

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DALAM
PROSES *QUENCHING* PADA PEMBUATAN KACA
TEMPERED DARI KACA BENING TERHADAP
KETANGGUHAN BAHAN KACA**

(SKRIPSI)

Oleh

**I KETUT ARYA PRANATA
NPM 2015021011**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DALAM PROSES *QUENCHING* PADA PEMBUATAN KACA *TEMPERED* DARI KACA BENING TERHADAP KETANGGUHAN BAHAN KACA

Oleh:

I Ketut Arya Pranata

Kaca merupakan suatu bahan yang padat, bening dan transparan (tembus pandang). Kaca memiliki sifat yang rapuh dan sangat keras. Kaca merupakan suatu bahan yang tergolong bahan anorganik, dibuat dengan cara meleburkan beberapa bahan dasar, kemudian bahan dasar dari hasil peleburan tersebut mengalami proses pemadatan dengan proses pendinginan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan pada proses *quenching* terhadap kekuatan impak kaca *tempered*. Proses *quenching* diterapkan pada kaca pada tiga temperatur berbeda, yaitu 480°C, 565°C, dan 650°C, kemudian dilakukan pengujian impak. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kekuatan impak seiring dengan peningkatan temperatur pemanasan. Pada kaca bening yang belum diberi perlakuan panas *quenching* menghasilkan rata-rata energi impak sebesar 2,20 joule, sedangkan pada spesimen yang telah diberi perlakuan perlakuan panas *quenching* dengan temperatur 480°C, 565°C, dan 650°C menghasilkan rata-rata energi impak secara berurutan sebesar 3,03 joule, 3,23 joule, dan 3,33 joule. Peningkatan kekuatan impak terbesar terjadi pada spesimen yang diberi perlakuan panas *quenching* temperatur 650°C yaitu mengalami peningkatan sebesar 51,36%. Penelitian ini menegaskan bahwa temperatur pemanasan memegang peranan dalam meningkatkan kekuatan impak kaca *tempered*.

Kata Kunci: Kaca, *Tempered*, *Quenching*, Impak, Temperatur.

ABSTRACT

EFFECT OF HEATING TEMPERATURE VARIATION IN QUENCHING PROCESS IN MAKING TEMPERED GLASS FROM CLEAR GLASS ON TOUGHNESS OF GLASS MATERIAL

By:

I Ketut Arya Pranata

Glass is a solid, clear and transparent material. Glass has fragile and very hard properties. Glass is a material classified as inorganic material, made by melting some basic ingredients, then the basic ingredients of the melting results undergo a solidification process with a cooling process. This study aims to determine the effect of heating temperature variations in the quenching process on the impact strength of tempered glass. The quenching process is applied to the glass at three different temperatures, namely 480°C, 565°C, and 650°C, then impact testing is carried out. The results showed an increase in impact strength as the heating temperature increased. Clear glass that has not been treated with quenching heat produces an average impact energy of 2.20 joules, while specimens that have been treated with quenching heat treatment with temperatures of 480°C, 565°C, and 650°C produce an average impact energy of 3.03 joules, 3.23 joules, and 3.33 joules, respectively. The largest increase in impact strength occurred in specimens treated with quenching heat at 650°C, which increased by 51.36%. This research confirms that heating temperature plays a role in increasing the impact strength of tempered glass.

Keywords: Glass, Tempered, Quenching, Impact, Temperature.

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DALAM
PROSES *QUENCHING* PADA PEMBUATAN KACA
TEMPERED DARI KACA BENING TERHADAP
KETANGGUHAN BAHAN KACA**

**Oleh
I KETUT ARYA PRANATA**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DALAM PROSES QUENCHING PADA PEMBUATAN KACA TEMPERED DARI KACA BENING TERHADAP KETANGGUHAN BAHAN KACA**

Nama Mahasiswa : **I Ketut Arya Pranata**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2015021011**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Pembimbing 1

Pembimbing 2

Zulhanif, S.T., M.T.
NIP. 19730402 200003 1 002

Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.
NIP. 19570411 198610 1 001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.
NIP. 19710817 199802 1 003

Ketua Program Studi
SI Teknik Mesin

Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc.
NIP. 19790821 200312 1 003

MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Zulhanif, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.**



Penguji Utama : **Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**



2 Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Henny Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Mei 2024

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Ketut Arya Pranata
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021011
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang telah diajukan memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini disebut dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 8 Juni 2024

Yang menyatakan,



I Ketut Arya Pranata

NPM. 2015021011

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap I Ketut Arya Pranata dilahirkan di Bali Sadhar pada tanggal 28 Agustus 2002. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak I Made Aryana dan Ibu Ni Nengah Serinten. Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 01 Bali Sadhar Tengah (2008-2014), SMP Negeri 02 Banjit (2014-2017), SMA S Yadika Bandar Lampung (2017-2020). Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti program MBKM yaitu Studi Independen di PT Cadfem Simulation Technology Indonesia pada bulan Juli-Oktober 2022. Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Material pada tahun 2023-2024. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Walbrik Sindo Sejahtera Makmur, Tangerang, Banten. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari 2023 di Desa Triharjo, Kecamatan Merbaumataram, Kabupaten Lampung Selatan. Penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi danus pada 2021-2023 serta mengikuti organisasi UKM Hindu Universitas Lampung sebagai anggota bidang organisasi dan kaderisasi pada tahun 2020-2021 dan menjadi kepala bidang organisasi dan kaderisasi pada tahun 2021-2022. Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Dalam Proses *Quenching* Pada Pembuatan Kaca *Tempered* Dari Kaca Bening Terhadap Ketangguhan Bahan Kaca” di bawah bimbingan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. dan Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. serta sebagai pembahas Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T.

PERSEMBAHAN

*Dengan mengucapkan Om Swastianam astu namo sidham.
ku persembahkan karya kecisku ini untuk kedua orang tuaku tercinta
Bapak I Made Aryana dan Ibu Ni Nengah Serinten*

MOTTO

Bhagavad Gita V.20

न प्रहृष्येत्प्रियं प्राप्य नोद्विजेत्प्राप्य चाप्रियम् |
स्थिरबुद्धिरसम्मूढो ब्रह्मविद् ब्रह्मणि स्थितः || 20||

*na prahṛiṣhyet priyaṁ prāpya nodvijet prāpya chāpriyam
sthira-buddhir asammūḍho brahma-vid brahmaṇi sthitaḥ*

“Ia yang berpengetahuan Brahman yang mencapai kedudukan di dalam Brahman, yang pikirannya teguh di dalam Brahman karena kebingungannya telah lenyap, tidak akan bersenang hati ketika keinginannya terpenuhi pun tidak bersedih ketika mendapat sesuatu yang tidak diinginkan.”

Tutut.

Today is today, tomorrow is tomorrow

“Ane jani jeg jani urusang, ane mani to mani urusane”

SANWACANA

Puji syukur saya panjatkan ke hadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa/Tuhan Yang Maha Esa, karena atas Asung Kertha Wara Nugrahan-Nya lah Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DALAM PROSES *QUENCHING* PADA PEMBUATAN KACA *TEMPERED* DARI KACA BENING TERHADAP KETANGGUHAN BAHAN KACA”**. Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat wajib perkuliahan jenjang Sarjana (S1) Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Penulis sejatinya menyadari akan kekurangan atau keterbatasan, pengetahuan, pengalaman dan kemampuan yang Penulis miliki. namun terlepas dari itu, Penulis memiliki harapan agar tulisan ini dapat bermanfaat bagi berbagai macam pihak dan dapat memberi sumbangan pemikiran bagi bidang akademis dan bidang lainnya, melalui kesempatan ini pula Penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih atas kritikan, saran, bimbingan, serta petunjuk-petunjuk dari semua pihak yang sangat Penulis harapkan guna kelengkapan dan penyempurnaan Skripsi ini.

Penulis tidak akan berhasil dengan baik tanpa ada bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaannya dalam membimbing serta memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk berbagi ilmu, membimbing, memberi

kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya.

3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Dr. Harmen, S.T., MT selaku dosen Pembimbing Akademik telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan serta membantu segala permasalahan akademik yang dialami penulis.
5. Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc. selaku Ketua Program Studi Sarjana S1 Teknik Mesin Universitas Lampung telah memberikan arahan mengenai perkuliahan.
6. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan kenyamanan selama perkuliahan.
7. Kedua orang tersayang Bapak dan Ibu (I Made Aryana & Ni Nengah Serinten) yang selalu memberikan nasehat, motivasi serta selalu mendukung penulis dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
8. Kakak tersayang (Kadek Grenita A. Putri) yang selalu mensupport penulis selama masa perkuliahan.
9. Bli Putu Dharma yang telah menjadi motivasi penulis untuk menempuh perkuliahan di Teknik Mesin Unila.
10. Seseorang yang kelak menjadi pendamping hidup penulis dan menjadi alasan penulis selalu bersemangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir, siapapun seseorang itu nantinya penulis berjanji akan selalu berusaha membuatnya menjadi wanita paling beruntung di dunia.
11. Seseorang yang selalu siap mendampingi penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir, walaupun tidak dapat menemani penulis hingga akhir pengerjaan.
12. Para staf admin Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang selalu sedia dan sigap membantu penyelesain segala berkas yang diperlukan penulis.
13. Sadboy Geng yaitu Wircak dan DeYogyog yang selalu menghibur dan membantu penulis dalam penyelesain Tugas Akhir.
14. Pemuda Gemetar (De Bayu, De Candra, Koming, Pe Mang, Bik Tut, Bli Sandy, Pilia, Cesta) yang selalu ada dan selalu menghibur penulis selama ada dirumah.
15. Material Pride (Meilisa, Fadhil, Aldo, Triww, Daud, Gerino, Balla, Kiben) yang siap sedia membantu segala urusan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

16. Anggota kos-kosan keras (Yoga, Lek Restu, Lindu, Novan, Bli Yogo, Andri, Ekayana, Surr, Alex, Wahyu, Tara) yang selalu menghibur penulis disaat sedang jenuh.
17. Lahley geng sahabat seperjuangan yang telah siap sedia menjadi teman penulis sejak maba.
18. Hindu Unila 2020 yang telah menjadi sahabat, teman, saudara penulis sejak awal perkuliahan.
19. UKM Hindu Unila yang telah dianggap rumah dan saudara oleh penulis serta selalu siap sedia membantu kesulitan penulis selama perkuliahan.
20. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2020.

Akhir kata, Penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan skripsi ini dari awal sampai akhir.

Bandar Lampung, 8 Juni 2024

I Ketut Arya Pranata
NPM. 2015021011

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Viskoelastis	6
2.2 Pengertian Kaca.....	7
2.3 Karakteristik Kaca	7
2.3.1 Karakteristik Kaca Secara Umum:.....	7
2.3.2 Karakteristik Kaca Berdasarkan Sifat Fisik:.....	8
2.3.3 Karakteristik Kaca berdasarkan Sifat Mekanik:	8
2.4 Klasifikasi Kaca	8
2.4.1 Berdasarkan Komposisi	8
2.4.2 Berdasarkan Penggunaan	9
2.5 Kaca <i>Tempered</i>	13
2.6 Perlakuan Panas.....	16
2.7 Perlakuan Panas pada Kaca	16
2.8 Perlakuan Panas <i>Quenching</i>	18
2.9 Pengujian Impak.....	21
2.10 Jenis-jenis Metode Impak.....	22

2.11	Perhitungan Kekuatan Impak	24
METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	25
3.2.1	Bahan Penelitian (Kaca Bening)	25
3.2.2	Gerinda Potong	26
3.2.3	Tungku (<i>Furnace</i>)	26
3.2.4	Penjepit Spesimen	27
3.2.6	Media Pendingin Air	28
3.2.7	Media Pendingin Oli	29
3.2.8	Alat Uji Impak.....	29
3.3	Metode Penelitian.....	31
3.3.1	Persiapan Spesimen.....	31
3.3.2	Perlakuan Panas	31
3.3.3	Pengujian Impak.....	32
3.4	Variabel Penelitian.....	33
3.5	Diagram Alir.....	34
HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Perlakuan Panas <i>Quenching</i>	35
4.2	Hasil Uji Impak	37
4.3	Pembahasan	40
PENUTUP.....		
5.1	Simpulan.....	45
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN.....		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kaca Bening	9
Gambar 2. 2 Kaca Cermin (<i>Mirror Galss</i>).....	10
Gambar 2. 3 Kaca Es (<i>Frosted Glasses</i>)	11
Gambar 2. 4 Kaca Berwarna (<i>Tinted Glass</i>)	12
Gambar 2. 5 Kaca <i>Tempered</i>	12
Gambar 2. 6 Kaca Laminasi.....	13
Gambar 2. 7 Ilustrasi perbedaan tekanan pada kaca <i>tempered</i>	14
Gambar 2. 8 Pecahan kaca bening biasa (kiri) dan <i>tempered</i> (kanan)	15
Gambar 2. 9 Larutan Garam.....	20
Gambar 2. 10 Oli.....	21
Gambar 2. 11 Ilustrasi Pengujian Impak.....	22
Gambar 2. 12 Ilustrasi Pengujian Metode <i>Charpy</i>	23
Gambar 2. 13 Ilustrasi Pengujian Metode <i>Izod</i>	23
Gambar 3. 1 Bahan Penelitian (Kaca Bening)	26
Gambar 3. 2 Gerinda Potong.....	26
Gambar 3. 3 Tungku (<i>Furnace</i>)	27
Gambar 3. 4 Penjepit Spesimen	28
Gambar 3. 5 Sarung Tangan	28
Gambar 3. 6 Media Pendingin Air	29
Gambar 3. 7 Media Pending Oli	29
Gambar 3. 8 Alat Uji Impak.....	30
Gambar 3. 9 Spesimen Uji Impak Sesuai Standar ASTM E-23.....	31
Gambar 4. 1 Hasil Perlakuan Panas <i>Quenching</i> Media Pendingin Air Temperatur 480°C	35
Gambar 4. 2 Hasil Perlakuan Panas <i>Quenching</i> Media Pendingin Oli Temperatur 480°C	36
Gambar 4. 3 Hasil Perlakuan Panas <i>Quenching</i> Media Pendingin Oli Temperatur 565°C	36
Gambar 4. 4 Hasil Perlakuan Panas <i>Quenching</i> Media Pendingin Oli Temperatur 650°C	37
Gambar 4. 5 Patahan Hasil Pengujian Impak Raw Material.....	38
Gambar 4. 6 Patahan Hasil Pengujian Impak Temperatur 480°C	39
Gambar 4. 7 Patahan Hasil Pengujian Impak Temperatur 565°C	39
Gambar 4. 8 Patahan Hasil Pengujian Impak Temperatur 650°C	40
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian Impak.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Furnace</i>	27
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Uji Impak.....	30
Tabel 3. 3 Pengambilan Data Pengujian Impak.....	33
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Impak.....	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kaca memiliki peranan penting dalam dunia industri dan otomotif, dimana sering digunakan sebagai bahan utama dalam desain komponen kendaraan maupun industri. Kaca memiliki sifat transparan atau tembus pandang yang membuatnya dapat digunakan dalam berbagai pengaplikasian. Sifat mekanik kaca ini dapat digunakan pada berbagai bidang, terutama dalam pengaplikasian yang berbeda, seperti jendela rumah dan gedung perkantoran, kaca depan kendaraan, cermin, partisi ruangan, dinding pembatas di kamar mandi, serta berbagai elemen dekoratif dan fungsional dalam arsitektur modern. Salah satu jenis kaca yang sering digunakan dalam konstruksi industri atau otomotif adalah jenis kaca *tempered*.

Kaca adalah material yang telah dikenal sejak ribuan tahun lalu. Penggunaannya sebagai bahan konstruksi mulai dikenal pada abad ke-17. Di abad ke-20, penggunaan kaca dalam bangunan semakin meluas berkat kemajuan industrialisasi dan inovasi teknologi dalam pengolahan serta produksi kaca. Sampai saat ini terdapat beberapa jenis kaca yang lazim digunakan dalam konstruksi, salah satunya kaca *tempered* (Lestari dkk, 2014).

Kaca *tempered* adalah jenis kaca yang telah menjalani proses perlakuan panas *quenching* untuk meningkatkan kekuatannya. Proses *quenching* melibatkan pemanasan kaca hingga suhu tinggi dan kemudian mendinginkannya secara cepat menggunakan udara atau cairan khusus

seperti air garam, air, dan minyak (oli, solar, minyak tanah). Kaca *tempered* memiliki keunggulan dalam hal kekuatan mekanis dan daya tahan terhadap tekanan. Pada penggunaannya kaca *tempered* biasanya digunakan dalam konstruksi industri yang pada penggunaannya sering mengalami tekanan dan beban kejut sehingga kekuatan impak kaca sangat diperlukan untuk memperpanjang umur kaca. Untuk meningkatkan kekuatan impak dari kaca maka diperlukan perlakuan panas terhadap kaca tersebut.

Untuk menghasilkan kaca yang memiliki kekuatan impak tinggi sesuai yang diharapkan, maka kaca dapat dilakukan suatu perlakuan yaitu perlakuan panas (*heat treatment*) untuk meningkatkan sifat mekanik (kekuatan impak) dari kaca tersebut. Perlakuan panas pada kaca merupakan suatu proses pemanasan dan pendinginan kaca dalam keadaan padat dengan tujuan untuk mengubah atau meningkatkan sifat mekanik dari kaca tersebut. Berbagai metode yang dapat digunakan dalam proses perlakuan panas pada kaca, salah satu metode yang dapat digunakan yaitu metode *quenching* yang mana pada metode *quenching* tersebut terjadi proses pendinginan pada kaca secara cepat.

Susanto (2007) melakukan penelitian mengenai penemperan pada kaca yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan pada kaca. Pada proses tempering dilakukan dengan tiga variasi temperatur yaitu 500°C, 600°C, dan 700°C yang kemudian dilakukan proses pengujian pada tiap-tiap perlakuan panas. Pengujian yang dilakukan pada penelitian tersebut yaitu pengujian bending, pengujian bending cocok dilakukan pada kaca karena kaca merupakan bahan yang sangat keras sehingga tidak dapat dilakukan uji kekerasan. Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan kekuatan bending pada kaca setelah melalui proses temper dibandingkan dengan kaca yang belum melalui proses temper. Kaca yang ditemper pada suhu 700°C memiliki kekuatan bending tertinggi sebesar 68,928 N/cm², sedangkan kekuatan bending kaca yang belum ditemper adalah 62,400 N/cm².

Hotsan dkk (2022) melakukan penelitian mengenai kaca *tempered* untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap jumlah pecahan kaca. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kaca dengan ketebalan 3,1 mm. Melalui hasil uji coba pengaruh suhu temper mulai dari 620°C, 650°C, dan 700°C didapatkan hasil yaitu pecahan kaca sudah sesuai standar karena jumlah pecahan kaca tidak kurang dari 15 buah dalam area 50x50 mm. Suhu 650°C adalah suhu optimal untuk memproduksi kaca *tempered* karena menghasilkan pecahan yang konsisten sesuai standar di setiap titik pengujiannya.

Setelah melalui berbagai proses untuk merubah sifat mekanik dari kaca maka perlu dilakukan suatu pengujian untuk mengetahui kemampuan beban kejut dari kaca tersebut. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mengetahui nilai dari beban kejut yaitu pengujian impak. Kekuatan impak adalah parameter kritis dalam mengevaluasi kinerja kaca, terutama dalam situasi-situasi dimana kaca dapat terpapar beban mekanis yang tiba-tiba, seperti benturan atau tekanan. Kekuatan impak dapat diketahui melalui uji impak atau pengujian impak yaitu pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Dalam aplikasi sehari-hari, seperti kendaraan bermotor atau struktur bangunan, kekuatan impak kaca menjadi penentu keselamatan dan keberlanjutan material. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh variasi perlakuan panas *quenching* pada kaca terhadap kekuatan impak menjadi sangat relevan untuk memahami dan meningkatkan kinerja material ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak perlakuan panas *quenching* pada kaca bening terhadap kekuatan impak. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan baru yang berguna untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam penggunaan kaca. Kontribusi dari penelitian ini diharapkan dapat membantu industri dalam mengembangkan standar dan prosedur yang lebih baik dalam proses perlakuan panas pada kaca.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perubahan kekuatan impact sebelum dan setelah dilakukan perlakuan panas *quenching* pada kaca.
2. Menganalisis pengaruh variasi temperatur pemanasan dalam proses *quenching* terhadap kekuatan impact dari kaca.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini lebih terarah dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut adalah beberapa batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini:

1. Material yang digunakan adalah kaca bening
2. Media pendingin yang digunakan berupa oli
3. Temperatur pendingin media oli memakai suhu kamar
4. Kecepatan pencelupan spesimen dilakukan dengan waktu 10 detik
5. Temperatur yang tertera pada indikator *furnance* diasumsikan sama dengan yang terjadi pada spesimen uji
6. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini yaitu uji impact

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan wawasan mengenai material kaca khususnya jenis kaca *tempered*.
2. Penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam peningkatan kualitas kaca *tempered*.
3. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai pengaruh variasi temperatur *quenching* pada kaca.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

2. BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan teori-teori dasar yang berkaitan dengan materi yang dibahas dalam penelitian ini.

3. BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat peneliti, alat dan bahan penelitian, metode penelitian, variabel penelitian, dan diagram alir.

4. BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat data-data yang didapatkan dari hasil penelitian serta pembahasan terkait penelitian dan pengujian yang dilakukan.

5. BAB V. PENUTUP

Pada bab ini berisikan simpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang diberikan penulis untuk mendukung penelitian selanjutnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisikan beberapa literatur dan jurnal sebagai referensi untuk menunjang penelitian yang dilakukan penulis.

7. LAMPIRAN

Berisikan data seperti gambar hasil pengujian, dokumentasi pelaksanaan penelitian, dan data lain yang mendukung penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Viskoelastis

Material viskoelastis merupakan jenis bahan yang memiliki sifat gabungan antara elastis dan visko. Hal tersebut berarti bahwa material viskoelastis dapat kembali ke bentuk asalnya setelah diberi beban seperti bahan elastis, tetapi juga menunjukkan deformasi yang berkelanjutan seiring waktu saat diberi beban konstan seperti bahan visko. Ketika material viskoelastis diberi tekanan konstan, material viskoelastis akan mengalami deformasi plastis yang berlangsung secara bertahap seiring waktu, mirip dengan perilaku material yang mengalami *creep* (Shedbale dkk, 2017).

Fenomena *creep* dapat terjadi pada material yang menunjukkan sifat viskoelastis, di mana deformasi terus berlangsung seiring waktu ketika material dikenai beban konstan. Fenomena tersebut dapat diamati pada berbagai jenis material seperti logam, polimer, dan bahkan kaca. Meskipun kaca bukan merupakan material viskoelastis karena kaca adalah material yang keras dan rapuh namun kaca masih dapat mengalami fenomena *creep* dalam kondisi tertentu. Pada suhu tertentu kaca mulai menjadi lembek dan lebih rentan terhadap fenomena *creep*, kaca dapat mengalami perubahan bentuk secara lambat dan bertahap saat terpapar beban konstan, meskipun tidak sekuat material viskoelastis lainnya. Oleh karena itu, meskipun kaca bukan merupakan material viskoelastis tetapi fenomena *creep* masih dapat diamati dalam kaca pada kondisi tertentu (Ogunleye dkk, 2021).

2.2 Pengertian Kaca

Kaca merupakan suatu bahan yang padat, bening dan transparan (tembus pandang). Kaca memiliki sifat yang rapuh dan sangat keras. Kaca merupakan suatu bahan yang tergolong bahan anorganik, dibuat dengan cara meleburkan beberapa bahan dasar, kemudian bahan dasar dari hasil peleburan tersebut mengalami proses pemadatan dengan proses pendinginan. Kaca dibuat dari campuran silikon dioksida (SiO_2) beberapa zat tambahan. Suhu lelehnya adalah diatas 1.000°C (Purnomo dkk, 2014).

Kaca merupakan salah satu produk industri kimia yang paling familiar dalam kehidupan kita sehari-hari. Dilihat dari segi fisiknya, kaca merupakan cairan yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel penyusunnya berjauhan seperti pada cairan, namun kaca itu sendiri padat. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan yang sangat cepat sehingga partikel silika tidak mempunyai waktu untuk menyusun dirinya secara teratur. Kaca merupakan hasil penguraian senyawa organik yang telah mengalami pendinginan tanpa mengkristal (Setiawan, 2006).

2.3 Karakteristik Kaca

Karakteristik kaca dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

2.3.1 Karakteristik Kaca Secara Umum:

- a. Kaca memiliki sifat yang tembus pandang, jernih, dan mengkilap. Sifat kaca ini bisa bertahan dalam jangka waktu yang sangat panjang.
- b. Kaca dapat didaur ulang dengan efisien tanpa mengalami degradasi kualitas.

2.3.2 Karakteristik Kaca Berdasarkan Sifat Fisik:

- a. Sifat kaca bisa mengalami pemuaian sehingga benda ini bisa menyusut jika dipengaruhi oleh suhu ruangan dan lingkungan sekitarnya.
- b. Sifat kaca tidak bisa menghantarkan panas karena memiliki kandungan isolator di dalamnya.
- c. Titik leleh kaca berbeda tergantung jenisnya. Namun, rata-rata titik didihnya berada di atas 1000°C.

2.3.3 Karakteristik Kaca berdasarkan Sifat Mekanik:

- a. Kaca memiliki sifat *tension strength* yang relatif rendah sehingga mudah rapuh dan terpecah belah.
- b. Kaca memiliki tingkat kekerasan yang cukup tinggi, yang membuatnya tahan terhadap goresan.

2.4 Klasifikasi Kaca

Kaca dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, termasuk komposisi, metode pembuatan, atau sifat-sifat khususnya. Berikut adalah beberapa klasifikasi kaca umum:

2.4.1 Berdasarkan Komposisi

Berdasarkan komposisinya kaca dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

- a. Kaca Silikat: Merupakan kaca konvensional yang terbuat dari campuran silikon dioksida (SiO_2), natrium oksida (Na_2O), dan kalsium oksida (CaO). Digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi, termasuk jendela dan wadah minum.
- b. Kaca Borosilikat: Mengandung boron trioksida, memberikan ketahanan terhadap perubahan suhu ekstrem. Digunakan dalam peralatan laboratorium dan produk seperti *Pyrex*.

2.4.2 Berdasarkan Penggunaan

Berdasarkan penggunaannya kaca dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut:

- a. Kaca Bening: Kaca bening sering dikenal sebagai kaca polos, kaca standar, atau *float glass*, dan umumnya digunakan sebagai jenis kaca untuk membuat jendela. Kaca bening memiliki sifat transparan, permukaan yang rata, bersih, dan bebas distorsi sehingga menjadikannya pilihan yang tepat untuk digunakan dalam berbagai keperluan di kehidupan sehari-hari. Namun, hindari menggunakannya sebagai eksterior rumah, seperti dinding kaca atau pagar balkon, karena jenis kaca ini tidak memiliki tingkat ketahanan yang tinggi. Kaca bening tidak hanya digunakan sebagai bahan baku jendela, melainkan juga sering digunakan dalam pembuatan perabotan rumah tangga. Penampakan kaca bening dapat dilihat seperti pada gambar 2.1 (Lestari dkk, 2014).

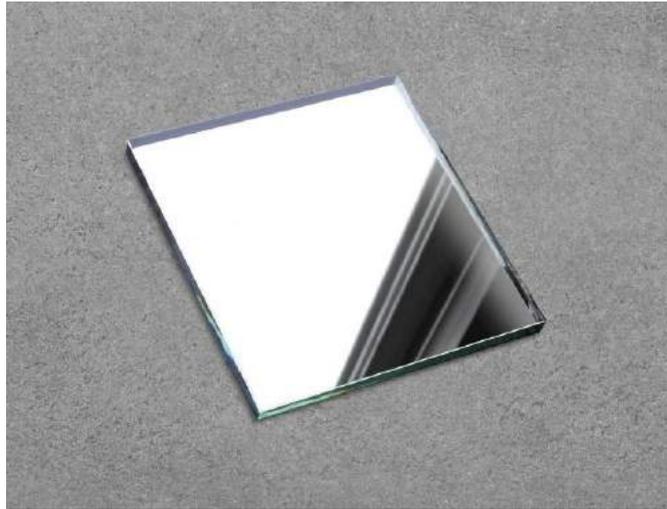


Gambar 2. 1 Kaca Bening

(Sumber: materialpilihanku.blogspot.com)

- b. Kaca Cermin (*Mirror Glass*): Jenis kaca ini sering disebut kaca reflektif atau *one way glass* karena hanya terlihat transparan dari satu sisi. Kaca cermin diproduksi dengan menambahkan lapisan

pemantul berupa lapisan tipis oksida logam. Pelapisan atau *coating* ini dapat diterapkan pada kaca bening maupun berwarna. Keistimewaan kaca ini adalah kemampuannya memantulkan cahaya dan panas sehingga dapat digunakan untuk menjaga suhu ruangan. Penampakan kaca cemin dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 (Lestari dkk, 2014).



Gambar 2. 2 Kaca Cermin (*Mirror Glass*)

(Sumber: www.mirror-glass.co.uk)

- c. Kaca Es (*Frosted Glasses*): Jenis kaca ini memiliki sisi yang bertekstur dan permukaannya buram (tidak transparan). Biasanya teksturnya terletak pada sisi yang menghadap keluar, sementara sisi yang menghadap ke dalam permukaannya rata. Kaca es (*Frosted Glasses*) dibuat dengan cara meng-etsa atau melakukan pengikisan pada pori-pori kaca yang mana umumnya dilakukan dengan metode pasir atau dengan metode kimia untuk menciptakan efek yang buram atau berkerak. Kelebihan jenis kaca ini yaitu sanggup menghalangi pandangan dari luar sekaligus memecah gelombang sinar matahari. Kelebihan kaca es membuat jenis kaca ini biasanya dimanfaatkan untuk fungsi dekoratifnya. Selain dapat membuat ruangan menjadi lebih indah, kaca ini juga dapat digunakan sebagai penyekat agar

bagian dalam ruangan tidak dapat terlihat. Penampakan kaca es dapat dilihat seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Kaca Es (*Frosted Glasses*)

(Sumber: himalayaabadi.com)

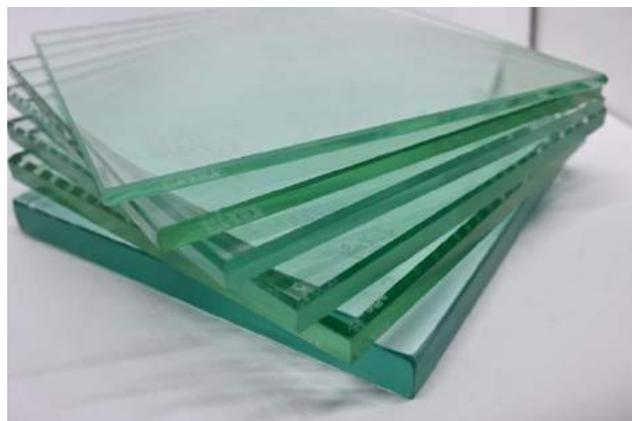
- d. Kaca Berwarna (*Tinted Glass*): Jenis kaca yang satu ini disebut juga kaca *rayban*. Kaca *rayban* dibuat dari kaca bening yang ditambahkan pewarna. Bahan pewarna yang digunakan adalah senyawa atau oksida logam yang ditambahkan ke dalam komposisi kaca untuk menghasilkan warna tertentu. Oksida logam seperti selenium, kobalt, dan besi sering digunakan dalam pewarnaan kaca. Warna yang ditawarkan pun cukup beragam: hitam, abu-abu, biru kehijauan, tembaga, biru gelap, hijau gelap, dan lain-lain. Kelebihan kaca warna yaitu kemampuannya yang cukup baik dalam menahan panas. Kaca ini dapat membuat ruangan menjadi lebih sejuk walaupun terpapar terik matahari. Semakin tebal kacanya maka akan semakin gelap warnanya dan semakin menyerap panas. Namun efeknya adalah suasana di dalam ruangan akan menjadi semakin gelap. Penampakan kaca berwarna dapat dilihat seperti pada gambar 2.4 (Nasution dkk, 2015).



Gambar 2. 4 Kaca Berwarna (*Tinted Glass*)

(Sumber: himalayaabadi.com)

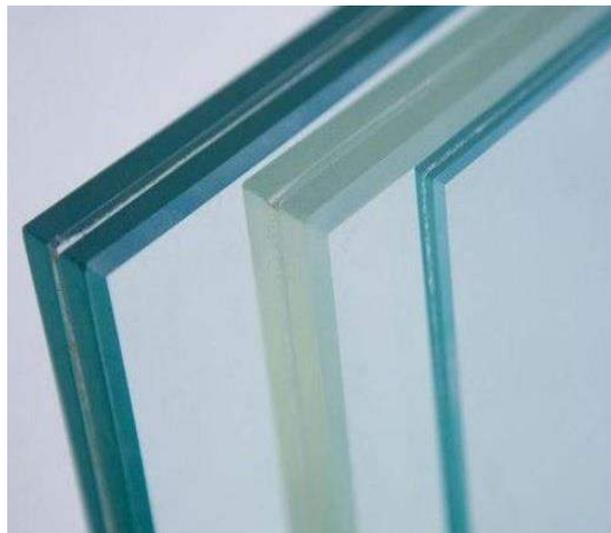
- e. Kaca *Tempered*: *Tempered glass* adalah jenis kaca yang sangat kuat, diproduksi melalui pemanasan merata pada suhu sekitar 650°C, kemudian didinginkan dengan cepat atau disebut dengan perlakuan panas *quenching*. Kaca *tempered* memiliki ketahanan benturan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kaca biasa. Saat pecah, kaca *tempered* akan terbentuk menjadi serpihan-serpihan kecil yang tumpul, berbeda dengan kaca biasa yang pecah menjadi potongan panjang dan tajam. Karena itu, kaca *tempered* lebih aman dan tidak akan melukai saat pecah dibandingkan dengan kaca biasa. Penampakan kaca *tempered* dapat dilihat seperti pada gambar 2.5 (Lestari dkk, 2014).



Gambar 2. 5 Kaca *Tempered*

(Sumber: ruangarsitek.id)

- f. Kaca Laminasi: Kaca laminasi merupakan jenis kaca yang terdiri dari dua atau lebih lapisan kaca dengan satu atau lebih lapisan transparan, yang disatukan oleh lapisan plastik *Polyvinyl Butiral* (PVB) di antara lapisannya. Lapisan PVB tersebut dapat memperkuat sifat kaca. Kaca laminasi memiliki beberapa keunggulan, seperti mengurangi risiko retak atau pecah. Meskipun mengalami kerusakan, kaca jenis ini tetap memberikan keamanan bagi pengguna karena tidak terpecah menjadi serpihan atau puing-puing. Selain itu, kaca laminasi juga mampu mengurangi masuknya sinar ultraviolet ke dalam bangunan, dengan tingkat perlindungan mencapai 99%. Penampakan kaca laminasi dapat dilihat seperti pada gambar 2.6 (Lestari dkk, 2014).



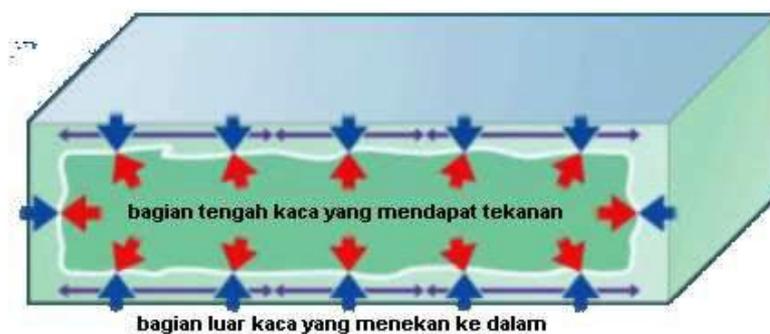
Gambar 2. 6 Kaca Laminasi
(Sumber: himalayaabadi.com)

2.5 Kaca *Tempered*

Dalam klasifikasi kaca yang dipanaskan, ada jenis kaca yang disebut dengan *tempered glass*. Kaca *tempered* diproses dengan tata cara pemanasan ulang yaitu hingga mencapai temperatur 650°C. Pada proses pembuatan *tempered glass* langsung didinginkan dengan sangat cepat setelah dipanaskan. Hasil

akhir menunjukkan adanya perbedaan pada jenis kaca ini, yaitu pada kekuatan kaca, jenis butiran kaca ketika pecah, dan tingkat distorsi yang dialami kaca. Melalui proses pemanasan dan pendinginan cepat akan menyebabkan kaca *tempered* memiliki kemampuan menahan benturan lebih kuat dibanding kaca bening biasa (Mandala, 2017).

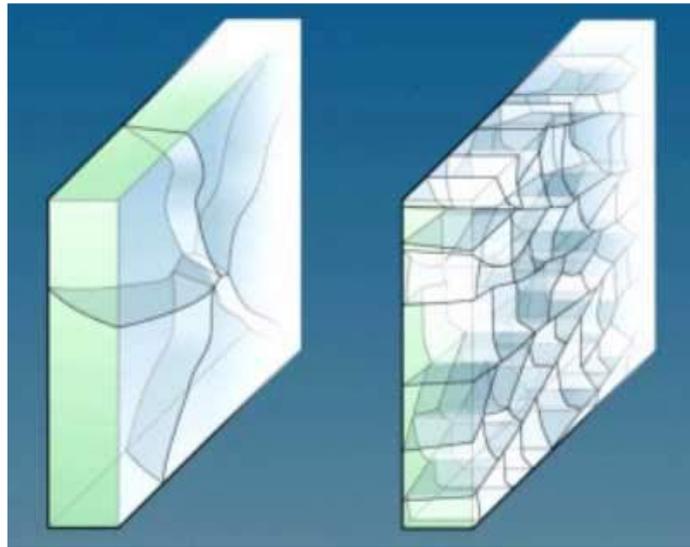
Ketebalan minimum kaca bening biasa untuk dapat mengalami perkuatan secara *tempered* adalah 6 mm. Kaca dengan ketebalan dibawah 6 mm akan pecah saat proses pemanasan. Pada proses pembuatan kaca *tempered* yaitu ketika kaca dipanaskan dan kemudian didinginkan secara cepat, proses pendinginan yang cepat tersebut menyebabkan permukaan kaca mendingin lebih cepat daripada bagian dalamnya. Hal ini menciptakan tegangan kompresi pada permukaan kaca dan tegangan tarik di bagian dalamnya, dengan ilustrasi yang dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Ilustrasi perbedaan tekanan pada kaca *tempered*
(Sumber: id.migoglass.org)

Ketika kaca *tempered* mengalami tekanan atau kerusakan tegangan yang ada pada kaca *tempered* akan dilepaskan sehingga menyebabkan kaca pecah menjadi serpihan-serpihan kecil yang aman. Pada kaca yang belum diberi perlakuan panas *quenching* ketika pecah tidak ada tegangan yang sama seperti pada kaca *tempered*, sehingga kaca memecah menjadi pecahan besar yang tajam. Perlakuan panas *quenching* pada kaca menyebabkan pecahannya lebih banyak karena pecahan kaca menjadi serpihan-serpihan kecil akibat pelepasan tegangan yang terjadi pada kaca *tempered*. Bentuk

pecahan kaca bening biasa dan kaca *tempered* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Pecahan kaca bening biasa (kiri) dan *tempered* (kanan)
(Sumber: workshop.co.id)

Kaca *tempered* sering dipilih untuk aplikasi konstruksi bangunan karena kekuatannya yang telah ditingkatkan. Hal tersebut memberikan keunggulan lebih dari kaca bening biasa. Penggunaan kaca *tempered* umumnya terfokus pada bagian-bagian bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap tekanan atau benturan, seperti dinding atau lantai dasar bangunan. selain itu, kaca *tempered* juga dapat digunakan sebagai kaca samping maupun belakang kendaraan. Kaca *tempered* cocok untuk digunakan pada kendaraan karena kaca *tempered* memiliki kekuatan benturan yang lebih kuat jika dibandingkan dengan kaca bening biasa. Namun apabila ketika penggunaannya kaca tersebut pecah, kaca *tempered* tidak akan terlalu melukai pengguna karena jika kaca *tempered* terpecah akan menjadi pecahan atau serpihan-serpihan kecil seperti kerikil sehingga mengurangi resiko bahaya pengguna (Markhiyano dkk, 2019).

2.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan suatu proses pemanasan dan pendinginan suatu material dalam keadaan padat dengan tujuan untuk mengubah sifat-sifat mekanik dari suatu material. Perlakuan panas sering dilakukan pada material yang akan dilakukan pengerjaan lebih lanjut, dengan kata lain perlakuan panas dilakukan pada material setengah jadi untuk dilakukan pengerjaan lanjutan (Hadi, 2010).

Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari pemanasan material hingga suhu tertentu dan kemudian mendinginkan dengan cara dan kecepatan tertentu. Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan material pada kondisi normal akibat pengaruh dari proses pengerjaan sebelumnya (Jordi dkk, 2017).

Penemperan bertujuan untuk meningkatkan kekuatan pada kaca. Berdasarkan proses penemperan yang dilakukan oleh Susanto pada tahun 2007, proses tempering dilakukan dengan tiga variasi temperatur yaitu 500°C, 600°C, dan 700°C yang kemudian dilakukan proses pengujian pada tiap-tiap perlakuan panas. Setelah dilakukan pengujian, ada perubahan kekuatan bending pada kaca setelah dilakukan proses temper dengan kaca yang belum dilakukan proses temper. Untuk kaca yang dilakukan proses temper dengan suhu 700°C memiliki kekuatan bending terbesar yaitu 68,928 N/cm², sedangkan kaca yang belum dilakukan proses temper kekuatan bendingnya 62,400 N/cm² (Susanto, 2007).

2.7 Perlakuan Panas pada Kaca

Salah satu bahan yang dapat diberi perlakuan panas adalah kaca. Perlakuan panas pada kaca merupakan proses penting dalam industri kaca karena dapat

mengubah sifat fisik dan mekanik kaca. Proses perlakuan panas kaca melibatkan pemanasan kaca hingga suhu tertentu, kemudian mendinginkannya dengan kecepatan yang diperlukan untuk menghasilkan efek yang diinginkan. Terdapat beberapa teknik perlakuan panas yang umum digunakan, salah satunya adalah *annealing*.

Annealing merupakan proses pendinginan kaca secara perlahan setelah dipanaskan untuk mengurangi ketegangan internal dalam kaca. Dalam proses produksi kaca, kaca cair yang diletakkan di atas cetakan, akan cepat mendingin. Pendinginan cepat ini menciptakan tekanan internal di dalam kaca. Saat suhu kaca mencapai suhu kamar, tekanan di kaca berpotensi menyebabkan kerusakan spontan. Proses *anneal* adalah sebuah proses pengontrolan pendinginan kaca secara perlahan untuk meredakan tekanan internalnya. Proses *annealing* ini dilakukan dengan mengurangi suhu kaca secara perlahan hingga mencapai suhu kamar. Dengan demikian, kaca menjadi lebih stabil dan memiliki kekuatan yang lebih baik (Mediastika, 2021).

Selain *annealing*, proses perlakuan panas kaca lainnya adalah *tempering*. *Tempering* merupakan proses pemanasan yang dilakukan pada kaca untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan terhadap tekanan dan benturan. Proses tersebut melibatkan pemanasan kaca hingga suhu di bawah titik lelehnya, kemudian kaca didinginkan secara cepat atau disebut *quenching* dengan menggunakan media pendingin cairan atau udara. Akibat pendinginan cepat ini, permukaan kaca menjadi tegang sementara inti kaca tetap dalam keadaan panas. Karena bagian dalam mengalami pendinginan yang lambat dibandingkan dengan bagian luar, maka perbedaan *termal* antar bagian ini menciptakan tegangan tekan pada permukaan kaca dan tekanan tarik pada bagian dalam, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanannya terhadap tekanan dan benturan (Mediastika, 2021).

Perlakuan panas juga dapat dilakukan untuk membentuk kaca menjadi bentuk yang diinginkan. Proses ini dikenal sebagai pembentukan panas atau *molding*. Dalam pembentukan panas, kaca dipanaskan hingga suhu yang cukup tinggi untuk menjadi lentur, kemudian dibentuk sesuai dengan cetakan atau alat pembentuk yang diinginkan. Setelah membentuk, kaca akan didinginkan secara perlahan untuk mencegah terjadinya retak atau pecah.

Kesalahan dalam proses perlakuan panas dapat menyebabkan kaca menjadi retak atau pecah, Kaca dapat pecah ketika dipanaskan terlalu cepat karena fenomena yang disebut *thermal shock*. Ketika kaca dipanaskan secara cepat, bagian luar dan dalam kaca akan memuai dengan kecepatan yang berbeda. Hal ini menciptakan tegangan internal yang besar di dalam kaca karena perbedaan suhu yang cepat, yang dapat menyebabkan kaca retak atau bahkan pecah. Penting untuk memperhatikan bahwa proses perlakuan panas kaca harus dilakukan dengan hati-hati.

2.8 Perlakuan Panas *Quenching*

Perlakuan panas *quenching* merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan pada material dengan menggunakan proses pendinginan yang relatif cepat dengan menggunakan air, oli, dan larutan garam. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan material dapat berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan, dan bahan dasar media pendingin (Handoyo, 2015).

Perlakuan panas *quenching* pada kaca merupakan proses pemanasan kaca pada temperatur tinggi namun di bawah temperatur leburnya, dan kemudian dilakukan pendinginan secara cepat menggunakan media pendingin seperti air atau minyak. Tujuan dilakukannya perlakuan panas *quenching* pada kaca

adalah untuk membuat kaca tersebut menjadi lebih kuat, dan jenis kaca tersebut biasa disebut dengan kaca *tempered*.

Proses pendinginan yang cepat pada perlakuan panas *quenching* mengakibatkan tegangan permukaan yang tinggi di dalam kaca. Ketika kaca dipanaskan dan kemudian didinginkan dengan cepat akan mengakibatkan pendinginan yang lebih cepat pada lapisan permukaan dibandingkan dengan bagian dalamnya. Hal tersebut mengakibatkan perbedaan suhu antara permukaan dan inti kaca yang menyebabkan tegangan kompresi pada lapisan permukaan dan tegangan tarik pada bagian dalam.

Laju *quenching* bergantung pada beberapa faktor yaitu suhu medium, panas jenis, panas penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan aglomerasi (arus media pendingin). Pada proses *quenching* media pendingin sangat berpengaruh pada laju pendinginan. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas *quenching* antara lain:

a. Air garam

Larutan air garam merupakan larutan yang memiliki viskositas rendah, sehingga menyebabkan kekentalannya rendah dan mengakibatkan laju pendinginan yang cepat. Massa jenis larutan air garam juga lebih tinggi daripada media pendingin lainnya.

Penelitian perlakuan panas *quenching* dengan menggunakan air garam sebagai media pendinginnya pernah dilakukan oleh seorang peneliti asal klaten, dengan menggunakan kandungan garam sebanyak 0% hingga 30% menunjukkan bahwa jika semakin tinggi kandungan garam pada larutan maka laju pendinginannya akan semakin cepat. Pada gambar 2.9 ditunjukkan larutan air garam (Sutiyoko, 2014).



Gambar 2. 9 Larutan Garam
(Sumber: www.sinarbanten.com)

b. Air

Air mempunyai massa jenis yang tinggi tetapi lebih kecil dari air garam, viskositasnya rendah, seperti air garam. Laju pendinginan lebih lambat dibandingkan air garam. Air menghasilkan laju pendinginan yang mendekati maksimum. Keuntungan air sebagai media pendingin yaitu murah, mudah didapat, serta mudah dibuang dengan minimal polusi dengan risiko bahaya kesehatan yang minim (Jordi dkk, 2017).

c. Minyak atau Oli

Minyak yang akan digunakan dalam pendinginan perlakuan panas pada benda kerja akan diolah terlebih dahulu. Selain jenis minyak khusus yang digunakan sebagai media pendingin juga dapat digunakan oli minyak bakar atau solar. Derajat kekentalan (viskositas) dapat berpengaruh pada laju pendinginan. Laju pendinginan minyak dapat ditingkatkan melalui tiga metode, yaitu dengan mengaduk (agitasi), memanaskan minyak pada temperatur diatas temperatur kamar dan mengemulsikan air (*water soluble*). Penampakan oli dapat dilihat pada gambar 2.10 (Handoyo, 2015)



Gambar 2. 10 Oli

(Sumber: www.beritasatu.com)

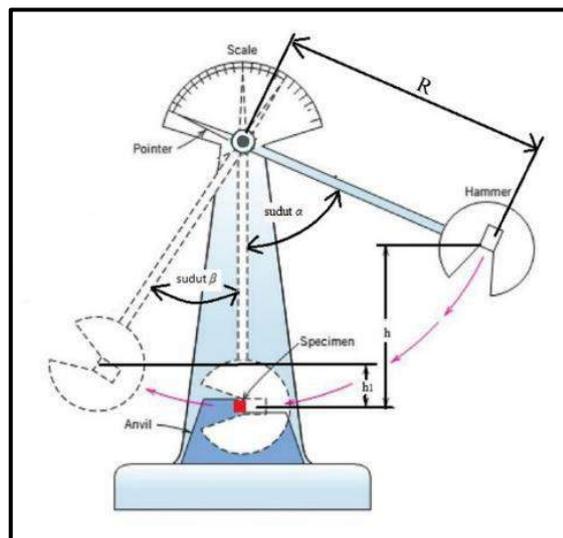
Oli memiliki viskositas atau nilai kekentalan yang paling tinggi dibanding dengan media pendingin lainnya serta memiliki densitas yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi viskositas yaitu komposisi, temperatur, dan tekanan. Angka viskositas ditinjau dengan SEA (*Society of Automotive Engine*) yang menunjukkan pada kelompok mana viskositas tersebut termasuk (Damayanti dkk,2018).

2.9 Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan pengujian mekanis yang dapat digunakan untuk menganalisis sifat material seperti kemampuan material terhadap benturan dan sifat keuletan material terhadap perubahan suhu. Alat uji impak merupakan salah satu alat pengujian yang umum digunakan dalam pengembangan struktur material untuk mengukur kemampuannya dalam menahan beban kejut (Jalil dkk, 2017).

Pengujian impak merupakan pengujian yang menggunakan pembebanan cepat (*rapid loading*). Selama pengujian impak akan terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Dalam pengujian impak, banyaknya energi yang diserap oleh spesimen untuk

menyebabkan perpatahan adalah ukuran ketangguhan suatu material tersebut dalam menahan beban kejut atau beban impak. Material yang memiliki sifat ulet akan menunjukkan nilai kekuatan impak yang tinggi karena mampu menyerap energi dari pendulum atau beban yang berayun dari ketinggian tertentu dan tentunya akan berdampak pada benda uji, sehingga benda uji tersebut akan berubah bentuk. Ilustrasi pengujian impak dapat dilihat pada gambar 2.11 (Taufana dkk, 2020).



Gambar 2. 11 Ilustrasi Pengujian Impak
(Sumber: Kartika dkk, 2019)

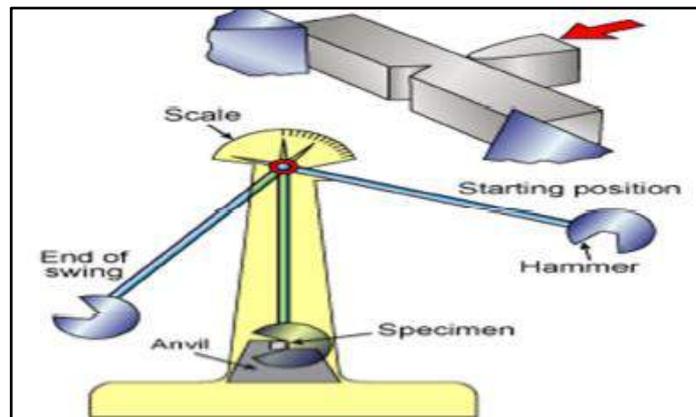
2.10 Jenis-jenis Metode Impak

Secara umum, terdapat dua jenis metode dalam pengujian impak yaitu:

a. Metode *Charpy*

Metode pengujian tumbuk dilakukan dengan menempatkan spesimen uji pada tumpuan dalam posisi horizontal atau mendatar, sementara arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Takikan diletakkan di tengah spesimen uji, dengan kedalaman takikan yaitu 2mm dari permukaan benda uji dan sudut takikan sebesar 45° . Pendekatan ini sering digunakan dalam industri yang membutuhkan standar keselamatan yang tinggi karena persiapannya mudah dan

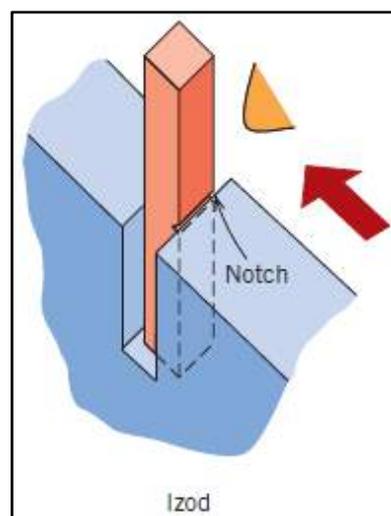
pelaksanaannya sederhana. Secara skematik uji impak *charpy* seperti pada gambar 2.12 (Handoyo, 2013).



Gambar 2. 12 Ilustrasi Pengujian Metode *Charpy*
(Sumber: Handoyo, 2013)

b. Metode *Izod*

Pengujian metode *izod* dilakukan dengan menempatkan spesimen uji pada tumpuan dalam posisi dan arah pembebanan sejajar dengan arah takikan. Kelebihan dari metode ini adalah tumbukan yang tepat pada takikan dan spesimen tidak mudah bergeser karena satu ujungnya terjepit, serta memungkinkan penggunaan spesimen dengan ukuran yang lebih besar. Ilustrasi pengujian metode *izod* dapat dilihat pada gambar 2.13 (Pramono, 2016).



Gambar 2. 13 Ilustrasi Pengujian Metode *Izod*
(Sumber: faraland.wordpress.com)

2.11 Perhitungan Kekuatan Impak

Perhitungan kekuatan impak bertujuan untuk mencari energi impak dan harga impak. Sebelum menentukan harga impak ada baiknya diketahui terlebih dahulu energi potensial dan energi kinetik yang dimiliki oleh alat uji impak untuk mengetahui energi yang dimiliki oleh suatu benda karena ketinggian atau posisinya terhadap titik acuan dan energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya.

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari energi potensial:

$$Ep = m \cdot g \cdot h \quad (2.1)$$

Keterangan: Ep = Energi potensial (J)

m = Massa benda (kg)

h = Ketinggian benda (m)

g = Gravitasi (m/s^2)

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari energi kinetik:

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.2)$$

Keterangan: Ek = Energi kinetik (J)

m = Massa benda (kg)

v = Kecepatan atau laju benda (m/s)

Harga impak (HI) suatu material yang diuji dengan metode *charpy* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2.3)$$

Keterangan: E = Energi yang diserap (J)

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2024 sampai dengan Februari 2024 di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung dan Laboratorium Grafi SMK SMTI Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Bahan Penelitian (Kaca Bening)

Kaca merupakan suatu bahan yang tergolong bahan anorganik, dibuat dengan cara meleburkan beberapa bahan dasar, kemudian bahan dasar dari hasil peleburan tersebut mengalami proses pemadatan dengan proses pendinginan. Kaca dibuat dari campuran yang terdiri dari 75% silikon dioksida (SiO_2) ditambah dengan Na_2O , CaO , dan beberapa bahan tambahan lainnya. Kaca bening yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Bahan Penelitian (Kaca Bening)

3.2.2 Gerinda Potong

Gerinda potong merupakan alat yang digunakan untuk memotong spesiemen agar dimensinya sesuai dengan ketentuan pengujian. Gerinda potong yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Gerinda Potong

3.2.3 Tungku (*Furnace*)

Furnace digunakan dalam proses perlakuan panas *quenching*, dimana spesiemen akan dipanaskan dengan variasi temperatur yang telah ditentukan. *Furnace* ini terdapat di Laboratorium Grafi SMK

SMTI Bandar Lampung. Tungku pemanas (*furnace*) yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3.



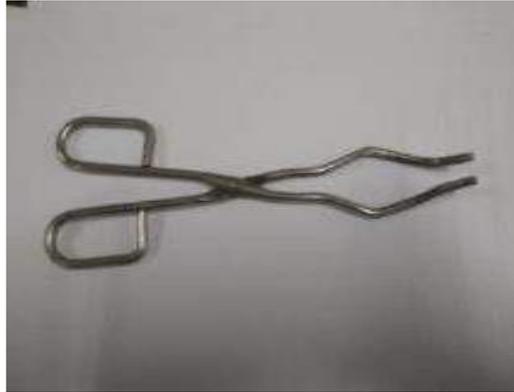
Gambar 3. 3 Tungku (*Furnace*)

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Furnace*

Model	Barnstead Thermolyne Thermofisher 4800 Series Muffle Furnace F48025-60 80
Power Rating	120 Volts
Hertz	50/60Hz
Amps	15 watt
Phase	1
Temperature Range	Continues : 1093°C Intermittent : 1200°C
Dimensions in Inches	Chamber : 7 (17,8) W X 5 (12,7) X 10 (25,4) D Overall : 13,25 (33,7) W X 19 (48,3) H X 19,5 (49,5) D

3.2.4 Penjepit Spesimen

Penjepit spesimen merupakan alat yang digunakan untuk mengeluarkan dan memindahkan spesimen dari *furnace* untuk menghindari panas. Penjepit spesimen yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Penjepit Spesimen

3.2.5 Sarung Tangan

Sarung tangan merupakan alat yang digunakan pada tangan untuk mengurangi paparan panas dari tungku pemanas ketika akan mengeluarkan spesimen dari *furnace*. Sarung tangan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Sarung Tangan

3.2.6 Media Pendingin Air

Air merupakan media pendingin *quenching* yang akan digunakan setelah kaca dilakukan *heat treatment*. Media pendingin air yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Media Pendingin Air

3.2.7 Media Pendingin Oli

Oli merupakan media pendinginan *quenching* yang akan digunakan setelah kaca dilakukan *heat treatment*, oli yang digunakan yaitu merek Pertamina Mesran Super dengan SAE 20W-50W. Media pendingin oli yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Media Pending Oli

3.2.8 Alat Uji Impak

Impact Testing Machine adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian beban kejutan yang diberikan pada spesimen kaca. Pengujian impak ini menggunakan metode *charpy*, dengan membuat takikan tepat di tengah spesimen. Alat uji impak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Alat Uji Impak

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Uji Impak

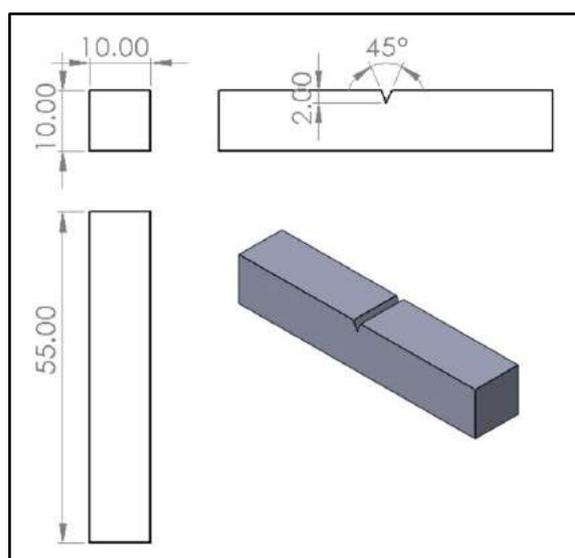
Model	RMU <i>Testing Equipment</i>
Pendulum <i>Energy</i>	300 J <i>Charpy</i> – Div. 1 J 150 J <i>Charpy</i> – Div. 0,5 J 165 J <i>Izod</i> – Div. 2,5 J
<i>Rising angel</i>	160°
<i>Distance between centers of pendulum spesimen</i>	380 mm
Pendulum momen	0.5 J PL=0.258 Nm
	1 J P =0.516 Nm
	2 J P =1.031 Nm
	4 J P =2.062 Nm
	5 J P =2.578 Nm
<i>Dial scale</i>	0 – 0.5 J minimum <i>scale</i> = 0.005 J
	0 – 1 J minimum <i>scale</i> = 0.01 J
	0 – 2 J minimum <i>scale</i> = 0.02 J
	0 – 4 J minimum <i>scale</i> = 0.04 J
	0 – 5 J minimum <i>scale</i> = 0.05 J
<i>Corner dimension ofstriking edge</i>	30 <i>degree</i>
<i>Round angel radius ofstriking edge</i>	R = 2mm
<i>specimen</i>	<i>Conform to ISO180</i>

3.3 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap pertama persiapan spesimen atau benda uji, kemudian tahap perlakuan panas, selanjutnya tahap pengujian, dan tahap terakhir pengambilan data.

3.3.1 Persiapan Spesimen

Melakukan penyesuaian bentuk dari bentuk lembaran ke bentuk yang telah ditentukan, adapun dimensi yang digunakan berdasarkan standar ASTM E-23, yaitu panjang 55 mm, lebar 10 mm, tinggi 10 mm, kemudian dengan kedalaman takikan 2 mm yang bersudut 45°. Penyesuaian bentuk dapat dilakukan dengan gerinda potong. Bentuk spesimen pengujian impact dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Spesimen Uji Impact Sesuai Standar ASTM E-23

3.3.2 Perlakuan Panas

Adapun tahap perlakuan panas yang dilakukan pada kaca adalah sebagai berikut:

- Memasukkan kaca yang sudah sesuai dengan dimensinya kedalam *furnace* dengan menggunakan penjepit dan sarung tangan.
- Memanaskan *furnace* hingga mencapai temperatur 480°C.

- c. Melakukan penahanan (*holding*) ketika telah mencapai temperature yang diinginkan selama 10 menit.
- d. Mengeluarkan spesimen dari *furnace* dan langsung mencelupkan spesimen ke dalam oli selama 10 detik dengan menggunakan penjepit dan sarung tangan.
- e. Mengulangi langkah a, b, c, dan d dengan menggunakan temperatur 565°C, dan 650°C.
- f. Mengeringkan dan membersihkan spesimen setelah spesimen bertemperatur ruangan.

3.3.3 Pengujian Impak

Pengujian impak pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *charpy* dan alat uji yang digunakan yaitu *universal impact tester*. Adapun tahap pengujian impak adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan kalibrasi pada alat pengujian impak untuk meminimalisir kesalahan perhitungan.
- b. Meletakkan spesimen pada meja uji.
- c. Mengangkat pendulum pada alat uji impak.
- d. Melepaskan tuas pada alat uji impak.
- e. Melakukan pengereman setelah tuas mencapai ketinggian maksimum.
- f. Menentukan jenis perpatahan yang terjadi.
- g. Melakukan analisis pada perpatahan.
- h. Melihat nilai energi impak yang terjadi.

3.4 Variabel Penelitian

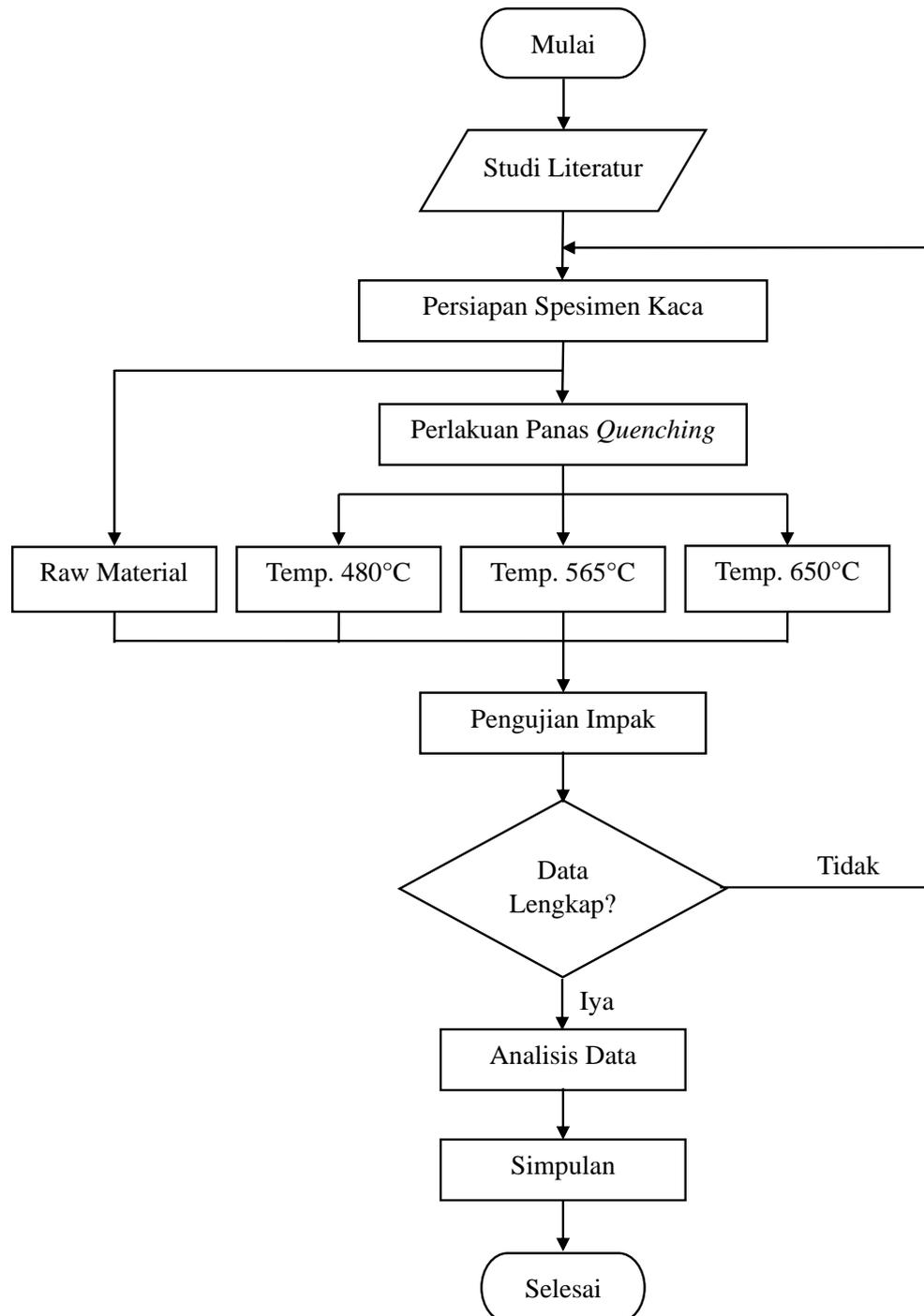
Adapun proses pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu tanpa diberi perlakuan panas *quenching* dan diberikan perlakuan panas *quenching* dengan variasi temperatur 480°C, 565°C, dan 650°C adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Pengambilan Data Pengujian Impak

Perlakuan	Spesimen	Energi Impak (Joule)	Harga Impak (J/mm ²)
Tanpa <i>Quenching</i>	RM1		
	RM2		
	RM3		
<i>Quenching</i> 480°C	1		
	2		
	3		
<i>Quenching</i> 565°C	1		
	2		
	3		
<i>Quenching</i> 650°C	1		
	2		
	3		

3.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang didapatkan setelah dilakukan penelitian pengaruh variasi temperatur pemanasan dalam proses *quenching* pada pembuatan kaca *tempered* terhadap ketangguhan bahan kaca adalah sebagai berikut:

1. Kaca yang telah diberi perlakuan panas *quenching* mengalami perubahan kekuatan impact. Pada kaca bening yang belum diberi perlakuan panas *quenching* menghasilkan rata-rata energi impact sebesar 2,20 joule, sedangkan pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas *quenching* dengan temperatur 480°C, 565°C, dan 650°C menghasilkan rata-rata energi impact secara berurutan sebesar 3,03 joule, 3,23 joule, dan 3,33 joule. Peningkatan kekuatan impact terbesar terjadi pada spesimen yang diberi perlakuan panas *quenching* temperatur 650°C yaitu mengalami peningkatan sebesar 51,36%. Terjadi perubahan kekuatan impact yang sangat signifikan ketika bahan kaca sebelum dan setelah diberikan perlakuan panas *quenching*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas *quenching* pada kaca sangat mempengaruhi kekuatan impact karena kaca yang diberi perlakuan panas *quenching* mengalami peningkatan kekuatan impact.
2. Kekuatan impact yang dihasilkan dari ketiga temperatur yang diberikan pada spesimen kaca mengalami peningkatan. Pada temperatur 480°C menghasilkan energi impact dengan rata-rata sebesar 3,03 joule. Pada temperatur pemanasan 565°C menghasilkan energi impact dengan rata-

rata 3,23 joule. Kemudian pada temperatur pemanasan 650°C menghasilkan rata-rata energi impak sebesar 3,33 joule. Artinya dari masing-masing temperatur pemanasan *quenching* terdapat selisih peningkatan kekuatan impak yaitu sebesar 6,6% dan 3,09%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur pemanasan dapat berpengaruh terhadap kekuatan impak pada kaca walaupun tidak signifikan. Semakin tinggi jarak antara temperatur pemanasan dan pendinginan yang diberikan pada kaca maka kekuatan impak pada kaca *tempered* akan semakin meningkat.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk mendukung penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Waktu yang digunakan untuk memanaskan spesimen diusahakan selambat mungkin untuk menghindari *thermal shock* atau pecah pada saat kaca dipanaskan.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dan dikaji kembali mengenai media pendingin yang lebih sesuai untuk melakukan pendinginan *quenching* pada kaca agar tidak mengalami keretakan ketika dilakukan proses pendinginan cepat.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicari kembali temperatur yang sesuai dan dikaji kembali mengenai penggunaan temperatur yang lebih tinggi pada pemanasan kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Damayanti, Y., Lesmono, A. D., & Prihandono, T. (2018). Kajian Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Goreng Sebagai Rancangan Bahan Ajar Petunjuk Praktikum Fisika. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 7(3), 307-314.
- Hadi, Q. (2010). Pengaruh Perlakuan Panas Pada Baja Konstruksi ST37 Terhadap Distorsi, Kekerasan Dan Perubahan Struktur Mikro. *Universitas Sriwijaya Jl. Raya Palembang–Prabumulih Km, 32*.
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 102-115.
- Hotsan, P.S., Da Silva, P., Paristiawan, P. A., & Andriyanto, A. (2022). Analisis Pecahan Kaca Temper Bz 321rcb Dengan Variasi Temperatur. *Ismetek*, 14(2).
- Jalil, S. A., Zulkifli, Z., & Rahayu, T. (2017). Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan Smaw Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan. *Jurnal Polimesin*, 15(2), 58-63.
- Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1).
- Kartika, N. D., & Darmawan, A. S. (2019). *Pengaruh Variasi Kandungan Magnesium (Mg) Dalam Proses Pembuatan Besi Cor Nodular Terhadap Kekuatan Impak* (Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Lestari, L., & Alhamdani, M. R. (2014). Penerapan Material Kaca Dalam Arsitektur. *LANGKAU BETANG: JURNAL ARSITEKTUR*, 1(2), 30-42.
- Mandala, A. B. (2017). *Ice Skating Center di Makassar dengan Pendekatan Arsitektur Modern-Transparan*. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

- Markhiyano, R., Murti, H. T. B., & Tontowi, A. E. (2019). *Pemanfaatan Cerium Oxide Dan Analisis Ekonomi Usaha Pada Polishing Kaca Mobil Tempered dan Laminated* Universitas Gadjah Mada.
- Mediastika, C. E. (2021). Kaca untuk bangunan. Penerbit Andi.
- Nasution, N., Supriyanto, A., & Suciwati, S. W. (2015). Implementasi Sensor Fotodiode Sebagai Pendeteksi Serapan Sinar Infra Merah Pada Kaca. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 3(2).
- Ogunleye, R. O., & Rusnakova, S. (2021). A review of prestressed fibre-reinforced polymer matrix composites. *Polymers*, 14(1), 60.
- Pramono, R. (2016). *Analisa Kekuatan Impak Dengan Variasi Sudut Bandul Pada Material Logam Baja St37*. Medan Area University.
- Purnomo, H., & Hisyam, E. S. (2014). Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan Tekan Dan Kekuatan Tarik Belah Beton. In *Forum Profesional Teknik Sipil* (Vol. 2, No. 1, P. 55681). Bangka Belitung University.
- Setiawan, B. (2006). *Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca Pada Beton Ditinjau Dari Segi Kekuatan Dan Shrinkage*. Petra Christian University.
- Shedbale, N., & Muley, P. V. (2017). Review on viscoelastic materials used in viscoelastic dampers. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 1.
- Susanto, A. (2007). Efek Proses Tempering Terhadap Kekuatan Bending Kaca. University of Muhammadiyah Malang.
- Sutiyoko, S. (2014). Perubahan Sifat Mekanik Material Karena Perbedaan Konsentrasi Larutan Garam NaCl Pada Proses Quenching. *Jurnal Foundry*, 4(1), 25-28.
- Tauvana, A. I., Syafrizal, S., & Subekti, M. I. (2020). Pengaruh Matrik Resin-Epoxy Terhadap Kekuatan Impak Dan Sifat Fisis Komposit Serat Nanas. *Jurnal Polimesin*, 18(2), 99-104.