

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *State of The Art*

Penelitian yang dilakukan menggunakan beberapa sumber referensi atau rujukan materi dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut ini adalah beberapa referensi berdasarkan beberapa jurnal atau materi yang menjadi rujukan dari penelitian ini:

**Tabel 2.1** *State of The Art*

No.	Judul (Peneliti/Tahun)	Objek Penelitian	Penemuan atau Hasil Penelitian
1.	Alternatif Anoda Limbah Kulit Udang dan Cangkang Telur / (Allam et al., 2021)	Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam dan Kulit Udang Sebagai Pembaharuan EBT	Produksi telur ayam jenis ayam petelur di Indonesia pada tahun 2022 tercatat mencapai angka 5,55 juta ton per tahun pada tahun 2022. Pengujian konduksi listrik dengan intensitas tertinggi dengan hasil terbaik adalah kombinasi 6 gram cangkang telur dan 2 gram cangkang udang dengan output 1,3 Volt. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah cangkang udang dan cangkang telur berpotensi besar untuk menggantikan batere Anoda sebagai energi terbarukan.
2.	Konduktivitas Termal Papan Komposit dari Sekam Padi dan Ampas Tebu /	Pengaruh Jumlah Komposisi <i>Filler</i> Terhadap	Penelitian dengan sekam padi dan ampas tebu memiliki nilai konduktivitas termal semakin rendah seiring dengan

	(Arman & Azwar, 2021)	Konduktivitas Termal	rendahnya komposisi ampas tebu. Hal ini dikarenakan adanya kerapatan yang rendah serta tingginya nilai porositas material.
3.	<i>Thermal, mechanical, and electrical properties of rubber latex with TiO<sub>2</sub> nanoparticles /</i> (Naphon et al, 2020)	Pengujian Sifat Termal, Mekanik, dan Listrik Komposit TiO <sub>2</sub> dengan Perekat Lateks Karet Alam	Nano partikel TiO <sub>2</sub> ukuran 21 nm dimana komponen karet alam dengan kandungan nano partikel 10 dan 20 phr. Hasil diperoleh nilai konduktivitas termal yang tinggi seiring bertambahnya ukuran dari nanopartikel dan perekatnya.
4.	Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Papan Partikel Tongkol Jagung / (Pratama et al, 2016)	Ukuran Mesh Serbuk Tongkol Jagung Terhadap Konduktivitas Termal	Serbuk tongkol jagung dengan Mesh 8, 16, dan 32 Mesh. 8 Mesh = 0,101 W/m.K 16 Mesh = 0,132 W/m.K 32 Mesh = 0,209 W/m.K Papan partikel dengan ukuran partikel yang lebih kecil membuat nilai konduktivitas termalnya juga semakin besar. Salah satu faktor yang mempengaruhi konduktivitas termal suatu material adalah porositas dan kepadatan material tersebut.
5.	Pengaruh Kompon Karet Cair Terhadap Sifat Fisika dan Kimia Papan Partikel dari Serbuk Batang	Penelitian Pengaruh Komposisi Papan Partikel Komposit	Telah dilakukan penelitian papan partikel dengan perekat karet alam terhadap sifat fisik dan kimia dari serbuk batang kelapa. Ukuran serbuk 75%

	Kelapa / (Teja Dwi S., 2021)	dengan Perekat Karet Alam Cair Terhadap Sifat Fisik dan Kimia	dan komposisi karet cair 30%, 35%, 40%, 45%, serta 50% dengan cetakan papan 10 x 5 x 7,5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil nilai keteguhan patah (MOR) berbanding lurus dengan komposisi karet alam. Hasil MOR sebesar 1850 g/mm <sup>2</sup> karena semakin besar komponen perekat akan memberikan ikatan partikel serbuk semakin kuat. Uji Elastisitas (MOE) berbanding lurus dengan komposisi karet alam sebesar 5816,5 g/mm <sup>2</sup> .
--	------------------------------	---	---

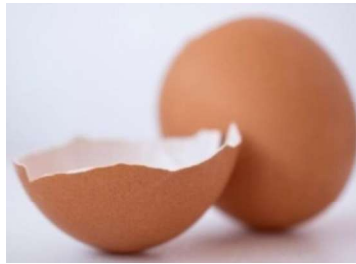
Berdasarkan beberapa sumber referensi dari jurnal maupun beberapa penelitian terdahulu, maka penulis akan melakukan penelitian untuk mengetahui nilai konduktivitas termal papan partikel komposit dengan *filler* serbuk cangkang telur ayam dan matriks karet alam. Pengujian konduktivitas termal ini dilakukan agar mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan plastik dan diharapkan dapat menjadi isolator yang baik untuk digunakan pada masyarakat luas.

## 2.2 Cangkang Telur Ayam

Telur mempunyai tiga komponen utama, yakni kulit telur atau cangkang telur sekitar 11% dari berat total telur, putih telur sekitar 57% berat total telur, dan kuning telur sekitar 32% total berat telur. Cangkang telur ayam merupakan bagian terluar dari telur ayam yang mempunyai fungsi untuk melindungi komponen-komponen isi telur dari segala kerusakan, baik kerusakan fisik, kimia serta mikrobiologis. Kulit atau cangkang telur ayam sebagian besar

tersusun oleh zat kapur yaitu kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Cangkang telur ayam ini secara umum memiliki kandungan kalsium sebesar 87,8% dan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) sekitar 97%, magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) sebanyak 1% dan bahan organik sebanyak 2% (Indah et al., 2021).

Berdasarkan data *World Intellectual Property Organization* pada tahun 2009 di Amerika Serikat terdapat 190.000 ton cangkang telur ayam terbuang dengan diantaranya adalah 120.000 ton dihasilkan dari limbah industri produksi makanan. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Peternakan (2013), Indonesia memproduksi telur sebanyak 1.702.773-ton pada tahun 2013 dan 10% dari total telur nya merupakan cangkang atau kulit telur. Potensi yang dapat dihasilkan dari limbah cangkang telur ini belum dikembangkan sepenuhnya. Cangkang telur ayam memiliki manfaat diantaranya sebagai pupuk organik, pernak-pernik perhiasan, serta komponen *furniture* dan bahan-bahan komposit (Fitriadi, 2017).

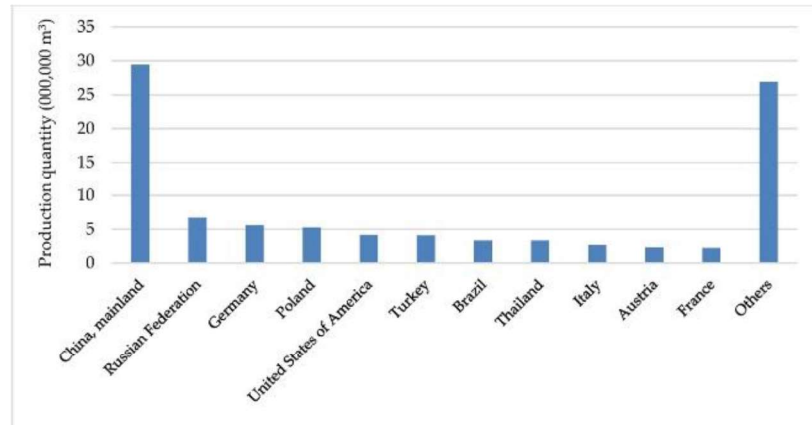


**Gambar 2.1** Cangkang Telur Ayam  
(Sumber: Seruni.id)

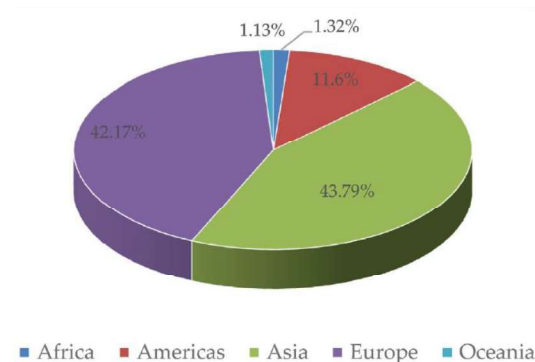
### 2.3 Papan Partikel

Papan partikel atau *particleboard* adalah produk rekayasa konstruksi material yang terbuat dari serpihan serbuk dan serat baik alami maupun buatan dengan pengikat alami juga buatan dengan tekanan dan suhu tertentu. Dapat dilakukan dengan proses pengempaan panas dengan temperatur tertentu dan tanpa pengempaan panas. Papan partikel merupakan salah satu produk berbasis kayu utama dalam pemasaran baik dalam negeri maupun luar negeri. Menurut *IMARC Group*, pemasaran global papan partikel mencapai 21 miliar dolar AS pada tahun 2020. Kuantitas produksi papan partikel mencapai 96,01 juta  $\text{m}^3$

pada seluruh dunia dan benua Asia memiliki kuantitas produksi tertinggi diantara yang lain yakni mencapai 43,79% dari seluruh total produksi (Lee et al., 2022).



**Gambar 2.2** Kuantitas Produksi Papan Partikel Dunia Tahun 2020  
(Sumber: Lee et al, 2022)



**Gambar 2.3** Kuantitas Produksi Papan Partikel Per Wilayah Tahun 2020  
(Sumber: Lee et al, 2022)

Bahan baku utama pembuatan papan partikel terdiri dari serpihan material berbahan serat, lapisan, maupun partikel yang didapatkan dari hutan secara langsung maupun dari limbah-limbah sisa produksi seperti kayu dan bahan lainnya. Papan partikel umumnya merupakan papan dengan bentuk persegi dan memiliki ukuran maupun ketebalan tertentu sesuai dengan cetakan yang diberikan berbahan serbuk maupun serat material dan diberikan pengikat (matriks) berupa lem perekat organik maupun non-organik, kemudian

dilakukan proses pengempaan panas pada tekanan serta temperatur tertentu maupun tanpa pengempaan panas untuk membentuk papan.



**Gambar 2.4** Papan Partikel  
(Sumber: Hussein et al., 2019)

## 2.4 Komposit

Material komposit merupakan material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang terpisah dan berbeda level makroskopik yang membentuk komponen tunggal sehingga menghasilkan material baru dengan sifat mekanik serta karakteristik yang berbeda dari material penyusunnya. Bahan penyusun komposit memiliki sifat penyusun yang berbeda sehingga jika digabungkan pada kondisi tertentu akan mendapatkan sifat-sifat baru. (Wibowo et al., 2021). Komposit umumnya terdiri dari bahan pengisi *filler* (pengisi) dan matriks sebagai bahan pengikat *filler* (pengisi) yang akan digunakan. *Filler* (pengisi) berfungsi untuk menahan sebagian beban atau gaya yang ada pada komposit. Matriks merupakan bagian pada komposit yang menyelimuti penguat dan berfungsi mengikat penguat satu dengan yang lainnya. Penguat merupakan salah satu komponen yang dicampurkan ke matriks dan berfungsi untuk menahan beban utama yang diterima oleh komposit. (Sujana et al, 2021). Material komposit dapat terdiri dari lebih satu tipe material dengan perancangan kombinasi dan karakteristik terbaik pada setiap komponen penyusunnya. Komposit memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah (Syaputra, 2017):

1. Memiliki densitas yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, serta tahan terhadap korosi dan keausan
2. Dapat menggabungkan dua atau lebih material sehingga mendapatkan hasil material baru dengan sifat mekanis yang lebih baik (*tailorability*)
3. Dapat dijadikan sebagai isolator panas, listrik, maupun suara yang baik
4. Memiliki koefisien pemuaian yang rendah
5. Memiliki ketahanan terhadap cuaca dengan baik
6. Harga lebih murah dari material logam
7. Mudah diproses (*Machineability* yang tinggi)

Salah satu kekurangan dari material komposit adalah tidak tahan terhadap beban kejut dan *crash* (tabrak) jika dibandingkan dengan logam.

Penggunaan material komposit sebagai papan partikel komposit telah dilakukan oleh Sunardi dkk (2016) menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai penguat dan menghasilkan sifat mekanis yang baik seiring bertambahnya fraksi volume serat. Kekerasan material pada komposisi 15% mencapai 26 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan bending pada komposisi 15% mencapai 14,48 N/mm<sup>2</sup> dan uji impak sebesar 8,247 kJ/m<sup>2</sup>. Pemanfaatan komposit juga dilakukan oleh Haryanto (2018) dengan pengujian beton polimer dengan serbuk cangkang telur dan perekat lateks karet alam, dimana karet alam bertujuan meningkatkan kekuatan beton, serbuk cangkang telur dengan CaCO<sub>3</sub> yang ada didalamnya membantu meningkatkan kekuatan tekan. Komposisi karet 2% dan serbuk cangkang telur dengan 100 mesh dan 20% adonan pasir mendapatkan permukaan beton dapat lebih baik dan membentuk sambungan komponen beton. Kekuatan Tekan 24 MPa dan kuat tarik 2,5 MPa. Kemudian telah dilakukan juga penelitian tentang papan partikel komposit menggunakan kulit salak sebagai *filler* (pengisi) dengan hasil papan partikel komposit memiliki nilai densitas dan bending yang tinggi seiring bertambahnya volume *filler* dan berbanding terbalik dengan nilai impaknya (Wibowo et al., 2021). Komposit dapat digunakan juga pada dunia otomotif yakni pada sepeda motor dengan memanfaatkannya sebagai pengganti asbes untuk kampas rem sepeda motor. Dengan menggunakan komposit polimer dari serbuk padi dan

tempurung kelapa mendapatkan nilai keausan yang rendah serta waktu pemakaian yang lebih lama (Syaputra, 2017).



**Gambar 2.5** Sampel Kampas Rem Komposit

(Sumber: Syaputra, 2017)

Kemudian P. Naphon (2020) peneliti asal Thailand melakukan pengujian Komposit nanopartikel dengan perekat karet alam dan mendapatkan nilai konduktivitas termal yang tinggi seiring bertambahnya ukuran nanopartikel dan sebaliknya (Naphon et al., 2020). Teja Dwi S. (2021) melakukan penelitian komposit serbuk batang kelapa 75 mesh dengan perekat karet alam cair 30%-50% dengan hasil nilai keteguhan patah (MOR) berbanding lurus dengan komposisi karet alam. Hasil MOR sebesar  $1850 \text{ g/mm}^2$  karena semakin besar komponen perekat akan memberikan ikatan partikel serbuk semakin kuat. Uji Elastisitas (MOE) berbanding lurus dengan komposisi karet alam sebesar  $5816,5 \text{ g/mm}^2$ . Muhammad Razzaq (2012) menguji komposit serbuk cangkang telur dengan pengikat karet alam mendapatkan hasil penurunan kekuatan tarik 22 MPa menjadi 9,5 MPa pada setiap peningkatan serbuk cangkang telur 5% - 25%, dan mengalami peningkatan modulus elastisitas, kekerasan, dan massa jenis sebesar 36 IRHD (*interntional rubber hardness degree*) menjadi 58 IRHD pada peningkatan serbuk 5%-25%.



**Gambar 2.6** Komposit Serbuk Daun Jambu Dengan Perekat Karet Alam

Sumber: (Damayanti et al, 2015)



### 2.4.1 Jenis – Jenis Material Komposit

Berdasarkan jenis penguat yang digunakan, secara umum material komposit terdiri atas 3 jenis, (Fawaid et al., 2015) yakni:

1. Komposit Serat (*Fibrous Composites*)

Komposit serat (*fiber composites*) adalah bahan komposit yang hanya terdiri dari satu laminasi atau lapisan dengan menggunakan penguat berupa fiber atau serat. Serat yang digunakan dapat berupa serat kaca, serat karbon, serat aramid (*poly aramide*), dll. Serat-serat ini dapat disusun secara acak atau dengan arah tertentu, bahkan memiliki bentuk yang lebih kompleks, seperti ditenun.

2. Komposit Laminat (*Laminated Composites*)

Komposit laminat adalah bahan komposit dengan dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu bagian dimana setiap lapisannya memiliki karakteristik masing – masing

3. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Komposit partikel merupakan jenis komposit yang menggunakan serbuk atau partikel sebagai bahan penguat dan tersebar secara menyeluruh pada matriks yang digunakan.

Berdasarkan jenis matriks yang digunakan, secara umum material komposit terdiri atas 3 jenis (Fawaid et al., 2015), yaitu:

1. Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites*)

Komposit bermatrik polimer adalah komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai penyusun utama atau komposisi dominan.

2. Komposit Matriks Logam (*Metal Matrix Composites*)

Komposit bermatrik logam adalah komposit yang menggunakan bahan logam sebagai penyusun utama atau komposisi dominan.

3. Komposit Matriks Keramik (*Ceramic Matrix Composites*)

Komposit bermatrik keramik adalah komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai penyusun utama atau komposisi dominan.

## 2.5 Perekat Papan Partikel

Pembuatan papan partikel tidak hanya sekedar mencampurkan beberapa jenis bahan saja, namun membutuhkan komponen yang penting salah satunya adalah perekat. Perekat papan partikel merupakan bahan yang dapat digunakan untuk menyatukan dua material atau lebih dengan pengikatan permukaan. Peristiwa perekatan ini ialah kejadian tarik menariknya molekul-molekul kedua permukaan yang direkatkan. Bahan perekat digunakan sebagai penguat untuk meningkatkan kekuatan papan partikel baik dari sifat mekanik maupun fisisnya (Desiasni et al., 2022). Umumnya papan partikel menggunakan dua jenis perekat atau matriks yakni non organik atau buatan dan perekat organik atau alam. Beberapa jenis perekat yang digunakan adalah:

### 1. Perekat Non Organik

Perekat non organik merupakan perekat dengan campuran bahan-bahan kimia atau bahan non organik lainnya. Perekat non organik ini umumnya banyak digunakan karena mudah didapatkan.

#### a. Polivinil Asetat (PVAc)

Polyvinyl Asetat (PVAc) atau umumnya disebut sebagai lem putih ini umum digunakan sebagai pengikat pada kayu, kertas, maupun kain. PVAc juga dapat digunakan pada percetakan buku karena sifatnya yang tidak asam seperti polimer lainnya. Perekat ini banyak digunakan karena mudah didapatkan. Kelebihan dari PVAc ini adalah mudah didapatkan, cepat kering dan kuat, waktu pakai yang cukup lama, tahan terhadap mikroorganisme, serta tidak ada bercak noda. Adapun kekurangan dari perekat PVAc ini diantaranya adalah karena berbentuk pasta dan sifat termoplastiknya yang menyulitkan masuk kedalam rongga-rongga kayu, sangat sensitif terhadap air sehingga menurunkan kekuatan rekatnya dan ketahanan *fatigue* yang rendah (Hasan et al., 2021).

#### b. Urea Formaldehida (UF)

Perekat atau resin urea formaldehida (UF) merupakan salah satu perekat yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit papan partikel dan menghasilkan kualitas papan partikel yang baik. Perekat

ini merupakan resin termoset dan banyak digunakan umumnya pada industri kayu lapis. Kelebihan dari perekat UF diantaranya adalah harganya relatif murah, waktu perekatan yang relatif cepat, serta masa pakai yang lama. Perekat UF ini juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah tidak tahan terhadap cuaca ekstrim baik panas maupun hujan, ketahanan air yang rendah, dan dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, serta tenggorokan (Athariqa et al., 2022).

c. Phenol Formaldehida (PF)

Phenol formaldehida merupakan salah satu perekat yang dapat digunakan untuk membuat papan partikel. Perekat PF ini dihasilkan melalui reaksi polimerasi antara phenol dan formaldehida. Kelebihan dari perekat PF ini diantaranya adalah memiliki sifat perekatan yang baik, daya tahan terhadap cuaca dan temperatur yang tinggi, serta tahan terhadap bahan kimia seperti minyak. Adapun kekurangan dari perekat PF ini diantaranya ialah ketersediaan yang tidak banyak dan menimbulkan emisi formaldehida untuk lingkungan (Athariqa et al., 2022).

d. Epoksi

Perekat atau resin epoksi merupakan salah satu jenis perekat berbahan cairan kental yang digunakan untuk mengeraskan suatu material. Resin ini termasuk kedalam *thermosetting plastic* di mana bahan plastik yang mengalami reaksi kimia oleh panas atau katalis. Resin epoksi ini memiliki kekuatan ikatan yang lebih baik dari *polyester* dalam kondisi basah yang mampu menahan tekanan sampai 2000 psi sedangkan resin *polyester* hanya sampai 500 psi, daya tahan terhadap panas dan listrik yang baik namun tidak dapat menahan kondisi asam. Resin epoksi ini dapat digunakan dalam industri yang cukup luas diantaranya adalah sebagai perekat komposit, cat pelapis, pengecoran dan cetakan, serta industri kimia (Mawardi et al., 2017).

## 2. Perekat Organik

Perekat organik merupakan perekat yang digunakan dari bahan-bahan alami tanpa campuran bahan kimia lainnya. Ketergantungan terhadap perekat buatan untuk membuat papan partikel akan mulai dikurangi dengan menggunakan bahan-bahan alami. Beberapa keuntungan digunakan bahan alami atau organik ini adalah kemampuan terurai dengan baik dan ketersediaan yang sangat melimpah di alam.

### a. Karet Alam

Karet alam adalah bahan yang berasal dari getah pohon karet (lateks) yang dapat digunakan sebagai perekat alami pada pembuatan bahan papan partikel komposit. Pada umumnya karet tidak akan menjadi cair kecuali diberikan perlakuan panas pada suhu 200°C maka karet akan mengental dan memuai. Karet alam ini mempunyai sifat mekanik, dinamis, serta karakteristik yang baik dimana merupakan salah satu polimer bio-sintesis alami. Pemberian tambahan sulfur akan membuat karet menjadi lebih kenyal dan elastis. Keunggulan karet alam ini diantaranya adalah sifat elastis yang tinggi, kuat dan tahan terhadap benturan, emisi polutan yang lebih rendah, tahan terhadap degradasi karena rantai utama terdapat ikatan rangkap. Sedangkan karet alam tidak tahan terhadap panas dan minyak yang tinggi. Karet alam ini mengandung resin alami yang tinggi dan akan mengalami pelelehan pada suhu tinggi kemudian menyebar diantara pori-pori partikel. Hal ini dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik papan partikel dengan bahan perekat karet alam (Susilawati et al., 2021).



**Gambar 2.7** Karet Alam Cair  
(Sumber: Pusatdapodik.com)

Karet alam memiliki sifat fisis dan kimia diantaranya adalah sebagai berikut:

- Warna yang terjadi setelah penggumpalan adalah warna putih hingga coklat
- Elastisitas karet menjadi lebih tinggi setelah proses pemanasan
- Tidak larut dalam air
- Sensitif terhadap temperatur
- Mudah teroksidasi oleh udara
- Jika dibakar maka karet alam akan berubah menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$

b. Pati

Pati merupakan jenis karbohidrat kompleks yang tidak larut jika dicampur dengan air, berbentuk bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati dapat digunakan sebagai bahan perekat makanan bersifat cair seperti kuah maupun sup dan yang lainnya. Pada bidang industri pati dapat digunakan sebagai perekat kertas dan tekstil, serta lem. Beberapa jenis pati yang digunakan sebagai perekat ialah pati jagung, pati singkong, dan pati gandum. Sifat dari pati ini diantaranya ialah mudah didapatkan, lebih ekonomis, dapat terurai alami, tidak beracun, memiliki ketahanan panas yang baik (Owodunni et al., 2020).

## 2.6 Sulfur (Belerang)

Sulfur atau belerang adalah salah satu unsur kimia pada tabel periodik unsur bernomor atom 16. Sulfur memiliki bentuk yang non-logam, tidak berasa maupun berbau. Sulfur dalam bentuk aslinya merupakan sebuah padatan zat kristalin berwarna kuning. Di alam, belerang terdapat sebagai unsur murni atau sebagai mineral sulfida dan sulfat. Ini adalah elemen penting dan ditemukan dalam dua asam amino. Tujuan komersialnya terutama meliputi pupuk, tetapi juga bubuk mesiu, korek api, insektisida, dan fungisida. Salah satu fungsi dari penggunaan sulfur pada komposit polimer adalah untuk menambah elastisitas, memberikan kekuatan dan material menjadi lebih kokoh.

### 2.6.1 Vulkanisasi Sulfur

Proses vulkanisasi sulfur merupakan tahapan proses pemanasan karet setelah diberi sulfur. Secara kimiawi, vulkanisasi merupakan proses pembentukan polimer karet untuk saling bersatu satu sama lain atau yang biasa disebut sebagai *crosslinking*. Tanpa adanya proses ini, maka karet alam tidak dapat memberikan sifat elastis sehingga tidak stabil terhadap temperatur. Karet akan menjadi lebih lengket dan basah jika terkena temperatur tinggi, dan akan rapuh jika temperatur rendah. Ketika proses vulkanisasi dilakukan, ikatan silang antara rantai polimer menyebabkan polimer yang panjang saling mengikat sehingga tidak mudah lepas. *Crosslinking* juga sering disebut sebagai proses pembentukan ikatan silang antar molekul karet untuk merubah sifat karet dari kekentalan lunak menjadi produk akhir dengan sifat yang diinginkan yaitu sifat elastis.

### 2.6.2 Bahan Penguat Vulkanisasi (*Activators Accelerators*)

Secara umum, bahan akselerator vulkanisasi membutuhkan aktivator akselerator atau disebut juga aktivator vulkanisasi, yang secara maksimal mempercepat proses vulkanisasi. Bahan ini digunakan karena akselerator organik tidak dapat berfungsi optimal tanpa bahan ini. Aktivator yang paling umum digunakan adalah seng oksida (ZnO).

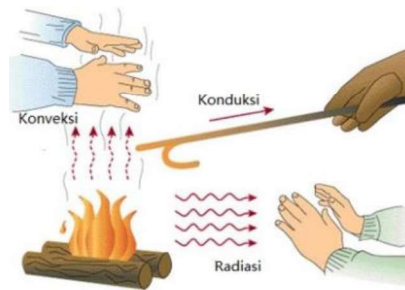
### 2.6.3 Bahan Pelunak

*Plasticizer* adalah bahan yang membantu mengurangi kekentalan karet sehingga lebih mudah bercampur dengan bahan lain. Bahan ini digunakan dalam proses penggilingan atau pencampuran untuk melunakkan karet mentah dan membuatnya lebih mudah diolah. Asam stearat umumnya digunakan sebagai bahan pelunak pada komposit polimer karet alam. Kegunaan bahan pelunak diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memudahkan proses *mixing* antara bahan pengisi kedalam matriks
2. Mempersingkat proses pengolahan dan pembentukan kompon karet

## 2.7 Perpindahan Panas

Temperatur merupakan ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda yang diukur dengan alat ukur yang disebut termometer. Secara mikroskopis, temperatur menunjukkan suatu energi yang dimiliki suatu benda. Satuan temperatur adalah kelvin (K). Skala atau satuan umum lainnya adalah Celsius (C), Fahrenheit (F), dan Reamur (R). Panas atau kalor merupakan energi yang berpindah dikarenakan adanya perbedaan suhu atau temperatur dengan satuan SI ialah Joule (J). Panas dapat bergerak dari temperatur yang tinggi menuju temperatur yang rendah. Perpindahan panas adalah proses berpindahnya energi dari suatu benda ke benda lainnya dikarenakan adanya perbedaan temperatur. Secara umum terdapat tiga proses terjadinya perpindahan panas diantaranya adalah konduksi, konveksi, dan radiasi (Supu et al., 2016).



**Gambar 2.8** Perpindahan Panas

(Sumber: Fisika.co.id)

### 2.7.1 Konduksi

Konduksi adalah salah satu proses perpindahan panas (*heat transfer*) dimana panas dapat mengalir dari temperatur atau suhu sebuah benda yang lebih tinggi menuju yang lebih rendah pada suatu medium baik itu padatan, cairan, dan gas yang berhubungan secara langsung. Pada proses konduksi ini terjadi suatu mekanisme dimana panas mengalir pada zat padat yang tidak dapat tembus oleh cahaya. Konduksi merupakan perpindahan panas tanpa disertai dengan adanya perpindahan zat-zat penghantarnya, seperti logam yang dipanaskan (Supu et al., 2016). Terdapat laju perpindahan panas yang secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$q = -k \cdot A \frac{\Delta T}{x} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- q = Laju perpindahan panas konduksi (W)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m°C) atau (W/mK)
- A = Luas penampang bahan (m<sup>2</sup>)
- ΔT = Perbedaan suhu (K)
- x = Jarak aliran panas (m)

### 2.7.1.1 Konduktivitas Termal

Konduktivitas panas (termal) merupakan ukuran kemampuan sebuah benda untuk dapat menghantarkan panas dengan baik. Konduktivitas termal dapat juga disebut sebuah keadaan benda yang memiliki perbedaan temperatur atau suhu yang menyebabkan terjadinya transfer energi dari benda bersuhu tinggi ke yang lebih rendah. Konduktivitas termal erat kaitannya dengan proses perpindahan panas khususnya secara konduksi (hantaran) pada benda padat. Ilmu yang membahas perpindahan panas tidak hanya memberikan penjelasan bagaimana panas atau kalor dapat berpindah, melainkan terkait laju perpindahan panas dan uji konduktivitas termalnya (Bustumi et al., 2021). Konduktivitas termal suatu benda secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \cdot A \frac{\Delta T}{l} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  = Laju aliran konduktivitas termal (W)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m°C) atau (W/mK)
- A = Luas penampang bahan (m<sup>2</sup>)
- ΔT = Perbedaan temperatur (K)
- l = Ketebalan material (m)



Benda yang memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi maka menjadi penghantar panas yang baik (konduktor), sedangkan benda dengan nilai konduktivitas termal yang rendah akan menjadi isolator. Benda dengan konduktivitas termal yang tinggi dapat dimanfaatkan pada kegiatan sehari-hari untuk memaksimalkan energi panas yang dihasilkan seperti kegiatan menyeterika pakaian, penggunaan tembaga pada kabel listrik dan sebagainya. Sedangkan pemanfaatan konduktivitas termal yang rendah sebagai isolator yang baik diantaranya adalah penggunaan penahan panas seperti gagang plastik pada panci, pelindung kabel plastik, serta papan partikel yang pemanfaatannya memberikan dampak yang cukup bermanfaat untuk menggantikan produksi kayu yang semakin menipis persediaannya (Mirmanto et al., 2022). Adapun nilai konduktivitas termal dari beberapa jenis bahan adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Nilai Konduktivitas Termal Material

<b>Bahan</b>	<b>Konduktivitas Termal (W/m.K)</b>	<b>Bahan</b>	<b>Konduktivitas Termal (W/m.K)</b>
<b>Logam</b>		<b>Non Logam</b>	
Aluminium	<b>205,0</b>	Kaca	<b>0,78</b>
Tembaga	<b>385,0</b>	Keramik	<b>3,00</b>
Kuningan	<b>109,0</b>	Pasir	<b>1,83</b>
Timbal	<b>34,70</b>	Karet Alam	<b>0,15</b>
Perak	<b>406,0</b>	Bata Merah	<b>0,690</b>
Baja	<b>50,20</b>	Batu Bara	<b>0,260</b>
Besi	<b>73,00</b>	Kertas	<b>0,120</b>
<b>Gas</b>		<b>Cair</b>	
Udara	<b>0,024</b>	Air	<b>0,604</b>
Argon	<b>0,016</b>	Raksa	<b>0,145</b>
Helium	<b>0,140</b>	Oli Mesin	<b>0,286</b>
Hidrogen	<b>0,140</b>	Gliserol	<b>8,690</b>
Oksigen	<b>0,023</b>		

(Sumber: Zemansky, 2002)

Beberapa material dengan konduktivitas termal yang rendah banyak digunakan sebagai penahan panas (isolator) yang baik salah satunya adalah pemanfaatan papan partikel dari beberapa material yang berbeda. Salah satu tujuan dari pemanfaatan papan partikel sebagai isolator yang baik ini ialah untuk mengurangi penggunaan jumlah kayu yang semakin menipis. Seperti percobaan yang telah dilakukan oleh Hadi (2018) dengan cangkang dan tandan kelapa sawit menggunakan perekat resin epoksi berhasil mendapatkan hasil konduktivitas termal dan densitas yang rendah untuk papan partikel komposit yaitu nilai densitas sebesar  $1,1 \text{ g/cm}^3$  dan konduktivitas termal sebesar  $0,17 \text{ W/m.K}$  (Hadi et al, 2018). Papan partikel dari tongkol jagung dengan matriks resin *polyester* juga telah dilakukan oleh Pratama (2016) dengan hasil nilai konduktivitas termal sebesar  $0,1 \text{ W/m.K}$  pada 8 mesh. Menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel atau semakin tinggi mesh pada suatu *filler* maka konduktivitas termal nya pun akan semakin rendah dan semakin baik digunakan sebagai isolator termal.

### 2.7.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan proses berpindahnya panas atau kalor suatu benda yang diakibatkan oleh terjadinya perpindahan partikel dari tempat dengan suhu tinggi menuju suhu yang lebih rendah yang zat perantaranya ikut berpindah. Umumnya perpindahan panas secara konveksi ini terjadi pada gerakan fluida yang mengalir seperti secangkir kopi dan makanan panas yang menjadi dingin, serta panasnya uap udara pada air yang dipanaskan. Perpindahan panas konveksi ini terbagi dua yakni konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas (*free convection*) ialah terjadinya gerakan fluida akibat perubahan dan perbedaan suhu tanpa pengaruh dan gaya luar. Contoh konveksi bebas ialah fluida yang mengalir pada radiator secara bebas. Sedangkan konveksi paksa (*forced convection*) merupakan pergerakan fluida dengan adanya gaya atau pengaruh dari luar, misal adanya udara dari kipas angin (Supu et al., 2016). Pada konveksi terjadi juga laju perpindahan panas akibat

perbedaan temperatur, dimana secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q = h \cdot A (T_w - T_f) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- q = Laju perpindahan panas konveksi (W)
- h = Koefisien panas konveksi (W/m<sup>2</sup>°C) atau (W/m<sup>2</sup>K)
- A = Luas penampang bahan (m<sup>2</sup>)
- T<sub>w</sub> = Temperatur permukaan (K)
- T<sub>f</sub> = Temperatur fluida (K)

### 2.7.3 Radiasi

Sedikit memiliki perbedaan diantara kedua perpindahan panas sebelumnya seperti konduksi dan konveksi, perpindahan panas secara radiasi merupakan fenomena berpindahnya panas yang mengalir dari suhu tinggi menuju suhu rendah pada ruang yang sama maupun ruang hampa udara. Energi atau panas dari radiasi ini dipancarkan oleh benda dikarenakan memiliki perbedaan temperatur yang tinggi dihantarkan oleh ruang dengan bantuan gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas secara radiasi pada suatu bahan maka sebagian dari radiasi yang didapatkan akan dipantulkan, diserap, dan akan diteruskan ke bagian yang lainnya (Supu et al., 2016). Pancaran radiasi secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$q_r = e \cdot A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- q<sub>r</sub> = Laju perpindahan panas radiasi (W)
- e = Emitansi permukaan
- A = Luas penampang bahan (m<sup>2</sup>)
- σ = Konstanta (0,174 x 10<sup>-8</sup> BTU/h ft<sup>2</sup> °C)
- T<sub>1</sub> = Temperatur benda kelabu (°C)
- T<sub>2</sub> = Temperatur benda hitam sekeliling (°C)

## 2.8 Quick Thermal Conductivity Meter 500 (QTM-500)

Mesin QTM-500 merupakan suatu alat yang digunakan untuk melakukan pengujian nilai konduktivitas termal material. Mesin ini dilengkapi dengan probe yang akan membaca temperatur dari material yang diuji. Mesin QTM-500 ini bekerja berdasarkan prinsip hantaran panas berdasarkan teori perpindahan kawat panas sederhana. Mesin QTM-500 ini dapat melakukan pengujian dengan dimensi sampel minimal 100 mm x 50 mm x 20 mm yang akan diletakkan pada sebuah probe yang memiliki arus dan temperatur yang disesuaikan. Pengujian ini berdasarkan standar ASTM C1113-99 tentang pengujian konduktivitas termal dengan kawat panas berarus.



Gambar 2.9 Mesin QTM-500

Mesin ini menggunakan waktu pemanasan dan kenaikan temperatur relatif pada kabel yang dipanaskan. Adapun spesifikasi dari mesin ini adalah sebagai berikut (Yoon et al., 2021):

Tabel 2.3 Spesifikasi Mesin QTM-500

Keterangan	Spesifikasi
Metode Pengukuran	Metode <i>Hot Wire</i> (Kawat Panas)
Akurasi	Mencapai 5%
Reproduksibilitas	3 %
Temperatur	-10°C – 200°C
Ketepatan Arus Pemanas	0,05 %
Waktu Pengukuran	60 detik

(Sumber: Yoon et al., 2021)

## 2.9 Baterai

Baterai merupakan komponen sel listrik dimana didalamnya terjadi proses kimia listrik atau elektrokimia yang berkebalikan (*reversible*) dengan efisiensi yang tinggi. Proses elektrokimia *reversible* ini diartikan sebagai sebuah proses keberlangsungan perubahan komposisi kimia menjadi tenaga listrik (proses kosong) dan proses dari tenaga listrik menjadi kimia (proses pengisian) dengan bantuan elektroda-elektroda yang ada. Atau baterai merupakan sebuah komponen sumber energi yang merubah energi kimia yang ada menjadi energi listrik. Penggunaan baterai dapat memberikan kemudahan kepada pemakai perangkat elektronik karena dapat beraktivitas tanpa memerlukan listrik secara langsung dan dapat mudah dibawa (*portable*). Pada baterai terdapat terminal positif (katoda) dan negatif (anoda) serta penghantar elektrolit. Keluaran arus listrik dari suatu baterai adalah arus searah atau DC (*direct current*). Terdapat dua jenis baterai yakni baterai sekali pakai (*single use battery*) dan baterai isi ulang (*rechargeable battery*) (Afif et al., 2015).

### 2.9.1 Primary Battery

Baterai primer merupakan suatu baterai yang hanya dapat digunakan satu kali dan tidak dapat digunakan kembali karena elektrodanya tidak berkebalikan (*non-reversible*) ketika dilepaskan.



**Gambar 2.10** Baterai Primer  
(Sumber: ilmuelektro.co.id)

### 2.9.2 Secondary Battery

Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang atau digunakan kembali ketika energi listrik baterai sudah habis karena proses kimia yang terjadi pada baterai *reversible* dan dapat kembali pada kondisi awal dengan melakukan pengisian sel baterai. Baterai sekunder memiliki beberapa jenis diantaranya adalah:

1. Baterai *Lithium Ion* (Li-Ion)

Baterai Li-Ion ini menggunakan ion lithium dengan pergerakan elektroda negatif menuju positif saat dilepaskan dan akan kembali jika sudah diisi ulang. Umumnya baterai jenis ini ialah baterai yang dapat dibongkar pasang (*removeable*). Baterai Li-Ion ini banyak digunakan pada perangkat elektronik seperti *smartphone*, laptop, maupun kamera.



**Gambar 2.11** Baterai Li-Ion

(Sumber: my-best.id)

2. Baterai *Lithium Polymer* (Li-Po)

Baterai Li-Po merupakan kelanjutan dari baterai Li-Ion sebelumnya yang memiliki perbedaan pada elektrolitnya. Baterai Li-Po ini menggunakan elektrolit polimer kering dengan bentuk seperti lapisan film plastik tipis. Umumnya baterai ini bersifat *non-removeable* namun memiliki daya tahan baterai yang lebih baik dari baterai Li-Ion.



**Gambar 2.12** Baterai Li-Po

(Sumber: pricebook.co.id)

## 2.10 Battery Holder

Salah satu komponen baterai yang penting adalah *battery holder* atau tempat dudukan baterai. *Battery holder* merupakan suatu kompartemen atau tempat untuk menyimpan baterai. *Battery holder* umumnya terbuat dari polimer plastik karena dapat menahan panas (isolator) ketika baterai sedang bekerja dan menghasilkan panas. Komponen ini memiliki penutup dan penahan untuk melindungi baterai serta mencegah kerusakan pada sirkuit, kebocoran dan kerusakan komponen baterai.



**Gambar 2.13** *Battery Holder*

(Sumber: Afif et al., 2015)

## 2.11 Metode Taguchi

Metode percobaan eksperimen salah satunya adalah Metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan salah satu kelompok *fractional factorial experiment*. Metode taguchi menyusun *orthogonal array* (OA) pada penataan letak eksperimen yang dilakukan. Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan Metode Taguchi *Orthogonal Array* ini adalah mendapatkan hasil evaluasi beberapa faktor dengan jumlah test eksperimental yang minimum. Pada metode taguchi hasil eksperimen harus dianalisis lebih lanjut agar dapat memenuhi salah satu kondisi di bawah ini:

1. Menentukan kondisi yang optimal atau terbaik pada sebuah produk atau tahapan proses
2. Melakukan perkiraan terhadap kontribusi dari masing-masing faktor
3. Melakukan perkiraan terhadap respon atau akibat kemungkinan yang terjadi dari kondisi optimal (Koilaraj et al., 2012).

Taguchi Analysis: HASIL 1; ... x

DOE FIX SIDANG

**Taguchi Analysis: HASIL 1; HASIL 2 versus KOMPOSISI FILLER; P. HOT PRESS; T.HOT PRESS; WAKTU HOT PRESS**

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	KOMPOSISI			WAKTU HOT	
	FILLER	P. HOT PRESS	T.HOT PRESS	WAKTU HOT	PRESS
1	6,170	5,805	4,887	5,105	
2	5,532	7,043	6,336	6,864	
3	6,883	5,736	7,361	6,615	
Delta	1,351	1,307	2,474	1,759	
Rank	3	4	1	2	

*	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	KOMPOSISI FILLER	P. HOT PRESS	T.HOT PRESS	WAKTU HOT PRESS	HASIL 1	HASIL 2						
1	55%	40	150	50	0,5981	0,5766						
2	55%	50	160	60	0,4390	0,5028						
3	55%	30	170	70	0,4040	0,4511						
4	60%	40	160	70	0,4133	0,4833						
5	60%	50	170	50	0,5125	0,5902						
6	60%	30	150	60	0,6330	0,5552						
7	65%	40	170	60	0,2618	0,3904						
8	65%	50	150	70	0,5380	0,5191						
9	65%	30	160	50	0,5739	0,4780						

**Gambar 2.14** Contoh Metode Taguchi