

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

State of the art merujuk pada tingkat perkembangan terbaru dalam suatu bidang pengetahuan atau topik penelitian tertentu, yang mencakup suatu pemahaman terbaru, metode penelitian terbaru, teknologi terkini, dan hasil penelitian terbaru yang relevan dengan topik yang didasari oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti sebagai literatur dan sumber referensi. Dalam penulisan laporan skripsi kali ini ada beberapa referensi terkait penelitian atau pengujian yang ini dilakukan diantaranya, literatur yang berjudul “Pengaruh Variasi Tekanan dan Fraksi Volume pada Hybrid Composite Serat Sabut Kelapa dan Serat Bambu Bermatriks Resin *Polyester*” (Putra, 2023). Penelitian ini memiliki obyek penelitian untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dan tekanan pencetakan material komposit terhadap kekuatan tarik. Fraksi volume yang digunakan adalah serat kelapa 25%, 20%, 15%, 10%, 5% dan serat bambu nya 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dengan varian tekanannya 40 bar, 50 bar, 60 bar, dan 70 bar terhadap kekuatan tarik dan *bending*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi pada komposisi sabut kelapa 5% dan bambu 25% dengan tekanan nya 70 bar didapatkan nilai 23,573 Mpa sedangkan kekuatan *bending* tertinggi pada komposisi dengan sabut kelapa 5% dan bambu 25% dengan tekanan 60 bar didapatkan nilai 38,665 Mpa.

Selain itu penelitian ini merujuk pada literatur yang berjudul “Variasi Campuran *Fly Ash* Batubara untuk Material Komposit” (Sunardi, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi material komposit sebagai bahan alternative kampas rem dengan harga terjangkau, ramah lingkungan dan karakteristik yang baik. Bahan yang digunakan adalah serbuk bambu betung (*dendrocalamus asper*), serbuk *fly ash* batubara, dan resin epoksi. Variasi komposisi antara serbuk bambu dan *fly ash*, masing-masing K1(50:10%),K2(45:15%), dan K3(40:20%). Hasil penelitian ini mendapatkan nilai pengujian densitas tertinggi pada komposisi K3 dengan nilai 1,33

gr/cm³ dan nilai porositas tertinggi didapatkan pada K1 dengan persentase rata-rata 0,56%. Selanjutnya acuan literature yang digunakan pada penelitian ini berjudul “Pengaruh Sifat Material dan Termal Komposit PLA (*Poly Lactid Acid*) / *Coconut Fiber* (Sabut Kelapa) dengan Modifikasi Perendaman NaOH” (Ridwan, 2022). Obyek penelitian ini adalah variasi komposisi fraksi volume polimer terhadap pengujian termal pada TGA, pada prinsipnya, metode ini mengukur pengurangan massa bahan ketika dipanaskan dari suhu kamar ke suhu tinggi yang biasanya sekitar 900°C. TGA dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga berat sampel secara otomatis dapat direkam setiap saat dan disajikan dalam tampilan grafis. Dapat disimpulkan hasil analisis pengujian TGA pada sampel XcN₈ karena semakin banyak penambahan *filler* yang sudah dimodifikasai dengan NaOH 40% memberikan kemampuan wetabiliti yang baik sehingga mempengaruhi stabilitas termalnya

Setelah mengetahui dan menganalisis beberapa literature dan referensi yang mendasari pada penelitian kali ini, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi *filler* cangkang kelapa sawit terhadap sifat fisik dan termal berupa densitas, serapan air, porositas dan stabilitas termal. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan inovasi baru terhadap produk kampas rem organik *non asbestos* yang terbuat dari cangkang kelapa sawit dan serbuk bambu

2.2 Kampas Rem

Kampas rem merupakan salah satu komponen sepeda motor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju sepeda motor secara nyaman. Kampas rem memiliki peranan yang sangat penting sebagai pencengkeram piringan cakram agar laju kendaraan dapat dikurangi atau berhenti. Gesekan yang terjadi antara kampas dengan piringan cakram saat proses pengereman mengharuskan kampas rem memiliki kualitas yang baik agar daya pengeremannya optimal dan umur pemakaiannya tahan lama (Upura, 2019). Dalam penggunaannya, kampas rem harus mempunyai sifat fisik dan faktor keamanan yang baik agar sifat-sifatnya tetap terjaga. Kampas rem merupakan bahan gesekan yang menghentikan putaran pada gesekan roda yang secara

langsung berhubungan dengan beban dan kecepatan putaran. Sebagai media yang bergesekan secara kontinyu, kampas rem harus mempunyai beberapa sifat dan karakteristik, yaitu tingkat keausan dan kekerasan yang sangat baik (Perdana, 2019).

Kampas rem terdiri dari tiga komponen yaitu pengikat, bahan serat dan pengisi. Resin yang memiliki sifat utama sebagai pengikat digunakan untuk menyambung berbagai komponen atau bahan pada komposisi pembuatan kampas rem (Suhardiman, 2022). Pada penelitian ini penggunaan komposisi *filler* berupa cangkang kelapa sawit dan penguat berupa serat bambu dalam pembuatan kampas rem dapat menghasilkan produk yang memiliki karakteristik yang menguntungkan baik dari segi biaya, karakteristik dan keunggulannya



Gambar 2.1 Kampas Rem

(Upara, 2019)

Material kampas rem pasaran memiliki kekerasan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan material komposit serat alami, akan tetapi laju keausan kampas rem pasaran lebih tinggi dibandingkan dengan material komposit serat alam, laju keausan yang rendah pada komposit serat alam karena dipengaruhi oleh ikatan yang baik antara serat alam dengan resin epoksi. Pada saat material komposit serat alam dilakukan pengujian gesek, serat alam dan epoksi berikatan dengan baik sehingga sangat sedikit massa/volume komposit yang terbuang. Namun kampas rem pasaran memberikan efek yang buruk bagi kesehatan. Penelitian medis menyebutkan serat asbes dapat menempel di paru-paru sehingga menyebabkan kanker dan permasalahan dalam pernapasan (Ikram, 2023).

2.2.1 Klasifikasi Kampas Rem

Komposisi pembentuk kampas rem umumnya terbagi menjadi dua, yaitu kampas rem berbahan asbes, dan berbahan non-asbes. Kampas rem sangat penting dalam sistem pengereman otomotif karena berfungsi untuk memperlambat dan menghentikan laju kendaraan. Adapun klasifikasi kampas rem, sebagai berikut : (Sukamto, 2022)

1. Kampas rem *asbestos*

Kampas rem *asbestos* merupakan kampas rem yang terbuat dari *asbestos* yang direkatkan dengan resin, yang bersifat karsinogenik karena mengandung *asbestos* yang lebih lemah dalam kondisi basah. Karena bahan tersebut hanya terdiri dari satu jenis serat. Komposisi bahan baku kampas rem *asbestos* terdiri dari 50% *asbestos*, 12%-15% resin, dan 14%-15% BaSO₄. Akan tetapi kampas rem *asbestos* ini dilarang digunakan karena menghasilkan debu yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan pada sistem pernafasan manusia

2. Kampas rem *non asbestos*

Kampas rem *non asbestos* terbuat dari bahan organik tanpa menggunakan serat *asbestos* dan memiliki keunggulan lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia untuk membantu mengurangi risiko paparan *asbestos* pada lingkungan kerja dan mencegah pencemaran lingkungan. Kampas rem *non asbestos* menggunakan bahan organik untuk menggantikan komposisi *asbestos*. Utamanya menggunakan serat alami dan penggabungan dengan menggunakan matriks kampas rem untuk mengisi ruang kosong yang memiliki sifat tahan aus, panas, dan gesekan yang baik.



Gambar 2.2 Kampas Rem *Asbestos* dan *Non Asbestos*

(Sukamto, 2022)

2.2.2 Karakteristik Kampas Rem Organik

Kampas rem organik adalah komponen dalam sistem pengereman kendaraan yang berfungsi untuk menghasilkan gaya gesekan yang diperlukan untuk menghentikan atau memperlambat kecepatan kendaraan karena memiliki beberapa karakteristik, diantaranya sebagai berikut :

1. Kampas rem organik dirancang untuk memberikan efisiensi pengereman yang baik dalam berbagai kondisi penggunaan, termasuk dalam kecepatan rendah maupun tinggi
2. Pengereman yang lebih halus dan terkontrol, serta menghasilkan sedikit kebisingan dan getaran saat digunakan, yang meningkatkan kenyamanan dalam berkendara
3. Kampas rem organik adalah tidak mengandung asbestos atau logam berat lainnya yang berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan manusia
4. Kampas rem organik dirancang untuk menghasilkan sedikit debu rem yang dapat mengurangi polusi udara di sekitar sistem pengereman dan menjaga lingkungan kerja yang lebih bersih

2.2.3 Standar Kampas Rem

Pada pembuatan kampas rem diperlukan standar yang diperlukan untuk memastikan kampas rem tersebut memenuhi persyaratan keamanan yang ditetapkan seperti kinerja pengereman yang stabil dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi (Upara, 2019). Standar yang digunakan pada penelitian ini adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 09-9134-1987 yang merupakan standar yang mengatur tentang kampas rem kendaraan bermotor. Standar ini menetapkan persyaratan teknis dan metode pengujian untuk memastikan bahwa kampas rem yang digunakan pada kendaraan bermotor memenuhi kualitas dan kinerja yang diharapkan. Standar ini menetapkan persyaratan untuk dimensi sampel yang diuji, termasuk ketebalan, lebar, dan panjang. Dimensi ini dapat bervariasi tergantung pada jenis material dan metode pengujian yang

digunakan (Sumiyanto, 2019). Akan tetapi untuk standar ini web resminya tidak dapat diakses, namun untuk standar SNI 09-9134-1987 menggunakan acuan dari literature

Tabel 2.1 Standar SNI 09-9134-1987 (Sumiyanto, 2019)

Sifat Pengujian Material	Nilai Standar
Densitas	1,3 – 1,81 g/cm
Daya Serap Air	1,2 – 3,2 %
Kekerasan	68 – 102 (Rockwell R)
Ketahanan Panas	100°C – 350°C
Konduktivitas Termal	0,5 – 0,8 W.m°C
Keausan	5×10^{-4} – 5×10^{-3} mm ² /kg

Selain itu adapun klasifikasi tipe bahan yang mengacu pada standar SNI 09-9134-1987 tentang penggunaan kampas rem, antara lain sebagai berikut : (Sumiyanto, 2019)

1. Bahan kampas rem
 1. Bahan tipe 1 : jenis kampas rem berbahan lunak
 2. Bahan tipe 2 : jenis kampas rem berbahan setengah keras
 3. Bahan tipe 3 : jenis kampas rem berbahan keras, seperti logam
2. Klasifikasi penggunaan :
 1. Kelas 1A : klasifikasi yang digunakan untuk kendaraan beban ekstra ringan, biasanya digunakan untuk center brake kendaraan bermotor dua dan tiga
 2. Kelas 1B : khusus digunakan untuk beban ekstra ringan, biasanya digunakan untuk rem parkir roda dua dan rem cakram (bantalan) kendaraan roda dua dan tiga
 3. Kelas 2 : khusus digunakan untuk muatan ringan, seperti mobil penumpang
 4. Kelas 3 : khusus digunakan untuk truk beban menengah
 5. Kelas 4A : khusus digunakan untuk muatan berat, seperti truk truk besar
 6. Kelas 4B : khusus beban berat untuk rem cakram

Klasifikasi menurut Ciri - Ciri	Klasifikasi menurut Penggunaan	Suhu Permukaan gesek dari cakram					
		100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
Tipe 1,2 dan 3	Kelas 1 A	0.30-0.60	0.25-0.60	--	--	--	--
	Kelas 1 B	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	--	--	--
	Kelas 2	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	--	--	--
	Kelas 3	0.30-0.60	0.30-0.60	0.20-0.60	0.15-0.60	--	--
	Kelas 4 A	0.30-0.60	0.30-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60	0.15-0.60	--
	Kelas 4 B	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.25-0.60	0.20-0.60

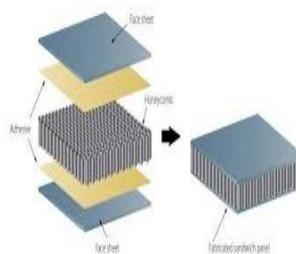
Gambar 2.3 Standar SNI 09-9134-1987

(Sumiyanto, 2019)

2.3 Komposit

Komposit merupakan gabungan dua bahan atau lebih yang mempunyai beberapa sifat yang tidak dimiliki masing-masing komponennya seperti bahan yang berlapis, bahan yang diperkuat, dan kombinasi bahan lainnya. Dengan memanfaatkan secara khusus berbagai sifat material yang ada. Beberapa material komposit yang diperkuat termasuk fiberglass, asbes, dan serat alami (Gibson, 2019). Secara umum bentuk dasar suatu material komposit merupakan suatu singularitas yang terdiri dari dua unsur yang bekerja sama sehingga menghasilkan sifat material yang berbeda dengan unsur-unsur penyusun material tersebut (Wanberg, 2010).

Material penyusun komposit terdiri dari dua jenis material yang berbeda, yaitu: penguat dan matriks. Penguat diartikan sebagai komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima beban yang dialami oleh matriks. Sedangkan matriks adalah bagian dari komposit yang mengelilingi partikel penyusun komposit yang berfungsi sebagai bahan pengikat partikel dan ikut membentuk struktur fisik komposit (Tiwari, 2014)



Gambar 2.4 Komposit

(Tiwari, 2014)

2.3.1 Bagian Utama Komposit

Komposit merupakan sistem material yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang berbeda dimana komposisinya tidak dapat dipisahkan satu sama lain (Gibson, 2019). Secara umum komposit terbagi menjadi dua bagian utama, diantaranya sebagai berikut :

1. *Reinforcement*

Salah satu bagian utama komposit yaitu *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat merupakan jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekuatan, kekakuan dan sifat mekanis lainnya. Perbandingan antara serat dan matriks juga sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan. Serat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu: (Harper, 2022)

- A. Serat alami, contohnya seperti serat daun nanas, serat cangkang kelapa, enceng gondok dan pandan
- B. Serat sintetis atau serat buatan manusia, contohnya seperti *fiber glass, carbon, nylon, graphite* dan aluminium

Berbagai jenis serat banyak tersedia untuk kebutuhan komposit dan jumlahnya hampir meningkat. Kekakuan spesifik yang tinggi (kekakuan dibagi oleh berat jenisnya) dan kekuatan spesifik yang tinggi (kekuatan dibagi oleh berat jenisnya) serat-serat tersebut yang disebut *advanced composit* (Tiwari, 2014).

2. Matriks

Matriks dalam material komposit adalah komponen kontinu yang mengelilingi dan mengikat bahan penguat, membentuk material yang homogen secara makroskopik. Fungsi utama matriks adalah mendistribusikan beban ke penguat, melindungi penguat dari kerusakan lingkungan, dan menentukan sifat fisik dan mekanik dari komposit tersebut. Selain itu matriks mempunyai fungsi lain sebagai berikut: (Harper, 2022)

- A. Mentransfer tegangan ke serat secara merata
- B. Melindungi serat dari gesekan mekanik
- C. Memegang dan mempertahankan serat pada posisinya
- D. Melindungi dari lingkungan yang merugikan
- E. Tetap stabil setelah proses manufaktur

Matrik dalam struktur komposit dapat dibedakan menjadi komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composites*). Material ini merupakan material komposit yang sering digunakan, biasa disebut polimer berpenguat serat (*Fibre Reinforced Polymer or Plastic*). Bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (*Kevlar*) sebagai penguatnya (Harper, 2022)

2.3.2 Hubungan Interaksi Penguat dan Matriks

Hubungan antara penguat dan matriks adalah kunci untuk kinerja material komposit menjadi lebih baik. Beberapa aspek penting dari hubungan antara penguat dan matriks ini, seperti : (Tiwari, 2014)

1. Adhesi yaitu kekuatan ikatan antara penguat dan matriks sangat mempengaruhi transfer beban dan sifat mekanik komposit, selain itu adhesi dapat memastikan bahwa distribusi beban yang merata dan mengurangi risiko delaminasi.
2. Distribusi penguat dalam matriks diperlukan untuk memastikan kinerja yang konsisten dan optimal. Konsentrasi penguat yang tidak merata dapat menyebabkan titik lemah dalam komposit.
3. Proporsi volume adalah rasio antara volume penguat dan matriks juga mempengaruhi sifat mekanik. Proporsi yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan keuletan

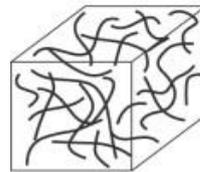
Pemilihan jenis penguat dan matriks, serta interaksi mekanik di antara keduanya, menentukan kinerja akhir dari material komposit yang memenuhi kebutuhan spesifik dalam berbagai aplikasi industri, seperti otomotif, *aerospace* hingga produk yang bermanfaat bagi banyak orang (Tiwari, 2014).

2.3.3 Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Penguatnya

Dimensi struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, jika terjadi interaksi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (Gibson, 2019). Secara garis besar komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu komposit serat (*Fibre Composite*), komposit partikel (*Particulate Composite*), dan komposit lapis (*Laminates Composite*), yang dijelaskan sebagai berikut : (Wanberg, 2010)

1. *Fibre Composite*

Fibre composite merupakan komposit yang penyusunnya adalah serat. Serat dalam komposit jenis ini berfungsi sebagai penopang kekuatan komposit, sehingga tinggi dan rendahnya kekuatan komposit tergantung dari serat yang digunakan. Tegangan yang didapatkan oleh komposit awalnya diterima matrik dan kemudian diteruskan oleh serat. Fiber yang digunakan harus memiliki syarat, yaitu mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulk matrik dan harus memiliki *tensile strength* yang tinggi.

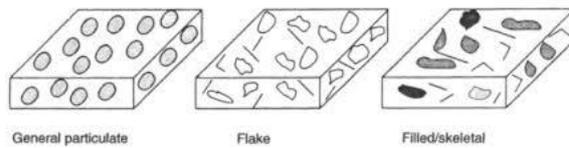


Gambar 2.5 *Fibre composite*

(Wanberg, 2010)

2. *Particulate Composite*

Particulate composite merupakan komposit yang diisi oleh *reinforcement* berbentuk partikel atau serbuk. Komposit jenis ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material, kekuatannya lebih seragam pada berbagai arah, dan cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

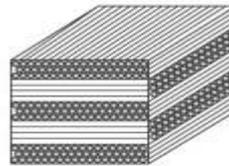


Gambar 2.6 *Particulate composite*

(Wanberg, 2010)

3. *Laminates Composite*

Laminates composite merupakan komposit struktural yang dibentuk oleh *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan strukturnya, komposit jenis ini dapat dibagi menjadi dua yaitu *laminata structural*, dan *sandwich structural*.



Gambar 2.7 *Laminates composite*

(Wanberg, 2010)

2.3.4 Klasifikasi Komposit Menurut Jenis Matriks

Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis matriks yang digunakan dalam struktur materialnya. Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengelilingi dan menyatukan bahan penguat (seperti serat atau partikel) untuk membentuk material komposit yang utuh. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibagi menjadi tiga kategori utama: (Gibson, 2019)

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

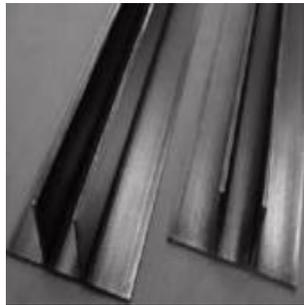
Komposit matriks polimer menggunakan polimer sebagai bahan pengikat. Polimer ini bisa berupa resin termoplastik atau termoset. Beberapa karakteristik umum dari komposit matriks polimer adalah ringan, mudah diproses, dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Contohnya, epoksi, poliester, dan vinilester dengan penguatnya serat kaca dan serat karbon. Pengaplikasian bodi mobil dan panel pintu



Gambar 2.8 *Polymer Matrix Composites*
(Tiwari, 2014)

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

Komposit matriks logam menggunakan logam sebagai bahan pengikat. Jenis komposit ini dikenal karena kekuatan dan ketahanan suhu tingginya. MMC biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan sifat mekanik tinggi dan ketahanan terhadap suhu ekstrem. Contohnya, aluminium, magnesium, dan nikel dengan jenis penguatnya serat keramik, partikel karbida dan serat logam



Gambar 2.9 *Metal Matrix Composites*
(Tiwari, 2014)

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

Komposit matriks keramik menggunakan bahan keramik sebagai bahan pengikat. Jenis komposit ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, kekerasan, dan ketahanan aus yang sangat baik, tetapi cenderung rapuh. Contohnya, silikon karbida, aluminium oksida dan zirkonia dengan jenis penguatnya serat keramik dan serat karbon. Pengaplikasiannya pada komponen mesin, sistem suspensi dan badan pesawat terbang



Gambar 2.10 *Ceramic Matrix Composites*
(Harper, 2022)

4. Komposit Matriks Karbon (*Carbon Matrix Composites*)

Komposit ini menggunakan karbon sebagai matriks. Biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan suhu sangat tinggi dan kinerja mekanik tinggi. Contohnya, karbon amorf atau grafit dengan jenis penguatnya serat karbon. Pengaplikasian seperti nozel roket, sirip rudal dan komponen mesin jet



Gambar 2.11 *Carbon Matrix Composites*
(Harper, 2022)

2.4 Serat Alami

Serat alam digunakan secara luas di berbagai sektor industri seperti tekstil, produksi kertas, bidang otomotif, dan pembuatan produk berbahan komposit. Dalam konteks penggunaannya sebagai penguat dalam komposit, serat alam menawarkan sejumlah keuntungan. Keuntungan tersebut meliputi densitas yang rendah, biaya yang murah, kekuatan spesifik dan modulus yang tinggi, ketersediaan yang melimpah, emisi polusi yang lebih rendah, dan mudah didaur ulang (Thomas, 2020). Serat alam adalah kelompok serat yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mineral. Contoh sumber serat alam mencakup serat nanas (*ananas comosus*), kapas, rami kasar (*flax*), rami halus (*hemp*), serat buah lontar, dan mesokarp kelapa (Faruk, 2019).

Serat alami dianggap sebagai alternatif untuk serat rekayasa karena memiliki sifat seperti biodegradabilitas, sifat terbarukan, dan ketersediaan yang melimpah dibandingkan dengan serat sintetis. Serat sintetis, yang berasal dari sumber daya terbatas, sangat dipengaruhi oleh fluktuasi harga minyak dan cenderung menumpuk di lingkungan dan tempat pembuangan sampah (Sanjay, 2019). Selain itu serat alami menarik perhatian yang signifikan sebagai pengganti serat sintetis dan sebagai bahan penguat dalam berbagai aplikasi komposit. Hal ini disebabkan karena kemampuannya menyerap karbon dioksida dan mengurangi polusi, dikarenakan serat alami tidak melepaskan gas berbahaya selama pemrosesan dan tidak menyebabkan keausan pada alat saat pemrosesan (Thomas, 2020).

2.5 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit adalah bagian dari buah kelapa sawit yang melindungi daging buah dan inti (kernel). Cangkang ini merupakan produk sampingan dari industri minyak kelapa sawit dan seringkali dihasilkan dalam jumlah besar di pabrik pengolahan kelapa sawit (Abdullah, 2022). Secara umum, cangkang kelapa sawit memiliki karakteristik yang sangat keras dan kokoh dengan warna coklat kehitaman. Cangkang kelapa sawit diketahui mempunyai karakteristik fisik dan mekanik yang baik yaitu kekerasan dan kerapatannya tinggi serta serapan airnya yang rendah (Thiruchelvam, 2020).

Cangkang kelapa sawit (*Palm Kernel Shell*) adalah produk sampingan dari industri minyak kelapa sawit yang telah menarik perhatian sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam komposit. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai *filler* dalam komposit menawarkan berbagai keunggulan terkait sifat fisik dan mekanik (Abdullah, 2022). Karakteristik cangkang kelapa sawit memiliki sifat fisik dan termal yang cukup baik untuk memastikan bahwa kampas rem dapat berfungsi secara baik dalam mencapai koefisien gesek dan dapat memberikan ketahanan panas dalam berbagai kondisi suhu yang berbeda beda, selain itu cangkang kelapa sawit dapat membantu mengurangi limbah serta ketergantungan pada bahan *non-renewable* seperti asbes, yang memiliki dampak yang buruk bagi kesehatan dan lingkungan (Rehan, 2021).

Cangkang kelapa sawit yang diperoleh ini nantinya dapat digunakan sebagai bahan dasar kampas rem yang dipadukan dengan polimer yaitu epoksi sehingga membentuk material komposit (Perdana, 2019). Pada penelitian ini cangkang kelapa sawit yang digunakan berasal dari pandeglang yang dijadikan bahan pengisi atau *filler* dengan memanfaatkan material alam yang terbuang atau limbah menjadi produk dengan melakukan pengujian densitas, porositas, daya serap air dan stabilitas termal



Gambar 2.12 Cangkang Kelapa Sawit
(Perdana, 2019)

Cangkang kelapa sawit merupakan bahan alami yang dapat terurai secara alami, sehingga memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada bahan sintetis, selain itu penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku alternatif dapat memberikan nilai tambah bagi industri pengolahan kelapa sawit dan industri lainnya, serta mengurangi limbah dan dampak lingkungan (Rehan, 2021). Cangkang kelapa sawit mengandung komponen utama seperti selulosa, hemi-selulosa, dan lignin, serta sejumlah kecil abu dan bahan ekstraktif. Komposisi kimia ini memberikan sifat-sifat tertentu yang bermanfaat ketika digunakan sebagai *filler* dalam komposit (Abdullah, 2022).

Tabel 2.2 Kandungan Cangkang Kelapa Sawit (Abdullah, 2022)

Komponen	Kandungan	Fungsi
Selulosa	30%	Memberikan kekuatan struktural cangkang
Hemiselulosa	24%	Memberikan sifat elastis dan fleksibilitas
Lignin	45%	Memberikan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi biologis dan kimia
Abu	1%	Menunjukkan mineral setelah pembakaran

2.6 Serat Bambu

Serat bambu adalah serat alami yang diperoleh dari batang tanaman bambu. Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan yang memiliki batang yang keras dan serat yang kuat. Serat bambu telah digunakan dalam berbagai aplikasi selama berabad-abad karena memiliki kekuatan, kelenturan yang baik, dan ketersediaannya yang melimpah. Adapun beberapa karakteristik serat bambu, yaitu sebagai berikut : (Ahmad, 2020)

1. Serat bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi, yang membuatnya cocok sebagai bahan penguat dalam berbagai aplikasi konstruksi dan manufaktur
2. Memiliki kelenturan yang baik, yang membuatnya mudah dibentuk dan diolah
3. Bambu merupakan tanaman yang cepat tumbuh dan dapat ditemukan di berbagai wilayah, sehingga serat bambu tersedia dalam jumlah yang melimpah
4. Relatif ringan tetapi tetap kuat, sehingga cocok untuk digunakan dalam produk-produk yang membutuhkan bahan ringan
5. Serat bambu memiliki ketahanan terhadap korosi, yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam aplikasi rem yang membutuhkan ketahanan terhadap lingkungan yang keras.
6. Dengan menggunakan serat bambu sebagai penguat dalam pembuatan kampas rem, sehingga dapat meningkatkan performa dan ketahanan kampas rem tersebut
7. Dapat membantu meningkatkan kekuatan komposit secara keseluruhan
8. Bambu merupakan bahan alami dan dapat terurai secara alami, sehingga meminimalkan dampak lingkungan setelah masa pakainya



Gambar 2.13 Serat Bambu

(Ahmad, 2020)

Pada penelitian ini serat pendek bambu digunakan sebagai penguat atau *reinforced* merujuk pada penggunaan yang berasal dari bambu sebagai bahan tambahan dalam pembuatan material komposit. Bambu memiliki sifat termal dan sifat akustik yang baik. Dengan menambahkan serbuk bambu ke dalam material komposit, dapat meningkatkan sifat-sifat termal dan akustik dari bahan tersebut. Selain itu ketersediaan bambu yang melimpah membuat serat bambu menjadi pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan (Khalil, 2019).

Serat pendek bambu merujuk pada serat yang berasal dari bambu yang telah diproses menjadi panjang yang relatif pendek. Proses ini biasanya melibatkan pemotongan atau pemecahan serat bambu menjadi potongan-potongan yang lebih kecil dengan berbagai jenis bahan pengikat seperti resin *epoxy* atau *fenolik* yang umumnya digunakan dalam pembuatan komposit kanvas rem (Khalil, 2019). Kompatibilitas yang baik antara serat bambu dan bahan pengikat dapat memastikan adhesi yang kuat antara serat dan matriks, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kestabilan suatu material komposit (Ahmad, 2020).

2.7 Sifat Fisik Komposit

Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fase yang berbeda, seperti matriks dan penguat, yang digabungkan bersama untuk menciptakan sifat-sifat yang unik. Sifat fisik komposit material mencakup berbagai karakteristik yang dapat dipengaruhi oleh jenis matriks, jenis penguat, metode produksi, dan proporsi relatif antara matriks dan penguat (Drastinawati, 2023).

2.7.1 Densitas

Densitas merupakan besaran fisis, perbandingan massa dengan volume benda. Densitas teoritis dapat dihitung berdasarkan standar ASTM E252-06. Sedangkan densitas aktual dapat dicari menggunakan teori archimides dengan menimbang sampel dan mencatat berat sampel. Kemudian diukur dan dicatat panjang, lebar dan tinggi sampel, dan dihitung volume sampel. Nilai densitas teoritis dan aktual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (Sudiby, 2021)

$$\rho m = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

ρ_m = Densitas aktual (gram/cm³)

m = Massa (gram)

v = Volume (cm³) = panjang (cm) x lebar (cm) x tinggi (cm)

Sedangkan densitas teoritis dapat diketahui dengan mengukur volume zat secara langsung dan diperoleh melalui :

$$\rho_{th} = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

ρ_{th} = Densitas teoritis (gram/cm³)

V_a = Fraksi volume zat (gram)

ρ_a = Densitas massa (gram/cm³)

2.7.2 Porositas

Porositas pada komposit merujuk pada keberadaan rongga-rongga atau ruang-ruang kosong dalam struktur material komposit. Porositas dapat terjadi karena beberapa faktor seperti proses manufaktur, pengaturan serat, atau kualitas bahan matriks dan penguat. Tingginya tingkat porositas dalam komposit dapat mempengaruhi sifat mekanik, termal, dan listrik dari material tersebut. Untuk mengukur porositas pada komposit, kita dapat membandingkan densitas teoritis dan densitas aktual dari material tersebut : (Sudiby, 2021)

$$\rho (\%) = \frac{\rho_{th} - \rho_m}{\rho_{th}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

ρ = Porositas (%)

ρ_{th} = Densitas teoritis (gram/cm³)

ρ_m = Densitas aktual (gram/cm³)

2.7.3 Daya Serap Air

Daya serap air adalah salah satu sifat fisis komposit yang menunjukkan kemampuan komposit untuk menyerap air setelah direndam di dalam air. Spesimen uji ditimbang massa awalnya (m_k), kemudian direndam dalam air selama 24 jam dan ditiriskan lalu ditimbang massa akhirnya (m_b). Nilai daya serap air dihitung dengan persamaan berikut : (Drastinawati, 2023)

$$DSA = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

DSA = Daya serap air (%)

m_k = Massa kering sebelum direndam (gram)

m_b = Massa basah sesudah direndam 24 jam (gram)

2.8 Sifat Termal Komposit

Sifat termal komposit merujuk pada massa bahan terhadap perubahan suhu dan waktu. Sifat termal komposit sangat dipengaruhi oleh jenis matriks, penguat, jenis pengisi, fraksi volumetrik, dan kondisi lingkungan termal digunakan (Hagwood, 2019). Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian TGA (*Thermal Gravimetry Analysis*) dan paparan panas untuk mengetahui stabilitas dimensi terhadap suhu yang ditentukan

2.8.1 Pengujian TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

Thermogravimetric Analysis (TGA) adalah teknik analisis termal yang digunakan untuk mengukur perubahan massa suatu material sebagai fungsi dari suhu atau waktu. Pengujian TGA pada komposit memberikan informasi penting tentang sifat termal material termasuk stabilitas termal, kandungan *filler*, dekomposisi, dan residu abu. Stabilitas termal suatu komposit mengacu pada kemampuan material untuk mempertahankan integritasnya pada suhu tinggi. TGA mengukur perubahan massa material saat dipanaskan, sehingga penurunan massa yang signifikan menunjukkan dekomposisi material (Poowadin, 2020).

Pengujian TGA dapat menunjukkan pengurangan massa yang lebih lambat atau bagian massa yang tersisa setelah dekomposisi utama yang seringkali dapat dikaitkan dengan kandungan bahan pengisi anorganik yang tahan panas. Selain itu bagian material yang terdekomposisi pada rentang suhu tertentu biasanya menunjukkan kandungan polimer (Poowadin, 2020). Laju pemanasan dapat mempengaruhi hasil TGA di mana laju pemanasan yang lebih cepat dapat menyebabkan pergeseran suhu dekomposisi ke suhu yang lebih tinggi (Mukesh, 2018).

Setelah pengujian TGA selesai, residu abu yang tersisa pada suhu tinggi memberikan informasi tentang bahan pengisi yang tidak terdekomposisi. Massa residu abu sering digunakan untuk menghitung persentase bahan pengisi yang tahan panas seperti serat karbon, logam, atau pengisi anorganik lainnya (Poowadin, 2020). Pengujian TGA menggunakan standar ASTM E1131-08, yang menjelaskan tentang prosedur pada pengujian TGA secara lengkap beserta ukuran dan berat yang sesuai yaitu antara 5-20 mg untuk dapat mendapatkan hasil pengujian yang baik dan akurat (Hagwood, 2019).

Pada saat pengujian TGA didapatkan dua kurva yaitu kurva TGA dan DSC atau *Differential Scanning Calorimetry*. DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) adalah metode lain untuk menganalisis sifat bahan secara termal, pada DSC yang diukur adalah entalpi pada sampel akibat perubahan fisik dan kimia pada sampel sebagai fungsi suhu dan waktu. Perubahan panas yang terjadi pada sampel saat dipanaskan memungkinkan pengukuran perubahan termal yang terjadi di dalam suatu sampel terhadap suhu (Hybler, 2020). Metode ini memberikan informasi tentang transisi fasa, seperti titik leleh, titik beku, dan reaksi kimia yang terjadi di dalam suatu sampel. DSC juga digunakan untuk mengevaluasi stabilitas termal, kapasitas kalor, entalpi perubahan fasa, dan kinetika reaksi termal. Dengan demikian, DSC merupakan suatu metode yang sangat berguna dalam penelitian material, pengembangan produk, dan kontrol kualitas dalam pengaplikasian diberbagai dunia industri (Zhang, 2020).

2.8.2 Paparan Panas

Proses paparan bahan komposit terhadap panas dapat diamati melalui dekomposisi termal, yang merupakan proses di mana senyawa tunggal memecah menjadi dua atau lebih saat menerima energi panas. (Poowadin, 2020). Metode ini dianggap cepat, efektif, dan biaya yang efisien. Dalam proses paparan panas, prosedur pengujian yang digunakan menggunakan standar ASTM D 1758-06 dengan dimensi atau ukuran sampel pengujian yaitu 3cm x 3cm x 1cm, yang dipanaskan dalam oven dengan suhu yang sudah ditentukan 150°C dan 250°C selama 60 menit (Hagwood, 2019). Selama proses dekomposisi, terjadi perubahan fisik dan kimia, termasuk transisi dari keadaan padat ke cairan, dan kemudian menjadi gas (Rahaman, 2019).

Pengujian paparan panas bertujuan untuk menentukan stabilitas dimensi, sifat mekanik, dan perubahan fisik atau kimia material komposit ketika dipanaskan pada suhu tertentu untuk jangka waktu tertentu. Adapun beberapa faktor yang memengaruhi stabilitas dimensi terhadap paparan panas, yaitu sebagai berikut : (Mukesh, 2018)

1. Sifat material yang memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah cenderung lebih stabil secara dimensi saat dipanaskan karena ekspansi termalnya yang kecil
2. Suhu pemanasan yang lebih tinggi cenderung menyebabkan ekspansi termal yang lebih besar, yang dapat mengakibatkan perubahan dimensi material
3. Durasi paparan panas yang lama dapat meningkatkan kemungkinan perubahan dimensi karena material memiliki lebih banyak waktu untuk meregang atau mengalami degradasi termal

Setelah melakukan pengujian stabilitas dimensi akibat paparan panas, maka selanjutnya dilakukan uji visual, yaitu pemeriksaan visual sebelum dan setelah paparan panas untuk mengidentifikasi perubahan dimensi, seperti perubahan bentuk dan mengukur dimensi sampel sebelum dan setelah paparan panas menggunakan alat pengukur yang akurat, seperti mikrometer atau jangka sorong (Mukesh, 2018).

2.9 Alumina Powder

Alumina powder adalah serbuk halus yang terbuat dari aluminium oksida (Al_2O_3) merupakan senyawa kimia yang mengandung aluminium dan oksigen. Serbuk ini memiliki berbagai aplikasi industri karena sifat fisik dan kimianya yang unggul (Mrozowski, 2020). Dalam pembuatan komposit kanvas rem, *alumina* digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus. Serbuk alumina dapat dicampur dengan material dasar seperti resin untuk membentuk komposit yang lebih kuat dan tahan terhadap gesekan dan panas yang tinggi. Komposit kanvas rem yang mengandung *alumina powder* biasanya memiliki performa yang lebih baik dalam kondisi ekstrem (Taktak, 2019)

Selain itu dalam pembuatan komposit kanvas rem, *alumina powder* sering digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu dari kanvas rem tersebut (Padture, 2022). Ketika ditambahkan ke dalam bahan dasar dalam pembuatan kanvas rem yang terbuat dari komposit lebih tahan lama dan mampu menghadapi kondisi operasional, seperti pengereman dalam kecepatan tinggi atau penggunaan di lingkungan dengan suhu tinggi. Sehingga penggunaan *alumina powder* membantu meningkatkan performa dan umur pakai kanvas rem secara keseluruhan (Taktak, 2019)

Penggunaan serbuk alumina dalam industri memerlukan pemenuhan standar tertentu yang mencakup berbagai aspek mulai dari sifat fisik dan kimia hingga prosedur pengujian dan aplikasi (Lange, 2019). Standar ASTM E247-01 merupakan standar yang mencakup metode analisis kimia alumina, untuk memastikan kemurnian yang sesuai untuk aplikasi tertentu, selain itu ada standar keamanan dalam penggunaan alumina powder yaitu REACH (*Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals*), regulasi Uni Eropa ini mengatur pendaftaran, evaluasi, otorisasi, dan pembatasan bahan kimia untuk memastikan keselamatan penggunaan serbuk alumina untuk diaplikasi ke dalam beberapa aplikasi, dan OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) 29 CFR 1910.1200, merupakan standar yang mengatur bahaya dan keselamatan kerja terkait penanganan bahan kimia, termasuk serbuk alumina (Mrozowski, 2020).

2.10 Graphite Powder

Graphite powder merupakan serbuk halus yang terbuat dari grafit, sebuah allotrop dari karbon. Grafit memiliki struktur kristal yang terdiri dari lapisan-lapisan tipis atom karbon yang terikat secara longgar. Serbuk *graphite* ini memiliki warna abu-abu hingga hitam, dan teksturnya halus sehingga sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan tambahan dalam pembuatan komposit sebagai bahan pelumas, dalam industri pembuatan kertas, dan banyak lagi (Park, 2019).

Grafit memiliki sifat yang berguna dalam pembuatan komposit kampas rem karena ketahanan terhadap panas, konduktivitas listrik, dan kemampuan pelumasan. Ketika digunakan dalam pembuatan komposit kampas rem, *graphite powder* dapat membantu mengurangi gesekan antara kampas rem dan cakram, sehingga mengurangi keausan dan memperpanjang umur pakai kampas rem (Park, 2019). Proses pembuatan komposit kampas rem dengan menggunakan *graphite powder* melibatkan pencampuran serbuk *graphite* dengan bahan lain, seperti resin untuk penguatnya. Campuran ini kemudian dicetak dan dipanaskan untuk membentuk kampas rem yang keras dan tahan lama. Penggunaan *graphite powder* dalam komposit kampas rem juga dapat meningkatkan performa pengereman dengan memberikan stabilitas panas dan ketahanan terhadap keausan pada suhu tinggi (Sharma, 2019).

Dalam penggunaannya adapun standar keamanan dalam penggunaan *graphite powder* yaitu REACH (*Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals*), regulasi Uni Eropa ini mengatur pendaftaran, evaluasi, otorisasi, dan pembatasan bahan kimia untuk memastikan keselamatan penggunaan serbuk grafit untuk diaplikasi kedalam beberapa aplikasi, dan OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) 29 CFR 1910.1200, merupakan standar yang mengatur bahaya dan keselamatan kerja penanganan bahan kimia (Mrozowski, 2020).

2.11 ZnO

ZnO atau biasa disebut oksida seng adalah senyawa kimia yang terdiri dari atom seng dan oksigen. Dalam pembuatan komposit kanvas rem, ZnO sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan komposit karena memiliki sifat abrasi yang baik, yang membantu meningkatkan ketahanan aus komposit kanvas rem (Danni, 2023). Saat digunakan dalam campuran komposit, ZnO membantu mengurangi gesekan antara kanvas rem dan cakram, sehingga mengurangi keausan, selain itu senyawa ini dapat meningkatkan daya cengkram kanvas rem terhadap cakram. Hal ini dapat meningkatkan performa pengereman yang lebih baik (Nguyen, 2020).

ZnO juga memiliki stabilitas termal yang baik, sehingga dapat menahan suhu tinggi yang dihasilkan selama proses pengereman tanpa mengalami degradasi yang signifikan (Bokarev, 2020). Proses pembuatan komposit kanvas rem dengan menggunakan ZnO melibatkan pencampuran serbuk ZnO dengan bahan lain, seperti serat atau resin. Campuran ini kemudian diproses dan diformat menjadi kanvas rem yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Penggunaan ZnO dalam komposit kanvas rem dapat membantu meningkatkan performa pengereman, ketahanan aus, dan stabilitas termal dari kanvas rem tersebut (Nguyen, 2020).

2.12 Perlakuan Alkali

Perlakuan alkali dalam pembuatan komposit kanvas rem adalah salah satu langkah yang penting dalam proses produksi. Perlakuan alkali umumnya dilakukan pada serat yang akan digunakan sebagai penguat dalam komposit kanvas rem, seperti serat bambu. Tujuan dari perlakuan alkali ini adalah untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matriks komposit, yang pada gilirannya akan meningkatkan kekuatan dan keandalan komposit. Adapun pada penelitian ini perlakuan alkali pada serat bambu bertujuan sebagai berikut : (Gao, 2019)

1. Dapat meningkatkan kekuatan serat bambu dengan meningkatkan ikatan antara serat dan matriks komposit, hal ini dapat menghasilkan komposit yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap beban mekanis

2. Perlakuan alkali dapat mengurangi sifat higroskopis ini dengan menghilangkan sebagian lignin dan hemiselulosa dari serat bambu, sehingga membuat serat lebih tahan terhadap perubahan dimensi akibat penyerapan air
3. Perlakuan alkali dapat meningkatkan reaktivitas permukaan serat bambu, sehingga meningkatkan ikatan antara serat dan matriks komposit, hal ini dapat menghasilkan komposit yang lebih homogen dan memiliki sifat mekanis yang lebih baik
4. Perlakuan alkali dapat mengurangi kemungkinan korosi serat bambu, terutama jika digunakan dalam lingkungan yang korosif

Perlakuan alkali adalah teknik yang digunakan untuk membersihkan dan mengubah struktur permukaan serat dengan tujuan menurunkan tegangan permukaan serta meningkatkan daya lekat antara serat alami dan matriks polimer (Nakagaito, 2021). Pemilihan konsentrasi larutan alkali untuk perlakuan serat bambu dalam pembuatan komposit kanvas rem tergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis larutan alkali yang digunakan dan sifat-sifat yang diinginkan dari komposit tersebut (Ahmad, 2020). Dengan menggunakan larutan NaOH konsentrasi larutan alkali yang lebih rendah, seperti 5%, lebih baik untuk aplikasi seperti komposit daripada konsentrasi yang lebih tinggi seperti 10%, dikarenakan konsentrasi larutan alkali yang lebih rendah dapat membantu mengurangi risiko kerusakan serat bambu akibat pemrosesan kimia yang agresif. Serat bambu yang terlalu terpapar larutan alkali yang kuat dapat mengalami degradasi, yang dapat mengurangi kekuatan dan keandalan komposit (Kumar, 2019).