8 (2)	76.0 (2.993)	412 (16.24)	432 (17)

^AFor jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 3 Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine

idle may be used, if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

8.2 Choose the speed of testing from Table 1. Determine this chosen speed of testing by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When

TABLE 1 Designations for Speed of Testing^A

Classification ^B	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal Strain ^C Rate at Start of Test, mm/mm⋅ min (in./in.⋅min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5)± 25 %	10
Nonrigid	III	50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

^ASelect the lowest speed that produces rupture in 0.5 to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).

^BSee Terminology D883 for definitions.

^CThe initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within 0.5 to 5-min testing time.

8.3 Make modulus determinations at the speed selected for the other tensile properties when the recorder response and resolution are adequate.

9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Conditioning time is specified as a minimum. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618 unless specified differently by contract or material specification.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification.

10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of each specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) using the applicable test methods in D5947.

10.1.1 Measure the width and thickness of flat specimens at the center of each specimen and within 5 mm of each end of the gage length.

10.1.2 For injection molded specimens, the actual measurement of only one specimen from each sample will suffice when it has previously been demonstrated that the specimen-to-specimen variation in width and thickness is less than 1 %.

10.1.3 For thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.), take the width of specimens produced by a Type IV die as the distance between the cutting edges of the die in the

narrow section. For all other specimens, measure the actual width of the center portion of the specimen to be tested, unless it can be shown that the actual width of the specimen is the same as that of the die within the specimen dimension tolerances given in Fig. 1.

10.1.4 Measure the diameter of rod specimens, and the inside and outside diameters of tube specimens, to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at a minimum of two points 90° apart; make these measurements along the groove for specimens so constructed. Use plugs in testing tube specimens, as shown in Fig. 2.

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. On tube and rod specimens, the location for the grips shall be as shown in Fig. 2 and Fig. 3. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 Attach the extension indicator. When modulus is being determined, a Class B-2 or better extensioneter is required (see 5.2.1).

Note 11—Modulus of materials is determined from the slope of the linear portion of the stress-strain curve. For most plastics, this linear portion is very small, occurs very rapidly, and must be recorded automatically. The change in jaw separation is never to be used for calculating modulus or elongation.

10.4 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 8, and start the machine.

10.5 Record the load-extension curve of the specimen.

10.6 Record the load and extension at the yield point (if one exists) and the load and extension at the moment of rupture.

Note 12—If it is desired to measure both modulus and failure properties (yield or break, or both), it may be necessary, in the case of highly extensible materials, to run two independent tests. The high magnification extensioneter normally used to determine properties up to the yield point may not be suitable for tests involving high extensibility. If allowed to remain attached to the specimen, the extensioneter could be permanently damaged. A broad-range incremental extensioneter or hand-rule technique may be needed when such materials are taken to rupture.

11. Calculation

11.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1, unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the take-up of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

11.2 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load sustained by the specimen in newtons (pounds-force) by the average original cross-sectional area in the gage length segment of the specimen in square metres (square inches). Express the result in pascals (pounds-force per square inch) and report it to three significant figures as tensile strength at yield or tensile strength at break, whichever term is applicable. When a nominal yield or break load less than the maximum is present and applicable, it is

often desirable to also calculate, in a similar manner, the corresponding tensile stress at yield or tensile stress at break and report it to three significant figures (see Note A2.8).

11.3 Elongation values are valid and are reported in cases where uniformity of deformation within the specimen gage length is present. Elongation values are quantitatively relevant and appropriate for engineering design. When non-uniform deformation (such as necking) occurs within the specimen gage length nominal strain values are reported. Nominal strain values are of qualitative utility only.

11.3.1 *Percent Elongation*—Percent elongation is the change in gage length relative to the original specimen gage length, expressed as a percent. Percent elongation is calculated using the apparatus described in 5.2.

11.3.1.1 *Percent Elongation at Yield*—Calculate the percent elongation at yield by reading the extension (change in gage length) at the yield point. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.1.2 *Percent Elongation at Break*—Calculate the percent elongation at break by reading the extension (change in gage length) at the point of specimen rupture. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.2 *Nominal Strain*—Nominal strain is the change in grip separation relative to the original grip separation expressed as a percent. Nominal strain is calculated using the apparatus described in 5.1.7.

11.3.2.1 *Nominal strain at break*—Calculate the nominal strain at break by reading the extension (change in grip separation) at the point of rupture. Divide that extension by the original grip separation and multiply by 100.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the loadextension curve and dividing the difference in stress corresponding to any segment of section on this straight line by the corresponding difference in strain. All elastic modulus values shall be computed using the average original cross-sectional area in the gage length segment of the specimen in the calculations. The result shall be expressed in pascals (poundsforce per square inch) and reported to three significant figures.

11.5 Secant Modulus—At a designated strain, this shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant value shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the load-extension curve by the original average cross-sectional area of the specimen.

11.6 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and report it as the "average value" for the particular property in question.

11.7 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{\left(\sum X^{2} - n\bar{X}^{2}\right)/(n-1)}$$
(1)

where:

s = estimated standard deviation,

X = value of single observation,

n = number of observations, and

 \bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

11.8 See Annex A1 for information on toe compensation.

11.9 See Annex A3 for the determination of Poisson's Ratio.

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested; for anisotropic materials, the number of specimens tested and the direction in which they were tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Classification of extensioneters used. A description of measuring technique and calculations employed instead of a minimum Class-C extensioneter system,

12.1.9 Tensile strength at yield or break, average value, and standard deviation,

12.1.10 Tensile stress at yield or break, if applicable, average value, and standard deviation,

12.1.11 Percent elongation at yield, or break, or nominal strain at break, or all three, as applicable, average value, and standard deviation,

12.1.12 Modulus of elasticity or secant modulus, average value, and standard deviation,

12.1.13 If measured, Poisson's ratio, average value, standard deviation, and statement of whether there was proportionality within the strain range,

12.1.14 Date of test, and

12.1.15 Revision date of Test Method D638.

13. Precision and Bias⁵

13.1 *Precision*—Tables 2-4 are based on a round-robin test conducted in 1984, involving five materials tested by eight laboratories using the Type I specimen, all of nominal 0.125-in. thickness. Each test result was based on five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

 TABLE 3 Tensile Stress at Break, 10³ psi, for Eight Laboratories,

 Five Materials^A

	Mean	S _r	S _R	l _r	I _R
Polypropylene	2.97	1.54	1.65	4.37	4.66
Cellulose acetate butyrate	4.82	0.058	0.180	0.164	0.509
Acrylic	9.09	0.452	0.751	1.27	2.13
Glass-reinforced polyester	20.8	0.233	0.437	0.659	1.24
Glass-reinforced nylon	23.6	0.277	0.698	0.784	1.98

^ATensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

TABLE 4 Elongation at Break, %, for Eight Laboratories, Five Materials⁴

	Mean	S_r	S _R	l _r	l _R
Glass-reinforced polyester	3.68	0.20	2.33	0.570	6.59
Glass-reinforced nylon	3.87	0.10	2.13	0.283	6.03
Acrylic	13.2	2.05	3.65	5.80	10.3
Cellulose acetate butyrate	14.1	1.87	6.62	5.29	18.7
Polypropylene	293.0	50.9	119.0	144.0	337.0

^ATensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

13.1.1 Tables 5-8 are based on a round-robin test conducted by the polyolefin subcommittee in 1988, involving eight polyethylene materials tested in ten laboratories. For each material, all samples were molded at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories that tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained three test results for each material. Data from some laboratories could not be used for various reasons, and this is noted in each table.

13.1.2 Tables 9 and 10 are based on a round-robin test conducted by the polyolefin subcommittee in 1988, involving three materials tested in eight laboratories. For each material, all samples were molded at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories that tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained three test results for each material.

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1125 for the 1984 round robin and RR:D20-1170 for the 1988 round robin.

TABLE 2 Modulus, 10⁶ psi, for Eight Laboratories, Five Materials

		-		-	
	Mean	S _r	S _R	I_r	I_R
Polypropylene	0.210	0.0089	0.071	0.025	0.201
Cellulose acetate butyrate	0.246	0.0179	0.035	0.051	0.144
Acrylic	0.481	0.0179	0.063	0.051	0.144
Glass-reinforced nylon	1.17	0.0537	0.217	0.152	0.614
Glass-reinforced polyester	1.39	0.0894	0.266	0.253	0.753

TABLE 5 Tensile Yield Stress, for Ten Laboratories, Eight Materials

Material	Test	Values Expressed in psi Units				
	in./min	Average	S_r	S_R	r	R
LDPE	20	1544	52.4	64.0	146.6	179.3
LDPE	20	1894	53.1	61.2	148.7	171.3
LLDPE	20	1879	74.2	99.9	207.8	279.7
LLDPE	20	1791	49.2	75.8	137.9	212.3
LLDPE	20	2900	55.5	87.9	155.4	246.1
LLDPE	20	1730	63.9	96.0	178.9	268.7
HDPE	2	4101	196.1	371.9	549.1	1041.3
HDPE	2	3523	175.9	478.0	492.4	1338.5

TABLE 6 Tensile Yield Elongation, for Eight Laboratories, Eight Materials

	Test	Values Expressed in Percent Units				
Material	Speed, in./min	Average	S _r	S _R	r	R
LDPE	20	17.0	1.26	3.16	3.52	8.84
LDPE	20	14.6	1.02	2.38	2.86	6.67
LLDPE	20	15.7	1.37	2.85	3.85	7.97
LLDPE	20	16.6	1.59	3.30	4.46	9.24
LLDPE	20	11.7	1.27	2.88	3.56	8.08
LLDPE	20	15.2	1.27	2.59	3.55	7.25
HDPE	2	9.27	1.40	2.84	3.91	7.94
HDPE	2	9.63	1.23	2.75	3.45	7.71

TABLE 7 Tensile Break Stress, for Nine Laboratories, Six Materials

Matarial	Test	Values Expressed in psi Units				
Material	in./min	Average	S_r	S_R	r	R
LDPE	20	1592	52.3	74.9	146.4	209.7
LDPE	20	1750	66.6	102.9	186.4	288.1
LLDPE	20	4379	127.1	219.0	355.8	613.3
LLDPE	20	2840	78.6	143.5	220.2	401.8
LLDPE	20	1679	34.3	47.0	95.96	131.6
LLDPE	20	2660	119.1	166.3	333.6	465.6

TABLE 8 Tensile Break Elongation, for Nine Laboratories, Six Materials

Matorial	Test		Values Exp	pressed in Pe	ercent Units	6
Material	in./min	Average	S _r	S_R	r	R
LDPE	20	567	31.5	59.5	88.2	166.6
LDPE	20	569	61.5	89.2	172.3	249.7
LLDPE	20	890	25.7	113.8	71.9	318.7
LLDPE	20	64.4	6.68	11.7	18.7	32.6
LLDPE	20	803	25.7	104.4	71.9	292.5
LLDPE	20	782	41.6	96.7	116.6	270.8

 TABLE 9 Tensile Stress at Yield, 10³ psi, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	S _r	S _R	l _r	I_R
Polypropylene	3.63	0.022	0.161	0.062	0.456
Cellulose acetate butyrate	5.01	0.058	0.227	0.164	0.642
Acrylic	10.4	0.067	0.317	0.190	0.897

13.1.3 Table 11 is based on a repeatability study involving a single laboratory. The two materials used were unfilled polypropylene types. Measurements were performed by a single technician on a single day. Each test result is an individual determination. Testing was run using two Type B-1 extensometers for transverse and axial measurements at a test speed of 5 mm/min.

13.1.4 In Tables 2-11, for the materials indicated, and for test results that derived from testing five specimens:

TABLE 10 Elongation at Yield, %, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	S _r	S _R	l _r	I_R
Cellulose acetate butyrate	3.65	0.27	0.62	0.76	1.75
Acrylic	4.89	0.21	0.55	0.59	1.56
Polypropylene	8.79	0.45	5.86	1.27	16.5

TABLE 11 Poisson's Ratio Repeatability Data for One Laboratory and Two Polypropylene Materials

Motoriolo	Values Expressed as a Dimensionless Ratio					
Ivialeriais	Average	S _r	r			
PP #1 Chord	0.412	0.009	0.026			
PP #1 Least	0.413	0.011	0.032			
Squares						
PP #2 Chord	0.391	0.009	0.026			
PP #2 Least	0.392	0.010	0.028			
Squares						

13.1.4.1 S_r is the within-laboratory standard deviation of the average; $I_r = 2.83 S_r$. (See 13.1.4.3 for application of I_r .)

13.1.4.2 S_R is the between-laboratory standard deviation of the average; $I_R = 2.83 S_R$. (See 13.1.4.4 for application of I_R .)

13.1.4.3 *Repeatability*—In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_r value for that material and condition.

13.1.4.4 *Reproducibility*—In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_R value for that material and condition. (This applies between different laboratories or between different equipment within the same laboratory.)

13.1.4.5 Any judgment in accordance with 13.1.4.3 and 13.1.4.4 will have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.1.4.6 Other formulations may give somewhat different results.

13.1.4.7 For further information on the methodology used in this section, see Practice E691.

13.1.4.8 The precision of this test method is very dependent upon the uniformity of specimen preparation, standard practices for which are covered in other documents.

13.2 *Bias*—There are no recognized standards on which to base an estimate of bias for this test method.

14. Keywords

14.1 modulus of elasticity; percent elongation; plastics; Poisson's Ratio; tensile properties; tensile strength



ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, AC, that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (*CD*) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (*B*) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (*BE*), if applicable. The

elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point *B*, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H'). This is extended to intersect the strain axis at Point B', the corrected zero-strain point. Using Point B' as zero strain, the stress at any point (G') on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of Line B'G'). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.



Some chart recorders plot the mirror image of this graph. FIG. A1.1 Material with Hookean Region



Note 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph. FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

🕼 D638 – 14

A2. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS

A2.1 *elastic limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon complete release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

Note A2.1—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress-strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

A2.2 *elongation*—the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually millimetres (inches). (Also known as *extension*.)

Note A2.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting necking phenomena, such values are only of qualitative utility after attainment of yield point. This is due to inability to ensure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

A2.3 gage length—the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

A2.4 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch). (Also known as *elastic modulus* or *Young's modulus*).

NOTE A2.3—The stress-strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress-strain curve at a low stress is usually taken as the modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit in plastics is debatable, the propriety of applying the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

A2.5 *necking*—the localized reduction in cross section which may occur in a material under tensile stress.

A2.6 *offset yield strength*—the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

Note A2.4—This measurement is useful for materials whose stressstrain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress-strain curve as follows (Fig. A2.1):

On the strain axis lay off *OM* equal to the specified offset. Draw *OA* tangent to the initial straight-line portion of the stress-strain curve

Through M draw a line MN parallel to OA and locate the intersection of MN with the stress-strain curve.

The stress at the point of intersection r is the "offset yield strength." The specified value of the offset must be stated as a percent of the original gage length in conjunction with the strength value. *Example:* 0.1 % offset yield strength = ... MPa (psi), or yield strength at 0.1 % offset ... MPa (psi).



A2.7 *percent elongation*—the elongation of a test specimen expressed as a percent of the gage length.

A2.8 percent elongation at break and yield:

A2.8.1 *percent elongation at break*—the percent elongation at the moment of rupture of the test specimen.

A2.8.2 *percent elongation at yield*—the percent elongation at the moment the yield point (A2.22) is attained in the test specimen.

A2.9 *percent reduction of area (nominal)*—the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percent of the original area.

A2.10 *percent reduction of area (true)*—the difference between the original cross-sectional area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

A2.11 *Poisson's Ratio*—The absolute value of the ratio of transverse strain to the corresponding axial strain resulting from uniformly distributed axial stress below the proportional limit of the material.

A2.12 *proportional limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

A2.13 *rate of loading*—the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons (pounds-force) per minute. The initial rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

A2.14 *rate of straining*—the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre (inches per inch) per minute, or percent elongation per unit time, usually percent elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain versus time diagram.

Note A2.5—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads only in a machine with constant rate of crosshead movement and when the specimen has a uniform original cross section, does not "neck down," and does not slip in the jaws.

A2.15 *rate of stressing (nominal)*—the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals (pounds-force per square inch) per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

Note A2.6—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

A2.16 *secant modulus*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch), and reported together with the specified stress or strain.

Note A2.7—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress-strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

A2.17 *strain*—the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

A2.17.1 *nominal strain at break*—the strain at the moment of rupture relative to the original grip separation.

A2.18 *tensile strength (nominal)*—the maximum tensile stress (nominal) sustained by the specimen during a tension test. When the maximum stress occurs at the yield point (A2.22), it shall be designated tensile strength at yield. When the maximum stress occurs at break, it shall be designated tensile strength at break.

A2.19 *tensile stress (nominal)*—the tensile load per unit area of minimum original cross section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment.

It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

Note A2.8—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility or necking, or both (A2.16), nominal stress calculations may not be meaningful beyond the yield point (A2.22) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross section. These properties are called true tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

A2.20 *tensile stress-strain curve*—a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

A2.21 *true strain* (see Fig. A2.2) is defined by the following equation for ε_T :

$$\varepsilon_T = \int_{L_o}^L dL/L = \ln L/L_o \tag{A2.1}$$

where:

dL = increment of elongation when the distance between the gage marks is L,

 L_o = original distance between gauge marks, and

L = distance between gauge marks at any time.

A2.22 *yield point*—the first point on the stress-strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. A2.2).

NOTE A2.9—Only materials whose stress-strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE A2.10—Some materials exhibit a distinct "break" or discontinuity in the stress-strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

A2.23 yield strength—the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the tensile strength shall be designated either tensile strength at yield or tensile stress at yield as required in A2.18 (Fig. A2.3). (See offset yield strength.)



FIG. A2.2 Illustration of True Strain Equation



FIG. A2.3 Tensile Designations

A2.24 *Symbols*—The following symbols may be used for the above terms:

Symbol	Term
W	Load
ΔW	Increment of load
L	Distance between gage marks at any time
Lo	Original distance between gage marks
Lu	Distance between gage marks at moment of rupture
ΔL	Increment of distance between gage marks = elongation

Α Minimum cross-sectional area at any time Original cross-sectional area A_o ΛA Increment of cross-sectional area A_u Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen Cross-sectional area at point of rupture, measured at the A_7 moment of rupture Time t Increment of time Δt Tensile stress σ Increment of stress Δσ True tensile stress σ_T Tensile strength at break (nominal) συ Tensile strength at break (true) σ_{UT} Strain 3 Increment of strain Δε Total strain, at break ε_U True strain ε_ %El Percentage elongation Y.P. Yield point

E Modulus of elasticity

A2.25 Relations between these various terms may be defined as follows:

W/A_o σ W/A σ_T W/A_o (where W is breaking load) συ = W/A_T (where W is breaking load) σ*υτ* $\Delta L/L_o = (L - L_o)/L_o$ 3 = $(L_u - L_o)/L_o$ ε_U3 $\int_{L}^{L} dL/L = InL/L$ ε_τ %El $[(\mathring{L} - L_o)/L_o] \times 100 = \varepsilon \times 100$

Percent reduction of area (nominal) = $[(A_o - A_u)/A_o] \times 100$ Percent reduction of area (true) = $[(A_o - A_T)/A_o] \times 100$ Rate of loading = $\Delta W/\Delta t$ Rate of stressing (nominal) = $\Delta \sigma/\Delta = (\Delta W]/A_o)/\Delta t$ Rate of straining = $\Delta \varepsilon/\Delta t = (\Delta L/L_o)\Delta t$

For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\sigma_{T} = \sigma(1+\varepsilon) = \sigma L/L_{o}$$
(A2.2)
$$\sigma_{UT} = \sigma_{U}(1+\varepsilon_{U}) = \sigma_{U} L_{u}/L_{o}$$
$$A = A_{o}/(1+\varepsilon)$$

A3. MEASUREMENT OF POISSON'S RATIO

A3.1. Scope

A3.1.1 This test method covers the determination of Poisson's ratio obtained from strains resulting from uniaxial stress only.

A3.1.2 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

A3.1.3 The values stated in SI units are regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

NOTE A3.1-This standard is not equivalent to ISO 527-1.

A3.2. Referenced Documents

A3.2.1 ASTM Standards:²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

- D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to

Determine the Precision of a Test Method

E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

A3.2.2 ISO Standard:⁴

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

A3.3. Terminology

A3.3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883 and Annex A2 of this standard.

A3.4. Significance and Use

A3.4.1 When uniaxial tensile force is applied to a solid, the solid stretches in the direction of the applied force (axially), but it also contracts in both dimensions perpendicular to the applied force. If the solid is homogeneous and isotropic, and the material remains elastic under the action of the applied force, the transverse strain bears a constant relationship to the axial strain. This constant, called Poisson's ratio, is defined as the negative ratio of the transverse (negative) to axial strain under uniaxial stress.

A3.4.2 Poisson's ratio is used for the design of structures in which all dimensional changes resulting from the application of force need to be taken into account and in the application of the generalized theory of elasticity to structural analysis.

Note A3.2—The accuracy of the determination of Poisson's ratio is usually limited by the accuracy of the transverse strain measurements because the percentage errors in these measurements are usually greater than in the axial strain measurements. Since a ratio rather than an absolute quantity is measured, it is only necessary to know accurately the relative value of the calibration factors of the extensometers. Also, in general, the value of the applied loads need not be known accurately.

A3.5. Apparatus

A3.5.1 Refer to 5.1 and 5.3 of this standard for the requirements of the testing machine and micrometers.

A3.5.2 For measurement of Poisson's Ratio use either a bi-axial extensometer or an axial extensometer in combination with a transverse extensometer. They must be capable of recording axial strain and transverse strain simultaneously. The extensometers shall be capable of measuring the change in strains with an accuracy of 1 % of the relevant value or better.

Note A3.3—Strain gages are used as an alternative method to measure axial and transverse strain; however, proper techniques for mounting strain gauges are crucial to obtaining accurate data. Consult strain gauge suppliers for instruction and training in these special techniques.

A3.6. Test Specimen

A3.6.1 *Specimen*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm (0.28 in.) or less is available.

A3.6.2 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form or be prepared by molding the material into the specimen shape to be tested.

NOTE A3.4—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

NOTE A3.5—Specimens prepared by injection molding have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect is more pronounced in specimens with narrow sections.

A3.6.3 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

A3.6.4 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gauge marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

A3.6.5 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

A3.7 Number of Test Specimens

A3.7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

A3.7.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy, for each sample in the case of anisotropic materials.

A3.8. Conditioning

A3.8.1 Specimens shall be conditioned and tested in accordance with the requirement shown in Section 9 of this standard.

A3.9. Procedure

A3.9.1 Measure the width and thickness of each specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) using the applicable test methods in D5947. Follow the guidelines specified in 10.1.1 and 10.1.2 of this standard.

A3.9.2 Poisson's Ratio shall be determined at a speed of 5 mm/min.

A3.9.3 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

A3.9.4 Attach the biaxial extensioneter or the axial and transverse extensioneter combination to the specimen. The transverse extensioneter should be attached to the width of the specimen.

A3.9.5 Apply a small preload (less than 5 N) to the specimen at a crosshead speed of 0.1 mm/min. This preload will eliminate any bending in the specimens.

A3.9.6 Rebalance the extensometers to zero.

A3.9.7 Run the test at 5 mm/min out to a minimum of 0.5 % strain before removing the extensometers, simultaneously recording the strain readings from the extensometers at the same applied force. The precision of the value of Poisson's Ratio will depend on the number of data points of axial and transverse strain taken. It is recommended that the data collection rate for the test be a minimum of 20 points per second (but preferably higher). This is particularly important for materials having a non linear stress to strain curve.

A3.9.8 Make the toe compensation in accordance with Annex A1. Determine the maximum strain (proportional limit) at which the curve is linear. If this strain is greater than 0.25 % the Poisson's Ratio is to be determined anywhere in this linear portion of the curve below the proportional limit. If the material does not exhibit a linear stress to strain relationship the Poisson's Ratio shall be determined within the axial strain range of 0.0005 to 0.0025 mm/mm (0.05 to 0.25 %). If the ratio is determined in this manner it shall be noted in the report that a region of proportionality of stress to strain was not evident.

Note A3.6—A suitable method for determination of linearity of the stress to strain curve is by making a series of tangent modulus measurements at different axial strain levels. Values equivalent at each strain level indicate linearity. Values showing a downward trend with increasing strain level indicate non linearity.

A3.10. Calculation

A3.10.1 *Poisson's Ratio*—The axial strain, ε_{α} , indicated by the axial extensometer, and the transverse strain, ε_{t} , indicated by the transverse extensometers, are plotted against the applied load, *P*, as shown in Fig. A3.1.

A3.10.1.1 For those materials where there is proportionality of stress to strain and it is possible to determine a modulus of elasticity, a straight line is drawn through each set of points within the load range used for determination of modulus, and the slopes $d\varepsilon_a / dP$ and $d\varepsilon_i / dP$, of those lines are determined. The use of a least squares method of calculation will reduce errors resulting from drawing lines. Poisson's Ratio, |µ|, is then calculated as follows:

$$|\mu| = (d\varepsilon_t/dP)/(d\varepsilon_a/dP)$$
(A3.1)

where:

$$d\varepsilon_{t} = \text{change in transverse strain,}
d\varepsilon_{a} = \text{change in axial strain, and}
dP = \text{change in applied load;}
|\mu| = (d\varepsilon_{t})/(d\varepsilon_{a})$$
(A3.2)

A3.10.1.2 The errors that are introduced by drawing a straight line through the points are reduced by applying the least squares method.

A3.10.1.3 For those materials where there is no proportionality of stress to strain evident determine the ratio of $d\varepsilon_t / d\varepsilon_a$ when $d\varepsilon_a = 0.002$ (based on axial strain range of 0.0005 to 0.0025 mm/mm) and after toe compensation has been made.

$$|\mu| = d\varepsilon_t / 0.002 \tag{A3.3}$$

A3.11. Report

A3.11.1 Report the following information:

A3.11.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

- A3.11.1.2 Method of preparing test specimens,
- A3.11.1.3 Type of test specimen and dimensions,
- A3.11.1.4 Conditioning procedure used,
- A3.11.1.5 Atmospheric conditions in test room,
- A3.11.1.6 Number of specimens tested,
- A3.11.1.7 Speed of testing,

A3.11.1.8 Classification of extensioneters used. A description of measuring technique and calculations employed,



FIG. A3.1 Plot of Strains Versus Load for Determination of Poisson's Ratio

A3.11.1.9 Poisson's ratio, average value, standard deviation, and statement of whether there was proportionality within the strain range,

A3.11.1.10 Date of test, and

A3.11.1.11 Revision date of Test Method D618.

A3.12. Precision and Bias

A3.12.1 *Precision*—The repeatability standard deviation has been determined to be the following (see Table A3.1.) An attempt to develop a full precision and bias statement for this test method will be made at a later date. For this reason, data

on precision and bias cannot be given. Because this test method does not contain a round-robin based numerical precision and bias statement, it shall not be used as a referee test method in case of dispute. Anyone wishing to participate in the development of precision and bias data should contact the Chairman, Subcommittee D20.10 Mechanical Properties, ASTM International, 100 Barr Harbor, West Conshohocken, PA 19428.

A3.13 Keywords

axial strain; Poisson's ratio; transverse strain



TABLE A3.1 Poisson's Ratio Based on One Laboratory

Material	Extensometer Type	Average	V _r ^A	V _B ^B	r ^C	R^{D}
PP Copolymer	2–point	0.408	0.011		0.031	
PP Copolymer	4–point	0.392	0.010		0.028	
PP Homopolymer with 20 % Glass	2-point	0.428	0.013		0.036	
PP Homopolymer with 20 % Glass	4–point	0.410	0.015		0.042	

 ${}^{A}S_{r}$ = within laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by first pooling the with-laboratory standard deviations of the test results from all the participating laboratories:

$$S_r = \{ [(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2] / n \}^{1}$$

^BS_B = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation: S_B = $[S_r^2 + S_L^2)^{1/2}$

 C r = within-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_{r}$

 ^{D}R = between-laboratories critical interval between two test results = 2.8 × S_R

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D638 - 10) that may impact the use of this standard. (December 15, 2014)

(1) Revised Note 1 since changes were made to ISO 527-1, and
it is no longer equivalent to this standard.
(2) Removed permissive language.

- (3) Made some editorial changes.
- (4) Moved Tables 2-5 to Section 13 on Precision and Bias.
- (5) Revised Summary of Changes section.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or a 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/



Designation: D1076 - 21

Standard Specification for Rubber—Concentrated, Ammonia Stabilized, Creamed, and Centrifuged Natural Latex¹

This standard is issued under the fixed designation D1076; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This specification covers requirements for first grade concentrated natural rubber latex (see Table 1) of the following categories:

Category 1—Centrifuged *Hevea* natural latex stabilized with ammonia only.

Category 2—Creamed *Hevea* natural latex stabilized with ammonia only.

Category 3—Centrifuged *Hevea* natural latex stabilized with low ammonia.

Category 4—Centrifuged, or centrifuged and creamed, guayule latex, or other natural rubber latex, containing less than 200 μ g total protein per gram dry weight of latex, with ammonia or other hydroxide.

Category 5—Centrifuged Hevea natural latex treated with aluminum hydroxide or by other means, stabilized with ammonia only containing less than 0.5 % non-rubber content.

1.2 This specification is not necessarily applicable to latices prepared, stabilized, or preserved by other methods, and shall not be construed as limiting the desirability or usefulness of other categories of latices. It does apply to natural latex sources other than *Hevea brasiliensis* but does not apply to compounded latex concentrates.

1.3 The analytical procedures applicable to the specifications are included and appear in the following order:

	Section
Sampling	6 and 7
Total Solids	8
Dry Rubber Content	9
Protein Content	10
Total Alkalinity	11
Viscosity	12
Sludge Content	13
Coagulum Content	14
KOH Number	15
рН	16
Mechanical Stability	17
Copper and Manganese	18

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D11 on Rubber and Rubber-like Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D11.22 on Natural Rubber.

Density	19 – 31
Volatile Fatty Acids	32 – 36
Boric Acid	37
Dry Films	38
Precision for All Test Methods	39

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.5 This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

2. Referenced Documents

- 2.1 ASTM Standards:²
- D1278 Test Methods for Rubber from Natural Sources— Chemical Analysis
- D4483 Practice for Evaluating Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Manufacturing Industries
- D5712 Test Method for Analysis of Aqueous Extractable Protein in Latex, Natural Rubber, and Elastomeric Products Using the Modified Lowry Method
- D6499 Test Method for Immunological Measurement of Antigenic Protein in Hevea Natural Rubber (HNR) and its Products
- E70 Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode

3. General Specification Requirements

3.1 In manufacturing, the material shall be processed in accordance with the best commercial practice and shall be of uniform composition.

3.2 The material shall conform to the chemical and physical requirements prescribed in Table 1.

Current edition approved June 1, 2021. Published June 2021. Originally approved in 1949. Last previous edition approved in 2020 as D1076 – 15 (2020). DOI: 10.1520/D1076-21.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

🕼 D1076 – 21

TABLE 1 R	Requirements	for \$	Specified	Latex	Categories
-----------	--------------	--------	-----------	-------	------------

			3		
	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4	Category 5
Total solids, min,%	61.3	66.0	61.3	44.0	61.3
Dry rubber content (DRC), ^A min, %	59.8	64.0	59.8	42.0	60.8
Total solids content minus dry rubber	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5
content, max,%					
Protein content (µg/g dw latex)					
Total protein by D5712				200 max	
Hevea antigenic protein by D6499				None detectable	
Total alkalinity calculated as ammonia,	0.60 min	0.55 min	0.29 max	0.60 min	0.60 min
as % latex					
Or: total alkalinity calculated as KOH,				0.10 min	
as % latex					
Sludge content, max, %	0.10	0.10	0.10	0.10	0.1
Coagulum content, max, %	0.050	0.050	0.050	0.050	0.05
KOH number, max ^B	0.80	0.80	0.80	0.80	0.8
Mechanical stability, s, min	650	650	650	90	650
Copper content, max, % of total solids	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Manganese content, max, % of total sol-	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
ids					
Color on visual inspection	r	to pronounced blue or gray	C		
Odor after neutralization with boric acid		no putrefactive odor			

^A Dry rubber content by definition and use is the acid coagulable portion of latex after washing and drying.

^B It is accepted that KOH numbers for boric acid preserved latices will be higher than normal, equivalent to the amount of boric acid in the latex.

^C Blue or gray color usually denotes iron contamination caused by improper storage in containers.

4. Significance and Use

4.1 This specification denotes limits on the 5 categories of latex as defined in the scope and defines the test methods to use for the specified properties. These test methods may be used for production control or for referee purposes.

5. Inspection

5.1 Inspection of the material shall be made as agreed upon between the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

SAMPLING AND METHODS OF TESTING

6. Preparations for Sampling

6.1 Drums:

6.1.1 *Open-Head Drums*—The top shall be removed and the contents stirred with a high-speed stirrer for 10 min.

6.1.2 *Closed-Head Drums*—If the drum has at least 2 % air space, which is 20 mm (0.75 in.) on a standard drum, lay it on its side and roll for not less than 10 min. Up end the drum to its original position and allow to stand for 15 min and then repeat the rolling operation for at least a further 10 min. In the case of drums with less than 2 % air space, all of the latex in the closed-head drum shall be transferred to a larger vessel and mixed with a high-speed stirrer for 10 min.

6.2 *Tank Cars/Tank Trucks*—Samples shall be taken from the top and bottom of the car/truck. If the total solids in the top and bottom samples agree within 0.5 %, the car shall be considered uniform enough for sampling. If top and bottom samples do not agree within 0.5 %, the contents of the car shall be agitated until samples taken from the top and bottom do agree on total solids within 0.5 %.

7. Sampling

7.1 *Drums*—After preparations for sampling, sample without delay. A suitable method is by slowly inserting a clean, dry glass tube of 10 to 15 mm internal diameter and open at both ends, until it reaches the bottom of the container. Then close the upper end of the tube and transfer the contents to a clean, dry sample bottle. Repeat the operation until sufficient latex has been obtained. Alternatively, a specially constructed metal sampling tube may be used, the bottom of which can be closed by remote control. No copper or brass shall be used in any part of its construction. At least 10 % of the drums in a shipment shall be sampled.

7.2 Tank Cars/Tank Trucks—Separate samples of at least 475 cm³ each shall be taken from the top, center, and bottom of the tank car/tank truck. Take the top sample first, then the center sample, and the bottom sample last. Use a weighted sampler with a remotely operated removable top, or other suitable sampling device that will accomplish the same results. Blend the three samples thoroughly. Each sample shall be poured immediately into a tightly stoppered container. The three samples shall be combined and thoroughly blended into a composite sample. At least 950 cm³ of this composite sample shall be used for test. One composite sample only is required from each tank car/tank truck.

8. Total Solids

8.1 *Apparatus*—Tared, covered, flat-bottom weighing dish approximately 60 mm (2.5 in.) in diameter, which may be made of glass, tinned metal, or aluminum.

8.2 Reagent-Distilled water.

8.3 *Procedure*—Weigh 2.5 \pm 0.5 g of the latex to the nearest 1 mg in the tared, covered weighing dish. Remove the cover and distribute the latex over the bottom of the dish over an area of approximately 32 cm² (5 in.²). This may be facilitated by carefully adding approximately 1 cm³ of distilled water to the latex and gently swirling the dish. With the dish uncovered, dry the specimen in a vented air oven for 16 h at 70 \pm 2°C or 2 h at 100 \pm 2°C. Replace the cover, cool in a desiccator to room

temperature, and weigh. Repeat drying and weighing until the mass is constant to 1 mg or less. Tests shall be run in duplicate and shall check within 0.15 %. The average of the two determinations shall be taken as the result.

8.4 *Calculations*—Calculate the percentage of total solids as follows:

Total solids,
$$\% = \left[(C - A)/(B - A) \right] \times 100$$
 (1)

where:

A = mass of the weighing dish, g,

B = mass of the dish plus the original sample, g, and

C = mass of the dish plus the dried sample, g.

9. Dry Rubber Content

9.1 *Apparatus*—Porcelain evaporating dish approximately 100 mm in diameter and 50 mm deep.

9.2 Reagent—Acetic acid aqueous solution (20 Mg/m³).

9.3 Weigh approximately 10 g of the latex to the nearest 1 mg into a porcelain evaporating dish, and add distilled water until the total solids content is approximately 25 %. Add sufficient acetic acid (2 %), while stirring constantly over a 5-min period, to coagulate completely the latex (80 cm³ should be sufficient). Category 4 guayule latex may also require the addition of up to 20 mL hydrochloric acid (2 %) to complete its coagulation.

9.3.1 Place the dish on a steam bath and leave undisturbed for 15 to 30 min. A clear serum should result, and 30 min is the maximum time allowed. If the serum is milky, the acid was either added too fast or in insufficient amount and the procedure should be repeated until a clear serum results. Pick up coagulated latex particles with the main body of the coagulum. Wash coagulum in running water and pass between rolls. Repeat this process 5 times and reduce the sheet of coagulated rubber to a maximum thickness of 2 mm and dry at $70 \pm 2^{\circ}C$ in a vented air oven atmosphere. If oxidation occurs, the test may be run with the option of using a drying temperature of 55 \pm 2°C, or an antioxidant may be added to the latex before coagulation. If polymer oxidation occurs, the test may be rerun with the option of using a drying temperature of $55 \pm 2^{\circ}$ C. Cool in a desiccator to room temperature and weigh. Repeat drying and weighing until the mass is constant to 1 mg or less.

9.4 Duplicate samples shall be run and shall check within 0.2 %. The average of the two determinations shall be taken as the result.

9.5 *Calculation*—Calculate the dry rubber content as follows:

Dry rubber content, $\% = \text{mass of dry coagulum/mass of sample} \times 100$ (2)

10. Protein Content

10.1 *Total Protein*—Solubilize latex proteins in 1 % SDS and 50 mM sodium phosphate buffer (final concentration) and then quantify using the modified Lowry test according to Test Method D5712.

10.1.1 Solubilization Method—Mix latex sample (500 μ l) with 450 μ l 100 mM sodium phosphate buffer (1:1) into three microfuge tubes for each sample; add 50 μ l 20 % SDS into

each tube, mix; incubate at 25°C for 2 h with shaking at 200 rpm; spin for 5 min, remove rubber pad; transfer aqueous phase into new tubes and spin again to clarify; divide each sample into 3×0.6 mL tubes for each sample (these can be stored at 4°C overnight); prepare bovine serum albumin standards in extraction buffer at 0, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 300, and 400 µg/mL; add 60 µl 1.5 mg/mL sodium deoxy-cholate to samples and standards, mix, stand for 10 min; add 120 µl of 72 % freshly mixed trichloroacetic acid and phosphotungstic acid (1:1) into each sample, mix, incubate for 30 min at RT; spin 15 min at 6000 xg, remove supernatant, air dry pellet; suspend each pellet in 250 µl 0.2 M sodium hydroxide and store at 4°C until assayed; assay within 24 h using the modified Lowry test according to Test Method D5712.

10.2 *Hevea Antigenic Protein*—Solubilize latex proteins with 1 % SDS and 50 mM sodium phosphate buffer (final concentration) then quantify using the antigenic protein assay according to Test Method D6499.

11. Total Alkalinity

11.1 Apparatus-Glass electrode pH meter.

11.2 Reagent-0.1 mol standard HCl.

11.3 *Preparation of Specimen*—Place approximately 5 g of latex into a glass weighing bottle of approximately 10-cm³ capacity, having a ground glass cap, and weigh to the nearest 1 mg. Pour the specimen into a beaker containing approximately 300 cm³ of distilled water, restopper quickly to prevent loss of ammonia, and set aside for reweighing. The specimen mass is equal to the difference between the two weighings. The transfer of the sample to the beaker shall be done in such a way that no latex runs down the outside of the weighing bottle.

11.4 *Recommended Procedure*—Insert the electrodes of a calibrated glass electrode pH meter into the liquid and note the pH. The meter should be calibrated and the pH measurements made in accordance with Test Method E70, and the directions given by the manufacturer of the meter. Slowly, and while stirring constantly, add 0.1 mol HCl until a pH of 6.0 is reached. Too rapid addition or inadequate stirring of the sample while the acid is being added may cause local coagulation of the rubber. With samples of unknown alkalinity, it is recommended that the acid be added in 1-cm³ increments, and a pH reading taken 10 s after each addition. As the pH of 6.0 is approached, smaller increments should be added.

11.5 Alternative Procedure—Prepare the sample as described in 11.3. Add 6 drops of a 0.10 % alcoholic solution of methyl red and titrate with approximately 0.1 mol HCl until the indicator turns pink. The end point occurs before complete coagulation takes place and the color change of the indicator can be detected against the white background of the slightly coagulated latex.

11.6 *Calculation*—Calculate the total alkalinity, reported as NH_3 based on grams of NH_3 per 100 g of latex as follows:

Total alkalinity, (as
$$NH_3$$
) % = $(1.7 \times M \times n)/W$ (3)

where:

M = mole of the standard HCl,