

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME DAN ARAH SERAT
BERPENGUAT SERAT BUAH PINANG MENGGUNAKAN
RESIN POLYESTER BQTN 157 TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN IMPAK**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Raju Pratama NIRM 1041820

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2021/2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME DAN ARAH SERAT BERPENGUAT SERAT BUAH PINANG MENGGUNAKAN RESIN POLYESTER BQTN 157 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN IMPAK

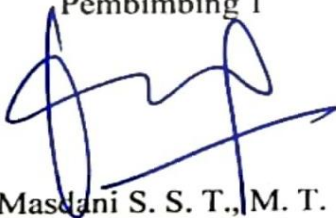
Oleh:

Raju Pratama / 1041820

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

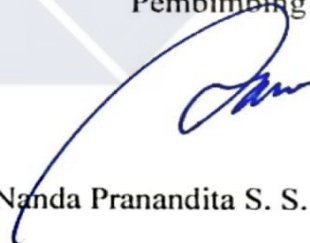
Menyetujui

Pembimbing 1




Maslani S. S. T., M. T.

Pembimbing 2



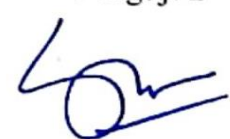
Nanda Pranandita S. S. T., M. T.

Penguji 1



Zulfitriyanto, S.S.T., M.T

Penguji 2



Muhammad Subhan, S.S.T., M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

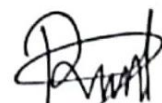
Nama Mahasiswa : Raju Pratama

NIRM : 1041820

Dengan Judul : Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Arah Serat Berpenguat Serat Buah Pinang Menggunakan Resin Polyester BQTN 157 Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya siap menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 18 Januari 2022



Raju Pratama

ABSTRAK

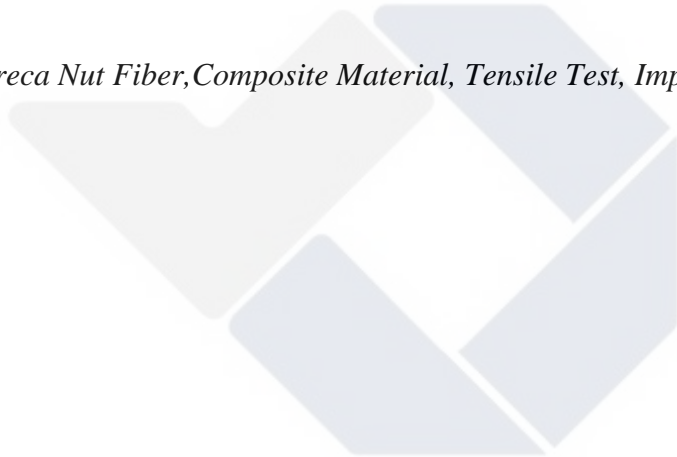
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume dan orientasi arah serat buah pinang terhadap kekuatan tarik dan impak menggunakan matrik polyester BQTN 157. Pada penelitian ini komposit dari serat buah pinang dibuat dengan variasi fraksi volume 4%, 5% dan 6% dengan arah serat horizontal, vertikal dan acak. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui elastisitas komposit terhadap beban normal sedangkan pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan dari beban kejut. Hasil dari pengujian tarik diperoleh nilai kekuatan tarik maksimum pada fraksi volume serat 4% dengan arah serat vertikal yaitu sebesar 36,3 Mpa sedangkan untuk nilai kekuatan tarik minimum pada fraksi volume serat 6% dengan arah serat horizontal yaitu sebesar 12,53 Mpa. Hasil dari pengujian impak diperoleh nilai kekuatan impact maksimum pada fraksi volume serat 4% dengan arah serat vertikal yaitu sebesar 28,92 kJ/m² sedangkan untuk nilai kekuatan impak minimum pada fraksi volume serat 6% dengan arah serat horizontal yaitu sebesar 12,59 kJ/m².

Kata Kunci: Serat Buah Pinang, Material Komposit, Uji Tarik, Uji Impak

ABSTRACT

This study aims to find out the influence of variations in volume fraction and orientation of the direction of betel nut fiber on tensile strength and impact using polyester matrix BQTN 157. In this study a composite of betel nut fibers was made with variations in volume fractions of 4%, 5% and 6% with horizontal, vertical and random fiber direction. Pull testing is done to determine the elasticity of composites to normal loads while impact testing is done to determine the strength of the material from the shock load. The results of the tensile test obtained a maximum tensile strength value at a fiber volume fraction of 4% with a vertical fiber direction of 36.3 Mpa while for the minimum tensile strength value at a fiber volume fraction of 6% with a horizontal fiber direction of 12.53 Mpa. The results of the impact test obtained a maximum impact strength value at a fiber volume fraction of 4% with a vertical fiber direction of 28.92 kJ/m² while for the minimum impact strength value at the fiber volume fraction of 6% with a horizontal fiber direction of 12.59 kJ/m².

Keywords: Areca Nut Fiber, Composite Material, Tensile Test, Impact Test



KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Adapun judul skripsi yang penulis ajukan adalah **“Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Arah Serat Berpenguat Serat Buah Pinang Menggunakan Resin Polyester BQTN 157 Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak”**. Adapun maksud dan tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis meyakini selama penyusunan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dan memberikan arahan serta membimbing penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta, khususnya Ayahanda Jumadi dan Ibuanda Sulastri serta kakak penulis Eka Rapih dan Dewi Aprilia yang selalu memberikan semangat, motivasi dan doa kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Masdani S. S. T., M. T. dan Bapak Nanda Pranandita S. S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 yang telah bersedia menjadi Dosen Pembimbing penulis dan telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing serta mengarahkan dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
3. Bapak Yuliyanto S. S. T., M. T. yang telah bersedia meluangkan waktunya dalam mengajarkan cara menggunakan mesin uji tarik dan berkenan memberikan masukan dan saran kepada penulis dalam proses penelitian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen, staf pengajar serta teknisi yang ada di Politeknik Manufaktur

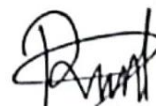
Negeri Bangka Belitung yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama berkuliah di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dan seluruh staff administrasi yang selalu sabar melayani segala administrasi selama proses penelitian ini.

5. Orang-orang terdekat, sahabat-sahabat penulis serta teman-teman seperjuangan yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang selalu memberikan dukungan kepada penulis serta telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas semuanya.

Semoga segala kebaikan dan pertolongan semuanya mendapat berkah dari Allah SWT. Dan penulis menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu penulis dengan kerendahan hati mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak demi membangun laporan penelitian ini.

Harapan penulis dalam skripsi ini semoga dapat berguna bagi piha-pihak yang terkait, lingkungan Teknik Mesin dan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta para pembaca pada umumnya.

Sungailiat, 18 Januari 2022



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman:
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II	4
DASAR TEORI	4
2.1. Komposit	4
2.2. Matriks (resin)	6
2.3. Katalis	7
2.4. Tumbuhan Pinang	8
2.5. Alkalisasi	9
2.6. PENGUJIAN MEKANIK.....	9
2.6.1. Uji Tarik (Tensile Strength).....	9
2.6.2. Uji Impak.....	11
2.7. Metode Eksperimen Faktorial	12
BAB III	13
METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Diagram Alir	13
3.2. Study Literatur	14

3.3.	Tempat Penelitian.....	14
3.4.	Persiapan Bahan dan Alat	14
3.4.1.	Bahan yang dibutuhkan	14
3.4.2.	Peralatan yang dibutuhkan	17
3.5.	Pembuatan Cetakan.....	18
3.6.	Perlakuan Serat Buah Pinang	19
3.6.1.	Pengambilan Serat Buah Pinang	19
3.6.2.	Perendaman Serat Dengan 5% NaOH	19
3.7.	Pembuatan Spesimen	19
3.8.	Pengujian Mekanik Komposit	21
3.8.1.	Pengujian Tarik.....	21
3.8.2.	Pengujian Impak.....	22
3.9.	Metode Analisa Data	23
BAB IV	24
HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1.	Hasil Pengujian.....	24
4.2.	Perhitungan Rasio Volume Matriks dan Serat yang Akan Digunakan Untuk Pengujian Tarik.....	24
4.3.	Pengujian Spesimen Uji Tarik.....	25
4.4.	Proses Pengolahan Data	26
4.4.1	Anova Untuk Kekuatan Tarik	26
4.5.	Analisis	27
4.5.1	Analisis Faktor Fraksi Volume Serat Kekuatan Tarik	27
4.5.2	Analisis Faktor Arah Serat Kekuatan Tarik.....	28
4.5.3	Analisis Interaksi Fraksi Volume dan Arah Serat Kekuatan Tarik ..	29
4.6.	Perhitungan Rasio Volume Matriks dan Serat yang Akan Digunakan Untuk Pengujian Impak	30
4.7.	Pengujian Spesimen Uji Impak	30
4.8.	Proses Pengolahan Data	32
4.8.1	Anova Untuk Kekuatan Impak.....	32
4.9.	Analisis	32
4.9.1	Analisis Faktor Fraksi Volume Serat Kekuatan Impak.....	32
4.9.2	Analisis Faktor Arah Serat Kekuatan Impak.....	33
4.9.3	Analisis Interaksi Fraksi Volume dan Arah Serat Kekuatan Impak.	34

BAB V	36
KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1. Kesimpulan	36
5.2. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA:	38
LAMPIRAN	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposit berdasarkan penempatan serat (Utama & Zakiyya, 2016)	6
Gambar 2. 2 Kurva Hubungan Gaya Tarik Terhadap Pertambahan Panjang	10
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3. 2 Serat Buah Pinang	15
Gambar 3. 3 Resin polyester BQTN 157	15
Gambar 3. 4 Katalis.....	16
Gambar 3. 5 Waxx Mirror Glaze	16
Gambar 3. 6 larutan NaOH	17
Gambar 3. 7 Dimensi spesimen uji tarik.....	18
Gambar 3. 8 Dimensi spesimen uji impak ISO 179-1	18
Gambar 3. 9 (a) Spesimen uji tarik, (b) Spesimen uji impak.....	20
Gambar 3. 10 Mesin Uji Tarik	22
Gambar 3. 11 Alat Uji Impak.....	23
Gambar 4. 1 Pengujian uji tarik	25
Gambar 4. 2 Grafik fraksi volume uji tarik.....	28
Gambar 4. 3 Grafik arah serat uji tarik	28
Gambar 4. 4 Grafik fraksi volume & arah serat uji tarik	29
Gambar 4. 5 Pengujian uji impak.....	31
Gambar 4. 6 Grafik fraksi volume uji impak	33
Gambar 4. 7 Grafik arah serat uji impak.....	34
Gambar 4. 8 Grafik fraksi volume & arah serat uji impak.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Sifat Resin Polyester dan Epoksi	7
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Tarik.....	25
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Spesimen Tarik	26
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Impak	30
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Spesimen Impak	31



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di dalam dunia industri akhir-akhir ini terlihat begitu pesat, baik di negara maju ataupun di negara berkembang. Perkembangan teknologi industri ini mendorong para peneliti untuk mengembangkan inovasi baru yang belum pernah ada sebelumnya. Inovasi yang dikembangkan yaitu inovasi yang ramah lingkungan, dengan energi yang ramah lingkungan dan terbarukan saat ini menjadi alasan utama untuk menggantikan energi yang berasal dari pertambangan dan tidak dapat diperbarui. Salah satunya adalah pengembangan inovasi dibidang material komposit. Komposit berpenguat serat alam mulai dikembangkan untuk dijadikan sebagai pengganti bahan logam, hal ini dikarenakan serat alam memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik, serta biaya produksi yang lebih murah dan dinilai lebih ramah lingkungan.

Salah satu tumbuhan yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai serat penguat material komposit yaitu serat pinang. Pinang atau yang biasanya disebut dengan bahasa latin *areca catechu* adalah salah satu tumbuhan penghasil serat alam dan bisa digunakan sebagai bahan penguat komposit. Pinang mempunyai sifat mekanik yang baik sebagai bahan penguat komposit, serat buah pinang juga dapat terdegradasi secara alami oleh tanah (biodegradable). Hal ini memberikan penguatan pada material komposit yang terbuat dari serat alam memiliki sifat mekanik yang baik dan ramah lingkungan. (Kencanawati, Sugita, Suardana, & Suyasa, 2018)

(Kencanawati, Sugita, Suardana, & Suyasa, 2018) telah melakukan sebuah penelitian tentang pengaruh perlakuan alkali serat buah pinang dengan diberi variasi perlakuan NaOH 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dengan waktu peredaman 2 jam dan didapatkan hasil kekuatan tarik maksimum pada serat yang mengalami

perlakuan NaOH 5% yaitu sebesar 165 Mpa dan kekuatan tarik minimum dengan perlakuan NaOH 10% yaitu sebesar 137 Mpa.

(Rizaldi, Rollastin, & Erwansyah, 2021) telah melakukan penelitian pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak dari serat filter rokok menggunakan matrik polyester dengan variasi fraksi volume serat 40%, 45%, dan 50%. Hasil pengujian tarik maksimum terdapat pada fraksi volume serat 40% yaitu sebesar 14,10 Mpa sedangkan untuk kekuatan impak maksimum terdapat pada fraksi volume serat 40% yaitu sebesar 0,0139 J/mm².

(Suroño & Sukoco, 2016) telah melakukan sebuah penelitian pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak dari serat ijuk menggunakan matrik polyester dengan variasi fraksi volume serat 0%, 5%, 6%, 7%, 8% dan 9%. Hasil pengujian tarik maksimum terdapat pada fraksi volume serat 9% yaitu sebesar 4,21 kg/mm² sedangkan untuk kekuatan impak maksimum terdapat pada fraksi volume serat 9% yaitu sebesar 32,7 kJ/m².

Pada penelitian pengujian tarik dan impak yang dilakukan (Sunardi, Fawaid, Lusiani, & Cahyadi, 2014) material komposit yang dibuat dengan menggunakan serat daun pandan duri dan matriks polyester dengan variasi orientasi serat horizontal, vertikal, acak, dan cross didapatkan kekuatan tarik maksimum terdapat pada komposit yang memiliki orientasi serat vertikal yaitu sebesar 20,741 N/mm². Sedangkan untuk kekuatan impak maksimum terdapat pada komposit yang memiliki orientasi serat vertikal yaitu sebesar 0,46 Joule/cm².

Berdasarkan dari data di atas maka tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak dengan variasi fraksi volume dan arah serat berpenguat serat buah pinang menggunakan resin polyester BQTN 157 dengan dilakukan perendaman larutan alkali NaOH 5% selama 2 jam.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume dan arah serat terhadap pengujian tarik dan impak berpenguat serat buah pinang?

- 2) Berapakah persentase terbaik fraksi volume serat buah pinang dengan resin polyester BQTN 157 berdasarkan sifat mekaniknya?

1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi dalam beberapa hal adalah sebagai berikut :

- 1) Bahan penguat komposit menggunakan serat buah pinang.
- 2) Menggunakan resin Polyester BQTN 157.
- 3) Penambahan 3% katalis dari volume resin.
- 4) Metode pembuatan spesimen menggunakan metode hand lay up (cetakan terbuka).
- 5) Perlakuan secara kimia dengan perendaman serat buah pinang menggunakan 5% NaOH selama 2 jam.
- 6) Variasi fraksi volume serat 4%, 5% dan 6%.
- 7) Orientasi serat horizontal, vertikal dan acak.
- 8) Pengujian tarik dengan tipe standard ASTM D638 type 1.
- 9) Pengujian dampak dengan standard ISO 179 type 1.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume dan arah serat dengan pengujian tarik dan dampak.
- 2) Untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dan dampak maksimum.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bisa memberikan manfaat dalam mempelajari karakteristik material komposit polyester dan memberikan informasi tentang pengaruh variasi fraksi volume dan arah serat buah pinang terhadap sifat mekanik.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Komposit

Komposit adalah gabungan antara dua material atau lebih yang mempunyai fasa yang berbeda dan menjadi suatu material yang baru serta mempunyai sifat yang lebih baik dari keduanya. Komposit dapat dijadikan menjadi bahan alternatif pengganti bahan logam, hal ini dikarenakan sifat dari komposit serat yang dinilai kuat dan memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan logam (Fahmi & Hermansyah, 2011).

Secara umum, bahan komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan bahan matriks. Yaitu :

a. Komposit Matriks Logam (MMC)

Komposit Matriks Logam mempunyai banyak keunggulan dibandingkan logam monolitik seperti modulus spesifik yang lebih tinggi, kekuatan spesifik yang lebih tinggi, sifat suhu tinggi yang lebih baik, dan koefisien ekspansi termal yang lebih rendah. Karena sifat-sifat ini komposit matriks logam sedang dipertimbangkan untuk berbagai aplikasi yaitu seperti nozzle ruang bakar, tabung, rumah, penukar panas, kabel, anggota struktural dan lain-lain.

b. Komposit Matriks Keramik (CMC)

CMC adalah material 2 fasa dengan 1 fasa yang berfungsi sebagai penguat dan 1 fasa yang lainnya sebagai matriks, dimana matriksnya terbuat dari keramik. Penguat yang biasanya digunakan pada CMC adalah oksida, karbida, dan nitrida. Salah satu proses pembuatan dari CMC adalah dengan proses DIMOX, yaitu proses membentuk komposit menggunakan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik di sekitar daerah pengisi (penguat).

c. Komposit Matriks Polimer (PMC)

Bahan matriks yang biasanya sering digunakan adalah polimer. Alasan digunakan bahan matriks ini yaitu kalau secara umum sifat mekanik polimer tidak

mencukupi untuk banyak tujuan struktural. Sedangkan kalau secara khusus kekuatan dan kekakuannya yang rendah dibandingkan dengan logam dan keramik. Kekurangan ini diatasi dengan memperkuat bahan lain dengan menggunakan polimer. Kedua, untuk pengolahan komposit matriks polimer tidak memerlukan tekanan dan temperatur yang tinggi. Begitu juga untuk peralatan yang dibutuhkan dalam pembuatan komposit matriks polimer yang lebih sederhana. Hal ini dijadikan alasan tentang komposit matriks polimer yang berkembang pesat dan segera menjadi populer untuk aplikasi struktural. Komposit digunakan karena sifat keseluruhan dari komposit itu sendiri lebih unggul dari masing-masing komponen misalnya seperti polimer/ keramik.

Berdasarkan penempatannya terdapat empat tipe serat pada komposit, yaitu :

1. Continuous Fiber Composite

Continuous atau uni-directional, memiliki susunan serat panjang dan lurus yang membentuk lapisan diantara matriksnya. Tipe komposit ini yang paling banyak digunakan. Kekurangan dari tipe ini yaitu lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini disebabkan karena kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

2. Woven Fiber Composite (bi-directional)

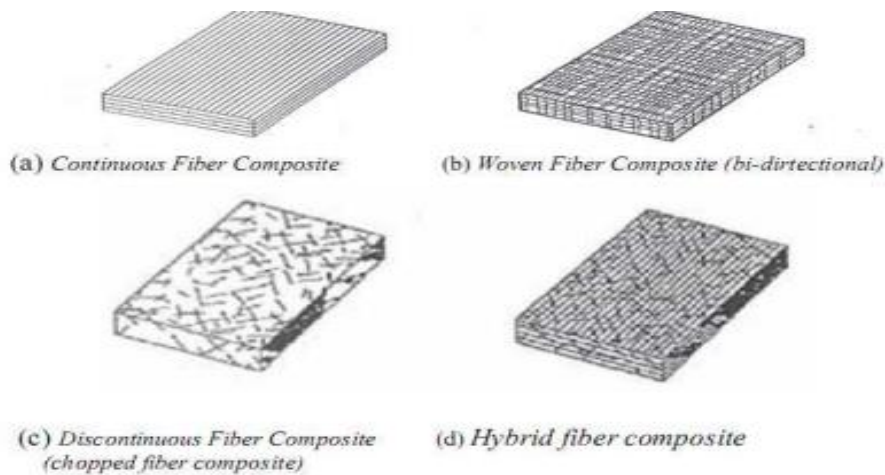
Komposit tipe ini tidak mudah terpengaruhi oleh pemisahan antar lapisan karena komposisi seratnya juga mengikat antar lapisan. Namun susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus membuat kekuatan dan kekakuannya tidak sebaik tipe continuous fiber.

3. Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)

Chopped Fiber Composite yaitu komposit yang berisi serat yang dipotong pendek atau disusun secara acak.

4. Hybrid fiber composite

Hybrid fiber composite yaitu komposit perpaduan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya bisa mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan bisa menggabungkan kelebihan keduanya.



Gambar 2. 1 Komposit berdasarkan penempatan serat (Utama & Zakiyya, 2016)

2.2. Matriks (resin)

Matriks berfungsi Sebagai pengisi ruang komposit yang berperan penting dalam transmisi tegangan, melindungi serat dari lingkungan dan melindungi permukaan serat dari pengikisan. Matriks harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan serat. Fungsi penting dari matriks dalam jaringan adalah sebagai berikut:

- a. Menghubungkan serat secara bersama-sama dan mentransfer tegangan beban ke serat. Hal ini menetapkan kekakuan dan membentuk sebuah struktur komposit.
- b. Mengisolasi serat sehingga serat yang individu bisa bertindak secara terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat penyebaran retakan.
- c. Memberikan hasil akhir komposit dengan kualitas permukaan yang sangat baik.
- d. Memberikan perlindungan untuk memperkuat serat terhadap kekuatan kimia dan kerusakan mekanis dari keausan.
- e. Berdasarkan matriks yang digunakan, karakteristik kinerja seperti fleksibilitas, kekuatan impact dan lain sebagainya juga sangat dipengaruhi. Matriks yang ulet meningkatkan ketangguhan struktur komposit.

Bahan yang biasanya sering digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit yaitu polimer polyester dan epoksi dalam bentuk resin. Resin epoksi sering digunakan sebagai matriks dalam komposit polimer dengan serat karbon

atau serat yang kekuatannya lemah. Sedangkan untuk resin polyester lebih sering digunakan untuk jenis serat alam yang tergolong lebih kuat. Dalam hal kekuatan dan penyusutan setelah perawatan, resin epoksi memang lebih unggul dibandingkan resin polyester. Namun, untuk resin polyester lebih sering digunakan karena harganya lebih murah. Perbandingan sifat resin polyester dan epoksi dapat kita lihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2. 1 Perbandingan Sifat Resin Polyester dan Epoksi

Sifat	Polyester	Epoksi
Kekuatan tarik (MPa)	40 – 90	55 – 130
Modulus elastis (Gpa)	2,0 – 4,4	2,8 – 4,2
Kekuatan impact (J/m)	10,6 – 21,2	5,3 – 53
Kerapatan (g/cm ³)	1,10 – 1,46	1,2 – 1,3

Untuk resin (matriks) yang bakal saya gunakan adalah resin polyester karena memiliki ketahanan kimia yang baik, umumnya kuat terhadap asam dan memiliki ketahanan panas yang cukup baik. Resin ini berupa cairan dengan tingkat viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan menggunakan katalis tanpa menghasilkan gas pada pengaturan sewaktu pengeseran seperti banyak resin thermoset lainnya.

2.3. Katalis

Katalis adalah zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia, sehingga reaksi tersebut dapat berlangsung lebih cepat. Dalam suatu reaksi itu katalis memang ikut terlibat, tetapi pada akhirnya reaksi terbentuk kembali seperti bentuk aslinya. Dengan begitu, katalis tidak memberikan energi tambahan ke sistem dan secara termodinamika tidak mampu mempengaruhi keseimbangan. Katalis mendorong reaksi dengan menurunkan energi aktivasi reaksi. Penurunan energi aktivasi terjadi sebagai akibat adanya interaksi antara katalis dan reaksi. Katalis menyediakan situs aktif yang dapat berperan dalam proses reaksi. Situs aktif ini

bisa berasal dari logam yang diendapkan pada penyangga atau dari penyangga itu sendiri. Logam-logam ini umumnya merupakan logam-logam transisi yang menyediakan elektron tunggal atau orbital kosong yang nantinya akan dibagikan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu.

Reaksi katalistik secara umum dibagi menjadi dua kelompok, yaitu reaksi katalik homogen dan katalik heterogen. Dalam reaksi katalik homogen, reaktan dan katalis terdapat dalam fasa yang sama dan reaksi berlangsung di semua fasa. Meskipun banyak keuntungan dari katalis logam homogen, dari sisi itu kelemahannya yaitu pada proses pemisahan dari campuran terkadang juga menghambat penggunaannya dalam dunia industri. Katalis heterogen mendapatkan kemudahan dalam memisahkan dan penggunaan ulang katalis dari suatu campuran.

2.4. Tumbuhan Pinang

Pinang adalah buah dari pohon palm Areca (*Areca catechu*), yang banyak tumbuh didataran Asia, terutama India, Indonesia dan Malaysia (Yusriah, Sapuan, Zainudin, & Mariatti, "Exploring the Potential of Betel Nut Husk Fiber as Reinforcement in Polymer Composites: Effect of Fiber Maturity, 2012). Masyarakat Indonesia kebanyakannya menggunakan biji buah pinang dengan mengunyah sebagai salah satu cara untuk menghangatkan badan dan membersihkan gigi, biasanya dikenal dengan istilah menyirih atau bisa dibilang mengunyah buah piang, daun sirih dan kapur (Barlina, 2003). Buah pinang berbentuk bulat lonjong dan panjangnya 3,5 cm – 7 cm, untuk buah yang sudah matang berwarna kuning keemasan dan untuk buah yang masih muda berwarna hijau sedangkan untuk buah yang sudah kering berwarna cokelat. (Kencanawati, Suardana, Sugita, & Suyasa, 2017). Untuk dinding buahnya berserat berserat keras yang meliputi endosperm dengan berat kulitnya sekitar 60-80% dari keseluruhan berat buahnya (Yusriah, Sapuan, Zainudin, Mariatti, & Jawaid, "Thermo-Physical , Thermal Degradation , and Flexural Properties of Betel Nut Husk Fiber Reinforced Vinyl Ester Composites, 2015). Anatomi kulit buah pinang

dibagikan menjadi 3 zona. Untuk lapisan luar ditutupi menggunakan kutikula, dan untuk lapisan tengahnya yaitu di mana seratnya tertutup, sedangkan lapisan dalamnya yang keras dan berbatu yaitu bagian bijinya (Istri, Kusuma, Putu, Suardana, & Ketut, 2016).

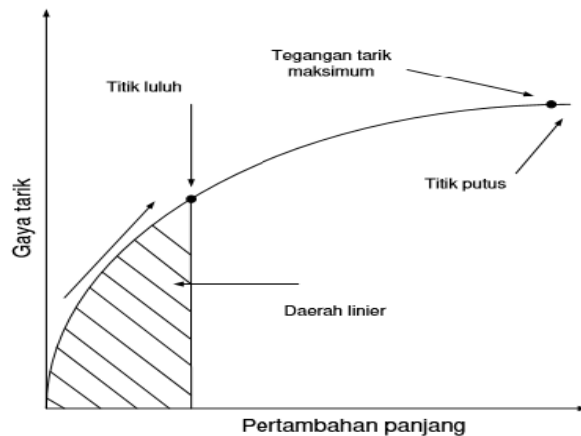
2.5. Alkalisasi

Alkalisasi pada serat yaitu proses merendam serat ke dalam basa alkali. Tujuan dari proses alkalisasi yaitu untuk menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka yaitu hemiselulosa, lignin atau pektin. Dengan berkurangnya hemiselulosa, lignin atau pektin, keterbatasan serat pada matriksnya membuat kekuatan antar muka meningkat dan akan semakin baik, sehingga kekuatan antar muka pun akan meningkat. Selain itu, pengurangan hemiselulosa, lignin atau pektin, akan meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan mechanical interlocking yang lebih baik.

2.6. PENGUJIAN MEKANIK

2.6.1. Uji Tarik (Tensile Strength)

Uji tarik adalah salah satu pengujian tegangan-regangan mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Dengan melakukan pengujian tarik kita dapat mengetahui bagaimana material tersebut bereaksi terhadap gaya tarik dan kita dapat mengetahui sejauh mana material tersebut bertambah panjang. Jika kita terus menarik material sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap dalam bentuk kurva. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarik dan perubahan panjang (Nurmaulita, 2010).



Gambar 2. 2 Kurva Hubungan Gaya Tarik Terhadap Pertambahan Panjang

Yang menjadi perhatian pada gambar di atas yaitu kemampuan maksimum material dalam menahan beban. Kemampuan ini biasanya disebut Ultimate Tensile Strength atau disingkat dengan UTS. Untuk semua material, pada tahap awal pengujian tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diterapkan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut sebagai daerah linier atau zona linier. Di dalam daerah ini, kurva pertambahan panjang dengan beban mengikuti aturan Hooke, yaitu rasio tegangan terhadap regangan adalah konstan.

Hubungan antara pertambahan panjang (ΔL) dan panjang awal benda uji (L_0) disebut sebagai regangan. Untuk menghitung kekuatan tarik yaitu sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$A_0 = B \times H \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- σ : Tegangan Tarik (Mpa)
- F_{maks} : Beban Tarik Maksimum (N)
- A_0 : Luas Penampang yang diujikan (mm^2)
- B : lebar (mm)
- H : Tinggi (mm)

2.6.2. Uji Impak

Uji impak adalah pengujian yang mengukur ketahanan material terhadap beban kejut. Hal ini lah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari bandul beban yang berayun dari ketinggian tertentu dan mengenai benda uji, sehingga benda uji mengalami deformasi maksimum hingga menyebabkan patahnya benda uji tersebut (Herman, 2009). Pengujian impak digunakan untuk menentukan kecenderungan material menjadi getas atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Pengujian impak adalah respon terhadap beban kejut atau beban mendadak (Wiley & Sons, 2007). Sebuah bandul yang memiliki ketinggian tertentu berayun dan menumbuk benda uji. Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah menumbuk benda uji merupakan energi yang diserap oleh benda uji itu sendiri (M.M.Munir).

Energi patah/serap uji dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Energi serap} = m \cdot g (h_0 - h_1) \dots\dots\dots(2.3)$$

Kekuatan impak benda uji dapat dihitung dengan persamaan :

$$HI = \frac{E}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

- Dimana :
- HI = Kekuatan impak (J/mm^2)
 - E = Energi serap/patah spesimen (joule)
 - A = Luas penampang spesimen di bawah takikan (mm^2)
 - m = Berat Pendulum (kg)
 - g = Gaya gravitasi, $10 (m/s^2)$
 - h₀ = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)
 - h₁ = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)

Takik (Notch) dalam objek uji standar dirancang sebagai konsentrasi tegangan sehingga diharapkan terjadi di bagian itu. Selain dalam bentuk V dengan sudut 45° .

2.7. Metode Eksperimen Faktorial

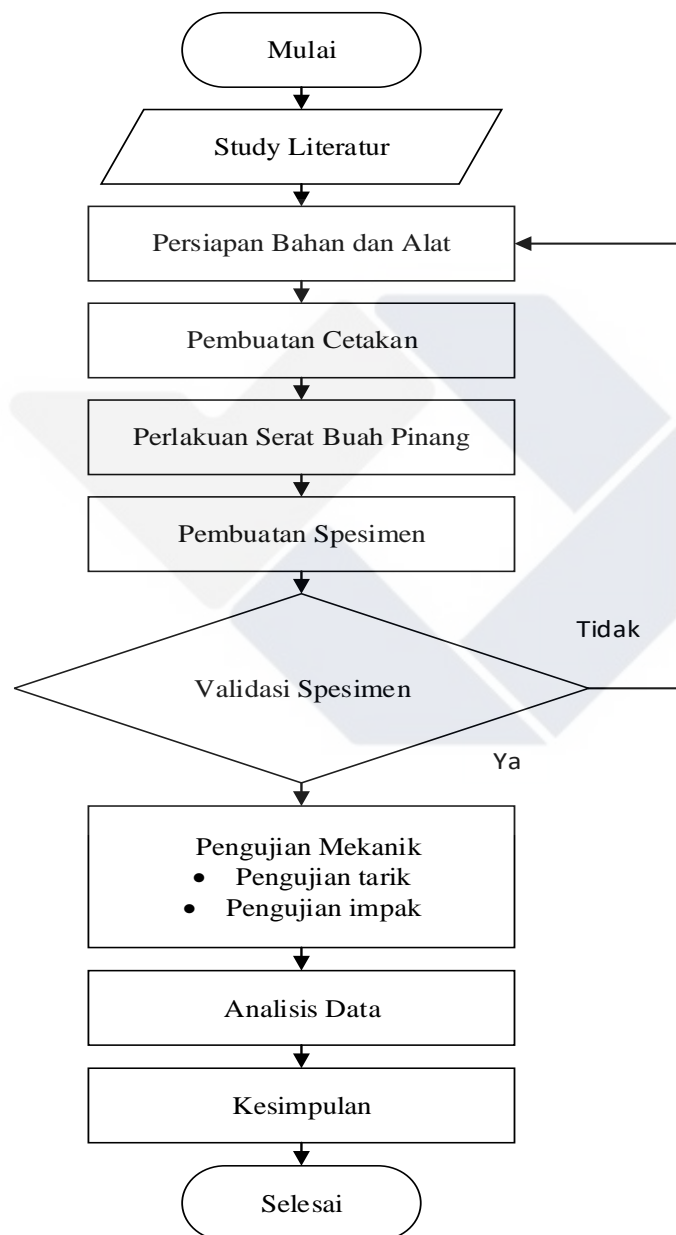
Eksperimen faktorial merupakan suatu percobaan di mana semua tingkat faktor akan digabungkan dengan tingkat faktor lainnya yang terdapat dalam percobaan. penggabungan tingkat faktor dapat dilakukan dengan melakukan perkalian antara tingkat faktor satu dengan tingkat faktor yang lainnya. Dari eksperimen ini kita bisa mengetahui pengaruh-pengaruh tunggal dari faktor yang diujikan dan faktor penggabungan dari masing-masing setiap faktor yang diujikan.

Eksperimen faktorial dapat digunakan untuk melihat perubahan nilai variabel respons yang berbeda yang diakibatkan oleh perubahan dari tingkat faktor satu dengan faktor yang lainnya. Keunggulan dari eksperimen faktorial ini adalah percobaan faktorial yang telah menggabungkan beberapa percobaan faktor tunggal, sehingga percobaan ini dapat menghemat waktu, modal, bahan, alat dan tenaga kerja yang tersedia untuk mencapai semua tujuan percobaan satu faktor sekaligus, selain itu percobaan faktorial juga bisa mengetahui adanya kerja sama antara faktor dan pengaruh dari dua faktor atau lebih. Selain mempunyai kelebihan, percobaan faktorial juga mempunyai kelemahan yaitu seperti: semakin banyak faktor yang diteliti, semakin besar kombinasi perlakuannya, sehingga ukuran eksperimen semakin besar dan akan menyebabkan ketelitiannya semakin berkurang.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2. Study Literatur

Study literatur berisi tentang informasi-informasi terkait dengan penelitian yang nantinya bakal dilakukan.

Adapun informasi-informasi tersebut:

1. Penelitian Kencanawati dkk

Pada penelitian ini melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan alkali serat buah pinang dengan diberi variasi perlakuan NaOH 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dengan waktu peredaman 2 jam terhadap kekuatan tarik.

2. Penelitian Rifky Rizaldi dkk

Pada penelitian ini melakukan penelitian pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak dari serat filter rokok menggunakan matrik polyester dengan variasi fraksi volume serat 40%, 45% dan 50%.

3. Penelitian Untoro Budi Surono dan Sukoco

Pada penelitian ini melakukan penelitian pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak dari serat ijuk menggunakan matrik polyester dengan variasi fraksi volume serat 0%, 5%, 6%, 7%, 8% dan 9%.

4. Penelitian Sunardi dkk

Pada penelitian ini melakukan penelitian serat daun pandan duri dan matriks polyester dengan variasi orientasi serat horizontal, vertikal, acak, dan cross terhadap kekuatan tarik dan impak.

3.3. Tempat Penelitian

Tempat pengambilan data penelitian skripsi saya tentang serat buah pinang bakal saya lakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

3.4. Persiapan Bahan dan Alat

3.4.1. Bahan yang dibutuhkan

Ada beberapa bahan yang harus disiapkan untuk melakukan penelitian ini antara lain:

1. Serat Buah Pinang

Serat buah pinang digunakan sebagai penguat dalam pembuatan benda uji komposit.



Gambar 3. 2 Serat Buah Pinang

2. Matriks

Dalam penelitian ini, matriks yang digunakan yaitu jenis Resin Polyester Yukalac 157 BQTN-EX yang berfungsi sebagai pengikat dan pendukung serat pada saat pencetakan spesimen komposit.



Gambar 3. 3 Resin polyester BQTN 157

3. Katalis

Katalis yang digunakan mempunyai senyawa MEKPO yaitu senyawa Metyl Etyl Keton Peroksida yang berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan polimerasi resin.



Gambar 3. 4 Katalis

4. Wax Mirror Glaze

Wax mirror glaze yang dibutuhkan berfungsi untuk mempermudah pada saat ingin membuka hasil cetakan yang dibuat.



Gambar 3. 5 Waxe Mirror Glaze

5. Larutan NaOH

Larutan NaOH berfungsi sebagai pembersih serat buah pinang dari kotoran.



Gambar 3. 6 larutan NaOH

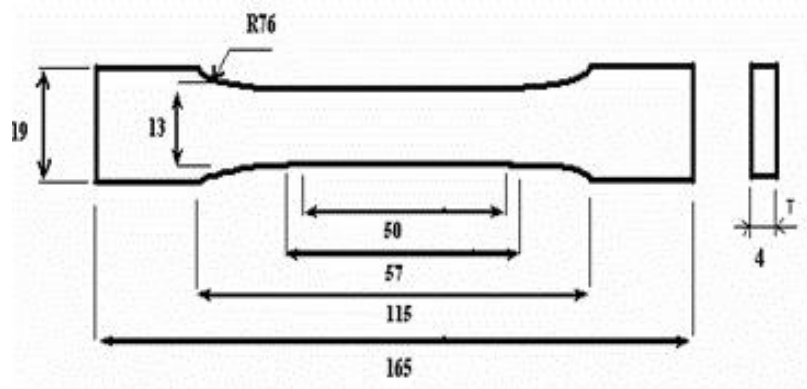
3.4.2. Peralatan yang dibutuhkan

Adapun peralatan yang harus disiapkan untuk penelitian ini antara lain:

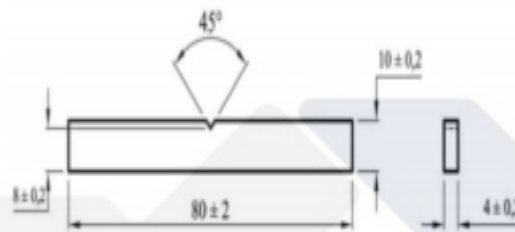
1. Timbangan digital, untuk menimbang berat serat.
2. Gelas plastik, sebagai wadah pencampuran resin dan katalis.
3. Gunting, untuk memotong serat buah pinang.
4. Mesin uji tarik dan alat uji impak.
5. Cetakan spesimen

Cetakan spesimen untuk uji tarik terbuat dari silikon yang memenuhi standart ASTM D638 type 1 dan untuk cetakan spesimen uji impak dibuat menggunakan plat dengan ukuran 20cm x 15cm yang memenuhi standart ISO 179 type 1.

Berikut ini adalah bentuk spesimen uji tarik dan uji impak yang digunakan pada penelitian yang bakal saya lakukan:



Gambar 3. 7 Dimensi spesimen uji tarik



Gambar 3. 8 Dimensi spesimen uji impak ISO 179-1
(Mulyo & Yudiono, 2018)

3.5. Pembuatan Cetakan

Berikut ini merupakan proses pembuatan cetakan:

1. Siapkan plat ukuran 20cm x 15cm untuk membuat cetakannya.
2. Lakukan proses gerinda datar untuk meratakan bidang yang tidak rata karena proses pemotongan platnya.
3. Marking benda kerja menggunakan kongkol penggores untuk mempermudah pada saat proses pengerjaan pada mesin frais.
4. Lakukan proses pengefraisan sesuai marking yang telah dibuat dan sesuai gambar standart cetakan yang telah ditentukan.
5. Setelah itu cetakan siap digunakan.

3.6. Perlakuan Serat Buah Pinang

3.6.1. Pengambilan Serat Buah Pinang

Untuk mendapatkan serat dari buah pinang ada beberapa proses yang harus kita lakukan:

1. Ambil buah pinang yang sudah matang atau kulitnya sudah berwarna kuning ke orenan.
2. Lalu jemur dibawah terik matahari sampai buah pinangnya benar-benar kering sehingga bisa diambil seratnya.
3. Setelah kering, belah buah pinangnya dan pisahkan serat dari cangkangnya.
4. Serat buah pinang siap digunakan.

3.6.2. Perendaman Serat Dengan 5% NaOH

Proses perendaman NaOH yaitu dengan cara melarutkan sebanyak 5% NaOH ke dalam air pada serat buah pinang selama 2 jam. Setelah itu dikeringkan di bawah terik sinar matahari selama \pm 4-5 jam penjemuran atau hingga kering. Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1 \text{ liter air} &= 1000 \text{ ml air} \\ &= 1 \text{ kg air} \\ &= 1000 \text{ gr air} \end{aligned}$$

Jumlah NaOH yang digunakan untuk setiap 10 liter air adalah :

- 5 % NaOH ► $5/100 \times 10000 \text{ gr air} = 500 \text{ gr NaOH}$

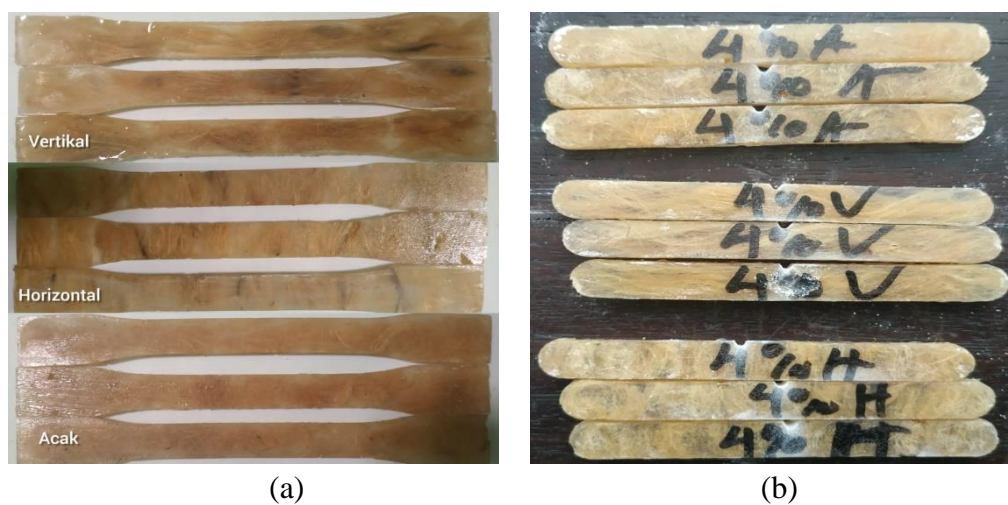
3.7. Pembuatan Spesimen

Berikut ini merupakan langkah pembuatan spesimen uji tarik dan uji impak serat buah pinang dengan metode hand lay-up:

1. Siapkan cetakan spesimen.
2. Serat yang sudah diberikan perlakuan NaOH disiapkan sesuai dengan jumlah perhitungan fraksi volume serat (persentase volume serat 4%, 5% dan 6%) terhadap volume total komposit.

3. Bersihkan cetakan, lalu olesi cetakan tersebut menggunakan wax agar pada saat mau membuka hasil benda uji tidak merekat pada cetakan dan mudah melepaskannya.
4. Susun serat ke dalam cetakan sesuai orientasi arah serat horizontal, vertikal dan acak.
5. Tuangkan resin polyester ke dalam wadah sesuai perhitungan jumlah volume resin komposit lalu campurkan dengan katalis sebanyak 3% sebagai pengeras komposit lalu diaduk sampai rata.
6. Tuangkan hasil campuran resin dan katalis tadi ke dalam cetakan yang sudah tersusun seratnya. Kemudian lakukan pemecahan gelembung udara pada resin menggunakan ujung sendok.
7. Tutup proses pencetakan menggunakan kaca secara perlahan-lahan untuk memperoleh hasil permukaan komposit yang rata.
8. Komposit dibiarkan sampai benar-benar kering, proses pengerasan komposit membutuhkan waktu \pm 1-2 jam.
9. Setelah komposit kering atau mengeras lepaskan komposit dari cetakan.
10. Komposit siap untuk dilakukan pengujian.

Hasil cetakan spesimen uji tarik dan uji impak dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. 9 (a) Spesimen uji tarik, (b) Spesimen uji impak

3.8. Pengujian Mekanik Komposit

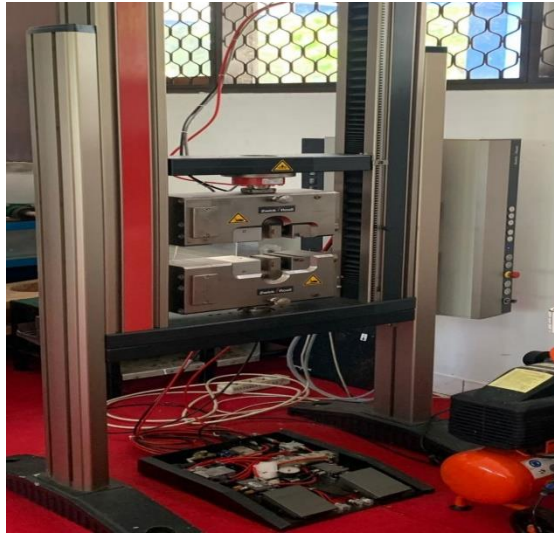
Pengujian mekanik komposit dilakukan untuk mengetahui dan mendapat nilai atau data seberapa besar sifat komposit mampu menerima perlakuan mekanik. Adapun pengujian mekanik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.8.1. Pengujian Tarik

Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan metode eksperimen langsung sesuai dengan standart ASTM D 638. Mesin Uji Tarik yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis mesin Universal Testing Machine.

Berikut ini langkah-langkah pengujian uji tarik pada material komposit:

1. Siapkan spesimen uji tarik.
2. Atur titik nol mesin uji tarik.
3. Memasang spesimen uji pada mesin uji tarik.
4. Menjepit dengan pencekam pada kedua ujungnya dengan menginjak pedal pada mesin uji tarik.
5. Menarik ke arah memanjang secara perlahan.
6. Selama penarikan setiap saat tercatat dalam bentuk grafik yang tersedia pada mesin sampai sampel putus.
7. Mengamati dan mencatat gaya pada saat titik pertambahan panjang dari sampel uji setelah putus dalam bentuk grafik.



Gambar 3. 10 Mesin Uji Tarik

3.8.2. Pengujian Impak

Untuk pengujian impak dengan standart ISO 179 menggunakan alat uji impak Charpy.

Berikut ini langkah-langkah pengujian uji impak pada material komposit

1. Siapkan spesimen uji impak.
2. Letakkan spesimen uji pada penahan yang terdapat pada alat uji impak dengan benar.
3. Pastikan jarum skala sebagai penunjuk nilai hasil uji impak material berada pada posisi nol.
4. Memutar handle untuk menaikkan pendulum yang terdapat pada alat uji impak.
5. Melepaskan pendulum dengan cara menarik handle.
6. Membaca dan mencatat nilai yang ditunjukkan oleh jarum pada skala yang sesuai.



Gambar 3. 11 Alat Uji Impak

3.9. Metode Analisa Data

Data yang didapatkan dalam penelitian ini selanjutnya diolah dan di analisa. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pengolahan dan analisa data:

- Data yang didapat setelah pengujian uji tarik nanti digunakan dalam perhitungan untuk mencari nilai kekuatan tarik komposit.
- Data yang didapat setelah pengujian uji impak nanti digunakan dalam perhitungan untuk mencari nilai ketangguhan komposit saat menerima beban kejut.
- Selanjutnya menganalisa pengaruh variasi fraksi volume dengan orientasi arah serat horizontal, vertikal dan acak berpenguat serat buah pinang pada komposit terhadap kekuatan tarik dan impak.
- Membuat tabel dan grafik uji tarik dan uji impak menggunakan metode eksperimen langsung dan menganalisa hasil dari grafik tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian tarik dan pengujian impak spesimen komposit berpenguat serat buah pinang dengan variasi fraksi volume dan variasi arah serat menggunakan resin polyester BQTN 157, dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin Universal Testing Machining, dan Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan alat uji Impak Charpy. Setelah itu dilakukan pengolahan data dan perhitungan. Hasil pengolahan data dan perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.2. Perhitungan Rasio Volume Matriks dan Serat yang Akan Digunakan Untuk Pengujian Tarik

Dalam pembuatan spesimen uji tarik diperlukan perhitungan untuk menentukan perbandingan rasio volume matriks dan serat.

Diketahui:

- Massa jenis serat buah pinang = $0,7 \text{ g/cm}^3$
- Massa jenis resin = $1,215 \text{ g/cm}^3$
- Massa jenis katalis = $1,25 \text{ g/cm}^3$

Setelah itu dilakukan perhitungan serat, resin dan katalis yang bakal digunakan pada pengujian tarik yaitu sebagai berikut:

- Menghitung massa serat dengan fraksi volume 4%
 - massa serat = volume cetakan x massa jenis serat x % serat
 - $= 9,78 \text{ cm}^3 \times 0,7 \text{ g/cm}^3 \times 4\%$
 - $= 0,27 \text{ gr}$
- Menghitung massa resin dengan fraksi volume 96%
 - massa resin = volume cetakan x massa jenis resin x % resin
 - $= 9,78 \text{ cm}^3 \times 1,215 \text{ gr/cm}^3 \times 96\%$
 - $= 13,69 \text{ gr}$

- Menghitung massa katalis
 - massa katalis = volume cetakan x massa jenis katalis x % katalis
 = $9,78 \text{ cm}^3 \times 1,25 \text{ gr/cm}^3 \times 3\%$
 = 0,39 gr

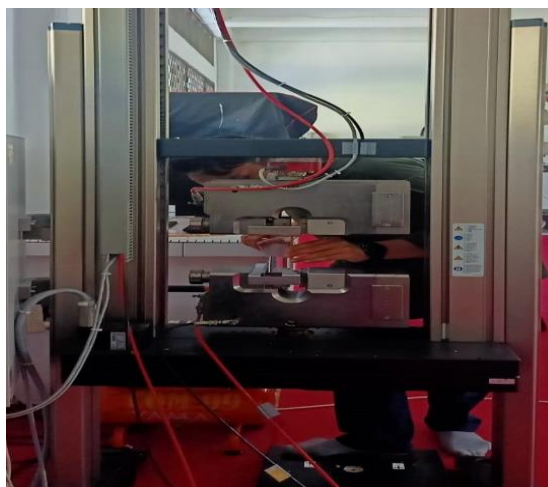
Hasil perhitungan diatas merupakan contoh dari perhitungan komposit dengan fraksi volume 4% dari variasi fraksi volume 4%, 5% dan 6%. Untuk fraksi volume yang lainnya menyesuaikan dengan rumus perhitungan diatas. Untuk hasil perhitungan lainnya dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Tarik

No	Arah Serat	Rasio Volume Matriks dan Serat (%)	Berat Serat (g)	Berat Resin (g)
1	Horizontal	96 : 4	0,27	13,69
2	Vertikal	95 : 5	0,34	13,59
3	Acak	94 :6	0,41	13,40

4.3. Pengujian Spesimen Uji Tarik

Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian tarik spesimen komposit berpenguat serat buah pinang. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari komposit serat buah pinang. Pengujian mengacu pada standar uji tarik ASTM D 638 menggunakan mesin Universal Testing Machine dilaksanakan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.



Gambar 4. 1 Pengujian uji tarik

Berdasarkan dari pengujian tarik yang telah dilakukan pada gambar 4.1, diperoleh hasil kekuatan tarik serat buah pinang dari masing-masing fraksi. Adapun data hasil pengujian untuk kekuatan tarik dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Spesimen Tarik

No	Arah	Rasio Volume Matriks dan Serat (%)	Hasil Pengujian Tarik (MPa)			
			1	2	3	Rata-rata
1	Horizontal	96 : 4	15,2	16,1	14,6	15,3
2	Horizontal	95 : 5	12,9	14,5	15,9	14,43
3	Horizontal	94 : 6	10,8	12,7	14,1	12,53
4	Vertikal	96 : 4	36,7	37,2	35,0	36,3
5	Vertikal	95 : 5	32,7	32,2	31,5	32,13
6	Vertikal	94 : 6	31,0	32,6	31,9	31,83
7	Acak	96 : 4	24,5	22,7	26,7	24,63
8	Acak	95 : 5	18,8	16,7	18,1	17,87
9	Acak	94 : 6	14,9	14,8	13,1	14,27

4.4. Proses Pengolahan Data

Dalam pengolahan data hasil pengujian tarik dilakukan uji asumsi dasar, uji anova dan uji pembandingan ganda untuk mengetahui tingkat signifikan variabel respon. Pada uji anova diketahui Ftabelnya yaitu sebesar 3,55.

4.4.1 Anova Untuk Kekuatan Tarik

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Fraksi Volume (%)	2	160,88	160,88	80,44	51,41	0,000
Arah Serat	2	1822,17	1822,17	911,08	582,23	0,000
Fraksi Volume (%) *Arah Serat	4	54,75	54,75	13,69	8,75	0,000
Error	18	28,17	28,17	1,56		
Total	26	2065,97				

Pengujian anova menunjukkan nilai signifikansi faktor a dan b sebesar 0,000 lebih kecil dari taraf nyata yang dipilih $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti semua level serta interaksi antar level mempengaruhi

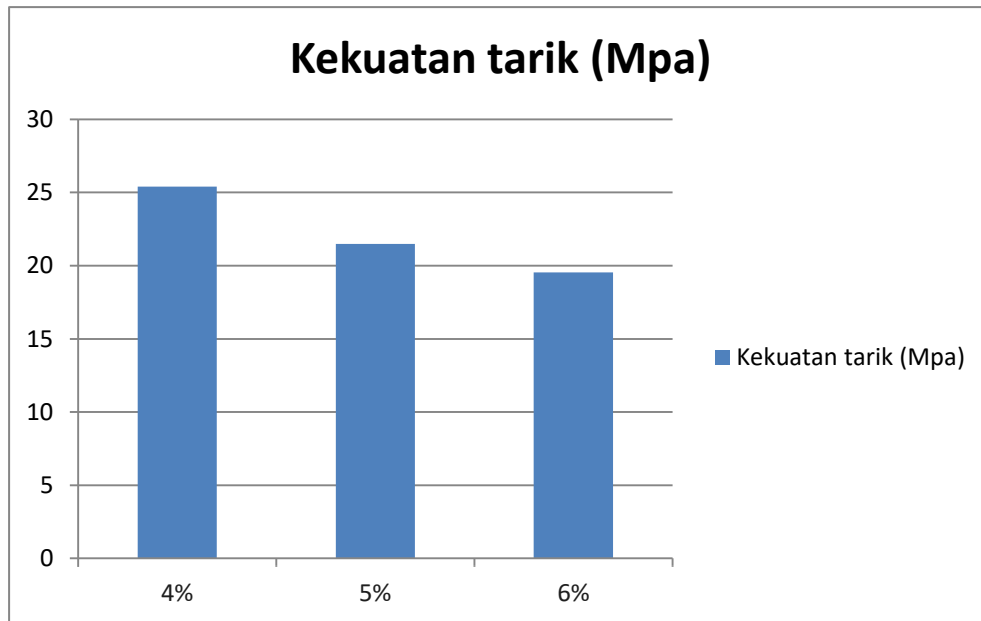
kuat tarik. Penggunaan F_{hitung} memberikan kesimpulan tentang hasil uji hipotesis analisis variasi. Keputusan yang diambil terhadap hasil analisis variasi data eksperimen untuk nilai kekuatan tarik yaitu sebagai berikut:

1. Dilihat dari faktor fraksi volume serat (faktor A), bahwa nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa fraksi volume serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
2. Dilihat dari faktor arah serat (faktor B), bahwa nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa arah serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik.
3. Dilihat dari interaksi faktor fraksi volume serat (faktor A) dan faktor arah serat (faktor B), bahwa nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa interaksi faktor fraksi volume serat dan faktor arah serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik.

4.5. Analisis

4.5.1 Analisis Faktor Fraksi Volume Serat Kekuatan Tarik

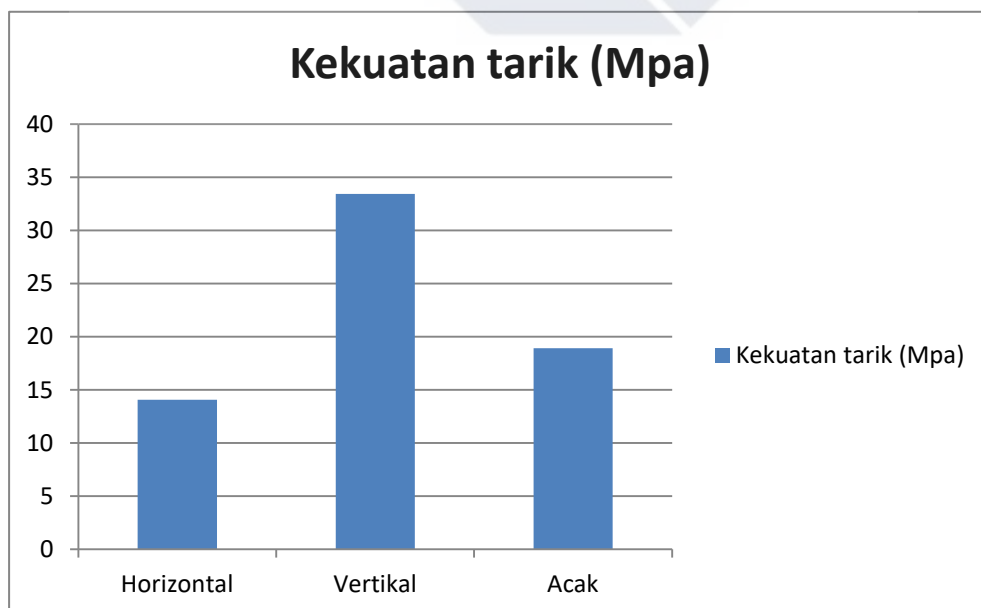
Hasil uji anova untuk faktor fraksi volume serat menunjukkan bahwa faktor tersebut berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan setiap level fraksi volume serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Fraksi volume serat 4% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dan fraksi volume serat 6% menghasilkan kekuatan tarik terendah. Besarnya kekuatan tarik terdapat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik fraksi volume uji tarik

4.5.2 Analisis Faktor Arah Serat Kekuatan Tarik

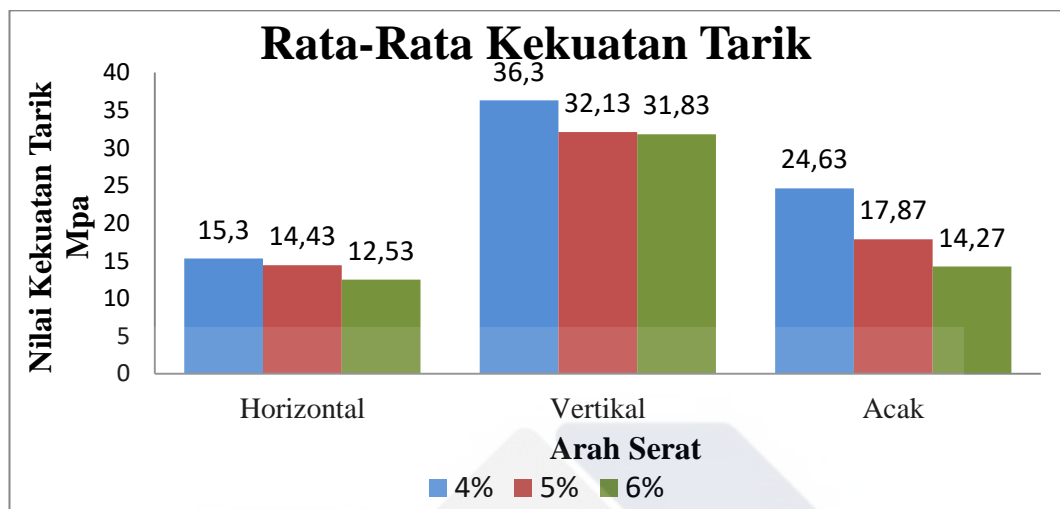
Hasil uji anova untuk faktor arah serat menunjukkan bahwa faktor tersebut berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan setiap level arah serat berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Arah serat vertikal menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dan arah serat horizontal menghasilkan kekuatan tarik terendah. Besarnya kekuatan tarik terdapat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik arah serat uji tarik

4.5.3 Analisis Interaksi Fraksi Volume dan Arah Serat Kekuatan Tarik

Untuk mengetahui hasil kekuatan tarik fraksi volume dan arah serat dapat dilihat pada grafik gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4. 4 Grafik fraksi volume & arah serat uji tarik

Berdasarkan dari grafik pengujian tarik dari gambar 4.4 di atas dapat disimpulkan bahwa setiap variasi fraksi volume dan orientasi arah serat memiliki nilai tegangan tarik yang berbeda-beda. Dimana untuk kekuatan tarik tertinggi terdapat pada fraksi volume serat 4% dengan arah serat vertikal yaitu sebesar 36,3 Mpa. Hal ini dikarenakan volume matrik yang lebih banyak menyebabkan campuran menjadi lebih baik dan membuat resin lebih mudah untuk masuk ke dalam pori-pori serat terhadap arah serat yang sesuai dengan gaya tarik yang meningkatkan kekuatan tarik komposit. Sedangkan untuk kekuatan tarik terendah terdapat pada fraksi volume 6% dengan arah serat horizontal yaitu sebesar 12,53 Mpa. Hal ini dikarenakan semakin banyak volume serat yang digunakan mengakibatkan resin tidak mampu menutupi pori- pori serat dengan arah serat yang melintang terhadap gaya tarik sehingga kekuatan tarik komposit yang dihasilkan pun semakin kecil.

4.6. Perhitungan Rasio Volume Matriks dan Serat yang Akan Digunakan

Untuk Pengujian Impak

- Menghitung massa serat dengan fraksi volume 4%
 - massa serat = volume cetakan x massa jenis serat x % serat
= $3,2 \text{ cm}^3 \times 0,7 \text{ g/cm}^3 \times 4\%$
= 0,9 gr

- Menghitung massa resin dengan fraksi volume 96%
 - massa resin = volume cetakan x massa jenis resin x % resin
= $3,2 \text{ cm}^3 \times 1,215 \text{ gr/cm}^3 \times 96\%$
= 4,47 gr

- Menghitung massa katalis
 - massa katalis = volume cetakan x massa jenis katalis x % katalis
= $3,2 \text{ cm}^3 \times 1,25 \text{ gr/cm}^3 \times 3\%$
= 0,14 gr

Hasil perhitungan diatas merupakan contoh dari perhitungan komposit dengan fraksi volume 4% dari variasi fraksi volume 4%, 5% dan 6%. Untuk fraksi volume yang lainnya menyesuaikan dengan rumus perhitungan diatas. Untuk hasil perhitungan lainnya dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Rasio Volume Untuk Spesimen Uji Impak

No	Arah Serat	Rasio Volume Matriks dan Serat (%)	Berat Serat (g)	Berat Resin (g)
1	Horizontal	96 : 4	0,9	4,47
2	Vertikal	95 : 5	0,11	4,44
3	Acak	94 :6	0,13	4,38

4.7. Pengujian Spesimen Uji Impak

Pengujian impak adalah pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan nilai ketangguhan komposit. Sifat mekanik komposit yang ingin didapatkan pada pengujian impak yaitu kekuatan impaknya. Pengujian ini mengacu pada standard uji impak ISO-179 type 1 dengan menggunakan alat uji impak charpy yang dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.



Gambar 4. 5 Pengujian uji impact

Berdasarkan pengujian impact yang telah dilakukan pada gambar 4.5, diperoleh kekuatan impact dari komposit berpenguat serat buah pinang. Adapun data hasil pengujian untuk kekuatan impact dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Spesimen Impact

No	Arah	Rasio Volume Matriks dan Serat (%)	Hasil Pengujian Impact (kJ/m ²)			
			X1	X2	X3	Rata-rata
1	Horizontal	96 : 4	17,81	17,81	24,38	20
2	Horizontal	95 : 5	11,56	14,65	14,65	13,62
3	Horizontal	94 : 6	11,56	11,56	14,65	12,59
4	Vertikal	96 : 4	31,24	27,77	27,77	28,92
5	Vertikal	95 : 5	27,77	21,06	27,77	25,53
6	Vertikal	94 : 6	17,81	21,06	21,06	19,97
7	Acak	96 : 4	17,81	27,77	27,77	24,45
8	Acak	95 : 5	17,81	21,06	24,38	21,08
9	Acak	94 : 6	11,56	11,56	17,81	13,64

4.8. Proses Pengolahan Data

Dalam pengolahan data hasil pengujian impact dilakukan uji asumsi dasar, uji anova dan uji pembandingan ganda untuk mengetahui tingkat signifikan variabel respon. Pada uji anova diketahui Ftabelnya yaitu sebesar 3,55.

4.8.1 Anova Untuk Kekuatan Impact

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Fraksi Volume (%)	2	429,46	429,46	214,73	60,80	0,000
Arah Serat	2	464,13	464,13	232,06	65,71	0,000
Fraksi Volume (%) *Arah Serat	4	65,23	65,23	16,31	4,62	0,010
Error	18	63,57	63,57	3,53		
Total	26	1022,40				

Pengujian ANOVA menunjukkan nilai signifikansi faktor a dan b sebesar 0,010 lebih kecil dari taraf nyata yang dipilih $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti semua level serta interaksi antar level mempengaruhi kuat impact. Penggunaan Fhitung memberikan kesimpulan tentang hasil uji hipotesis analisis variasi. Keputusan yang diambil terhadap hasil analisis variasi data eksperimen untuk nilai kekuatan impact yaitu sebagai berikut:

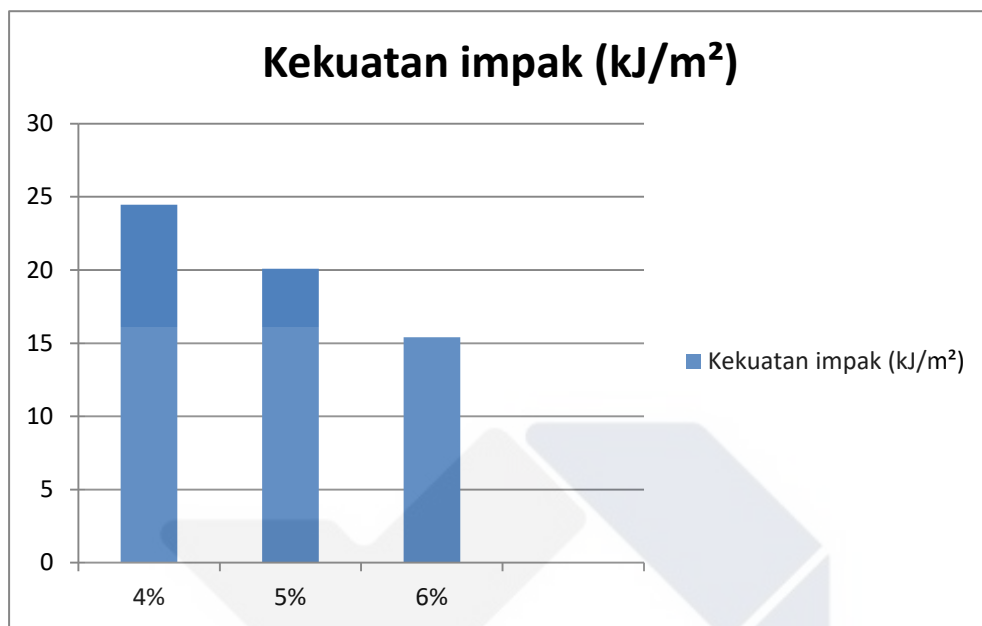
1. Dilihat dari faktor fraksi volume serat (faktor A), bahwa nilai Fhitung > Ftabel, sehingga H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa fraksi volume serat berpengaruh terhadap kekuatan impact.
2. Dilihat dari faktor arah serat (faktor A), bahwa nilai Fhitung > Ftabel, sehingga H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa arah serat berpengaruh terhadap kekuatan impact.
3. Dilihat dari interaksi faktor fraksi volume serat (faktor A) dan faktor arah serat (faktor B), bahwa nilai Fhitung > Ftabel, sehingga H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa interaksi faktor fraksi volume serat dan faktor arah serat berpengaruh terhadap kekuatan impact.

4.9. Analisis

4.9.1 Analisis Faktor Fraksi Volume Serat Kekuatan Impact

Hasil uji anova untuk faktor fraksi volume serat menunjukkan bahwa faktor tersebut berpengaruh terhadap kekuatan impact dan setiap level fraksi volume

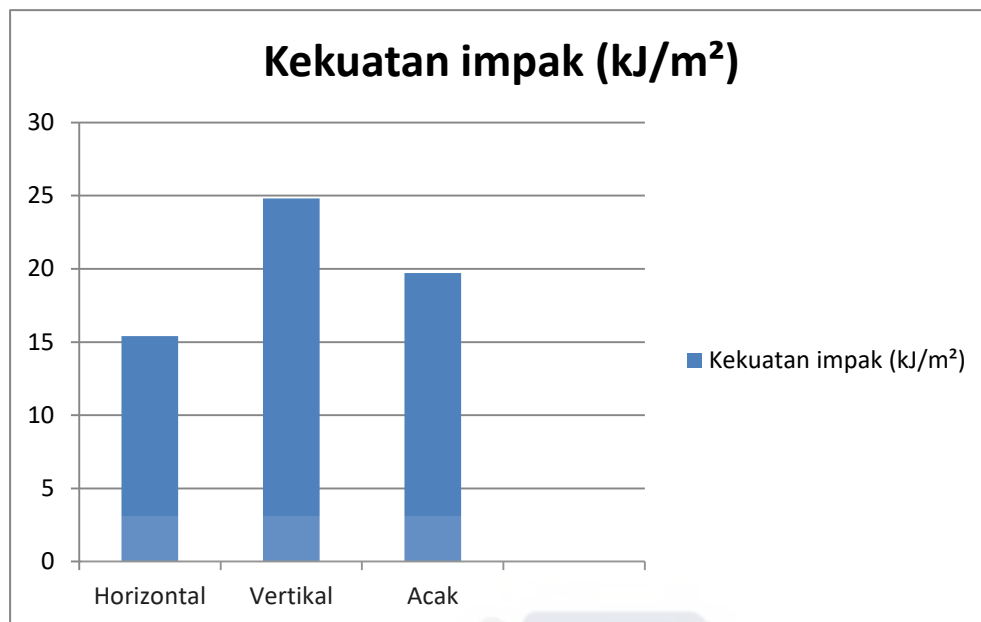
serat berpengaruh terhadap kekuatan impak. Fraksi volume serat 4% menghasilkan kekuatan impak tertinggi dan fraksi volume serat 6% menghasilkan kekuatan impak terendah. Besarnya kekuatan impak terdapat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik fraksi volume uji impak

4.9.2 Analisis Faktor Arah Serat Kekuatan Impak

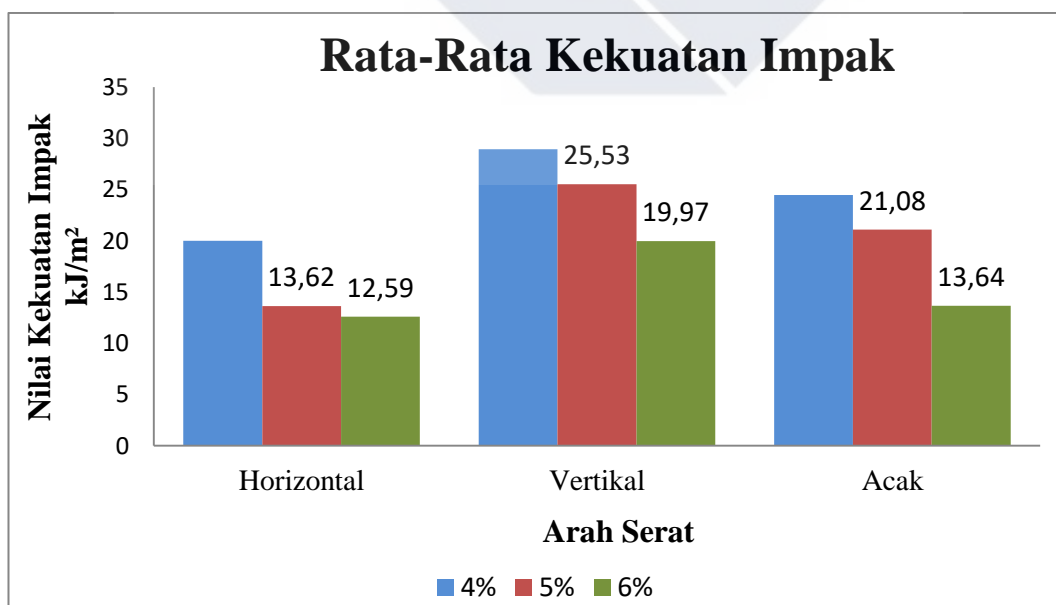
Hasil uji anova untuk faktor arah serat menunjukkan bahwa faktor tersebut berpengaruh terhadap kekuatan impak dan setiap level arah serat berpengaruh terhadap kekuatan impak. Arah serat vertikal menghasilkan kekuatan impak tertinggi dan arah serat horizontal menghasilkan kekuatan impak terendah. Besarnya kekuatan impak terdapat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik arah serat uji impak

4.9.3 Analisis Interaksi Fraksi Volume dan Arah Serat Kekuatan Impak

Untuk mengetahui hasil kekuatan impak fraksi volume dan arah serat dapat dilihat pada grafik gambar 4.8 dibawah ini:



Gambar 4. 8 Grafik fraksi volume & arah serat uji impak

Berdasarkan dari grafik pengujian impak yang ada pada gambar 4.8 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan impak tertinggi terdapat pada fraksi volume serat 4% dengan arah serat vertikal yaitu sebesar 28,92 kJ/m² dan nilai kekuatan impak terendah terdapat pada fraksi volume serat 6% dengan arah serat horizontal yaitu sebesar 12,59 kJ/m². Hal ini dikarenakan bahwa arah serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan impak pada saat datangnya beban kejut dan semakin banyak volume serat yang digunakan maka hasil kekuatan impaknya menurun dikarenakan resin tidak mampu menutupi pori-pori yang ada pada serat tersebut sehingga menyebabkan material komposit menjadi lemah dan kekuatan impak yang dihasilkan juga semakin kecil.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengujian serat buah pinang yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari beberapa variasi fraksi volume dan orientasi arah serat berpenguat serat buah pinang didapat nilai kekuatan tarik tertinggi pada fraksi volume serat 4% dengan arah vertikal yaitu sebesar 36,3 Mpa dan nilai kekuatan tarik terendah pada fraksi volume serat 6% dengan arah serat horizontal yaitu sebesar 12,53 Mpa. Nilai kekuatan impak tertinggi pada fraksi volume serat 4% dengan arah vertikal yaitu sebesar 28,92 kJ/m² dan nilai kekuatan impak terendah pada fraksi volume 6% dengan arah serat horizontal yaitu sebesar 12,59 kJ/m².
2. Dari hasil pengujian tarik dan impak serat buah pinang dengan variasi fraksi volume 4%, 5% dan 6%. Didapatkan nilai kekuatan tarik dan impak tertinggi pada fraksi volume serat 4% dengan arah serat vertikal, untuk fraksi volume 5% dan 6% mengalami penurunan hal ini disebabkan karena semakin banyak volume serat yang digunakan maka semakin sulit resin untuk menutupi celah pada pori-pori serat buah pinang sehingga menyebabkan material komposit menjadi lemah.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat peneliti berikan setelah melakukan penelitian tentang serat buah pinang ini untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Pada saat pembuatan komposit menggunakan metode hand lay-up peneliti sarankan untuk lebih hati-hati dan teliti dalam pencampuran resin dan katalis agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal dan dilakukan penekanan pada seratnya agar benar-benar dapat mengurangi rongga udaranya.

2. Untuk penelitian selanjutnya peneliti sarankan untuk menambahkan Uji Scenning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui perubahan struktur yang terjadi dari hasil penelitian.



DAFTAR PUSTAKA:

- Barlina, R. (2003). "Peluang Pemanfaatan Buah Pinang Untuk Pangan Opportunity of Arecanut for Food Utilizing. *pp. 96–105*.
- Fahmi, H., & Hermansyah, H. (2011). PENGARUH ORIENTASI SERAT PADA KOMPOSIT RESIN POLYESTER/ SERAT DAUN NENAS TERHADAP KEKUATAN TARIK . *Vol.1, No. 1* .
- Herman, Y. (2009). Buku Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing).
- Istri, C., Kusuma, P., Putu, N., Suardana, G., & Ketut, I. (2016). Analisis sifat fisik dan kekuatan tarik limbah serat Areca Catechu L . sebagai biofibre pada komposit.
- Kencanawati, C. I., Suardana, N. P., Sugita, I. K., & Suyasa, I. W. (2017). A study on biocomposite from local balinese areca catechu l. husk fibers as reinforced material. *vol. 201, no. 1*.
- Kencanawati, C., Sugita, I. K., Suardana, N., & Suyasa, I. W. (2018). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Serat Kulit Buah Pinang. *Vol. 11 No. 1*.
- M.M.Munir. (t.thn.). Modul Praktek Uji Bahan. *vol. 1*.
- Mulyo, B. T., & Yudiono, H. (2018). Analisis kekuatan impact pada komposit serat daun nanas untuk bahan dasar pembuatan helm SNI. *Vol. 10, No.2*.
- Nurmaulita. (2010). pengaruh orientasi serat sabut kelapa dengan resin polyester terhadap karakteristik papan lembaran.

- Rizaldi, R., Rollastin, b., & Erwansyah. (2021). PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT FILTER ROKOK TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN IMPAK PADA Matrik POLISTE. *Vol. 2 No. 7* .
- Sunardi, Fawaid, M., Lusiani, R., & Cahyadi. (2014). PENGARUH ARAH SERAT KOMPOSIT SERAT DAUN PANDAN DURI DENGAN Matrik POLYESTER TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK UNTUK APLIKASI BODY KENDARAAN MOTOR.
- Surono, U. B., & Sukoco. (2016). Analisa Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Serat Ijuk Dengan Bahan Matrik Poliester.
- Utama, F. Y., & Zakiyya, H. (2016). PENGARUH VARIASI ARAH SERAT KOMPOSIT BERPENGUAT HIBRIDA FIBERHYBRID TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DENSITAS MATERIAL DALAM APLIKASI BODY PART MOBIL. *Volume 15 Nomor 2*.
- Wiley, W. D., & Sons. (2007). *Material Science and Engineering*.
- Yusriah, L., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., & Mariatti, M. (2012). “Exploring the Potential of Betel Nut Husk Fiber as Reinforcement in Polymer Composites: Effect of Fiber Maturity. *vol. 4, pp. 87–94*.
- Yusriah, L., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Mariatti, M., & Jawaid, M. (2015). “Thermo-Physical , Thermal Degradation , and Flexural Properties of Betel Nut Husk Fiber Reinforced Vinyl Ester Composites. *pp. 1–10*.

LAMPIRAN



Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Raju Pratama
NPM : 1041820
Tempat, Tanggal Lahir : Air Kuang, 28 Juli 1999
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Prodi/Jurusan : DIV Teknik Mesin dan Manufaktur/Teknik Mesin
No Handphone : 082281324409
Alamat : Dusun Bangun Jaya, Desa Air Kuang
Email : rajupratama161@gmail.com

Lampiran 2

Perhitungan uji impact

$$h_0 = l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 400 (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = 746,4101 \text{ mm}$$

$$h_1 = l (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 400 (1 - \cos 144^\circ)$$

$$h_1 = 723,6068 \text{ mm}$$

$$E = m \cdot g (h_0 - h_1)$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 (746,4101 - 723,6068) \text{ mm}$$

$$E = 2,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 (0,0228) \text{ m}$$

$$E = 0,57 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$$

$$E = 0,57 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 0,57 \text{ Joule}$$

$$A = P \times L$$

$$A = 8 \times 4$$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{0,57 \text{ J}}{32 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,01781 \text{ J/mm}^2$$

$$H = 17,81 \text{ kJ/m}^2$$

Lampiran 3

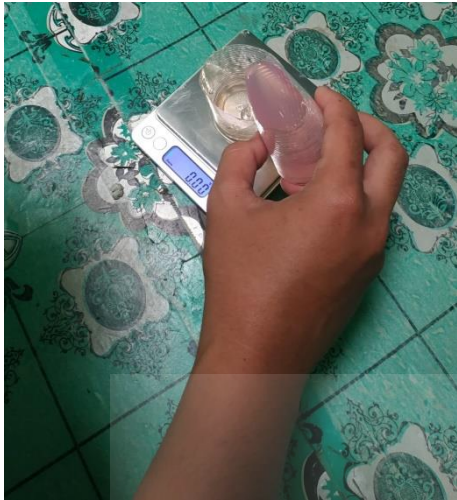
Gambar Proses Pembuatan Spesimen



Penimbangan serat sesuai dengan jumlah perhitungan fraksi volume serat



Penyusunan serat ke dalam cetakan sesuai orientasi arah serat horizontal, vertikal dan acak



Penuangan resin ke dalam wadah



Pencampuran katalis ke dalam wadah yang sudah terisi dengan resin



Penuangan hasil campuran resin dan katalis tadi ke dalam cetakan yang sudah tersusun seratnya

Lampiran 4

Tabel Uji F

$\alpha = 0,05$	$df_1=(k-1)$							
$df_2=(n-k-1)$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	161,448	199,500	215,707	224,583	230,162	233,986	236,768	238,883
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305

28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278

30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217
36	4,113	3,259	2,866	2,634	2,477	2,364	2,277	2,209
37	4,105	3,252	2,859	2,626	2,470	2,356	2,270	2,201
38	4,098	3,245	2,852	2,619	2,463	2,349	2,262	2,194
39	4,091	3,238	2,845	2,612	2,456	2,342	2,255	2,187
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180
41	4,079	3,226	2,833	2,600	2,443	2,330	2,243	2,174
42	4,073	3,220	2,827	2,594	2,438	2,324	2,237	2,168
43	4,067	3,214	2,822	2,589	2,432	2,318	2,232	2,163
44	4,062	3,209	2,816	2,584	2,427	2,313	2,226	2,157
45	4,057	3,204	2,812	2,579	2,422	2,308	2,221	2,152
46	4,052	3,200	2,807	2,574	2,417	2,304	2,216	2,147
47	4,047	3,195	2,802	2,570	2,413	2,299	2,212	2,143
48	4,043	3,191	2,798	2,565	2,409	2,295	2,207	2,138
49	4,038	3,187	2,794	2,561	2,404	2,290	2,203	2,134
50	4,034	3,183	2,790	2,557	2,400	2,286	2,199	2,130
51	4,030	3,179	2,786	2,553	2,397	2,283	2,195	2,126
52	4,027	3,175	2,783	2,550	2,393	2,279	2,192	2,122
53	4,023	3,172	2,779	2,546	2,389	2,275	2,188	2,119
54	4,020	3,168	2,776	2,543	2,386	2,272	2,185	2,115
55	4,016	3,165	2,773	2,540	2,383	2,269	2,181	2,112
56	4,013	3,162	2,769	2,537	2,380	2,266	2,178	2,109
57	4,010	3,159	2,766	2,534	2,377	2,263	2,175	2,106

58	4,007	3,156	2,764	2,531	2,374	2,260	2,172	2,103
59	4,004	3,153	2,761	2,528	2,371	2,257	2,169	2,100
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097
61	3,998	3,148	2,755	2,523	2,366	2,251	2,164	2,094
62	3,996	3,145	2,753	2,520	2,363	2,249	2,161	2,092
63	3,993	3,143	2,751	2,518	2,361	2,246	2,159	2,089
64	3,991	3,140	2,748	2,515	2,358	2,244	2,156	2,087
65	3,989	3,138	2,746	2,513	2,356	2,242	2,154	2,084
66	3,986	3,136	2,744	2,511	2,354	2,239	2,152	2,082
67	3,984	3,134	2,742	2,509	2,352	2,237	2,150	2,080
68	3,982	3,132	2,740	2,507	2,350	2,235	2,148	2,078
69	3,980	3,130	2,737	2,505	2,348	2,233	2,145	2,076
70	3,978	3,128	2,736	2,503	2,346	2,231	2,143	2,074
71	3,976	3,126	2,734	2,501	2,344	2,229	2,142	2,072
72	3,974	3,124	2,732	2,499	2,342	2,227	2,140	2,070
73	3,972	3,122	2,730	2,497	2,340	2,226	2,138	2,068
74	3,970	3,120	2,728	2,495	2,338	2,224	2,136	2,066
75	3,968	3,119	2,727	2,494	2,337	2,222	2,134	2,064
76	3,967	3,117	2,725	2,492	2,335	2,220	2,133	2,063
77	3,965	3,115	2,723	2,490	2,333	2,219	2,131	2,061
78	3,963	3,114	2,722	2,489	2,332	2,217	2,129	2,059
79	3,962	3,112	2,720	2,487	2,330	2,216	2,128	2,058
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056
81	3,959	3,109	2,717	2,484	2,327	2,213	2,125	2,055
82	3,957	3,108	2,716	2,483	2,326	2,211	2,123	2,053
83	3,956	3,107	2,715	2,482	2,324	2,210	2,122	2,052
84	3,955	3,105	2,713	2,480	2,323	2,209	2,121	2,051
85	3,953	3,104	2,712	2,479	2,322	2,207	2,119	2,049
86	3,952	3,103	2,711	2,478	2,321	2,206	2,118	2,048
87	3,951	3,101	2,709	2,476	2,319	2,205	2,117	2,047

88	3,949	3,100	2,708	2,475	2,318	2,203	2,115	2,045
89	3,948	3,099	2,707	2,474	2,317	2,202	2,114	2,044
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043
91	3,946	3,097	2,705	2,472	2,315	2,200	2,112	2,042
92	3,945	3,095	2,704	2,471	2,313	2,199	2,111	2,041
93	3,943	3,094	2,703	2,470	2,312	2,198	2,110	2,040
94	3,942	3,093	2,701	2,469	2,311	2,197	2,109	2,038
95	3,941	3,092	2,700	2,467	2,310	2,196	2,108	2,037
96	3,940	3,091	2,699	2,466	2,309	2,195	2,106	2,036
97	3,939	3,090	2,698	2,465	2,308	2,194	2,105	2,035
98	3,938	3,089	2,697	2,465	2,307	2,193	2,104	2,034
99	3,937	3,088	2,696	2,464	2,306	2,192	2,103	2,033
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032