

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Dasar Teori

Dalam bab ini, penulis akan menguraikan berbagai teori yang menjadi dasar dalam penyusunan tugas akhir. Landasan teori yang disajikan mencakup konsep-konsep fundamental yang berkaitan dengan topik utama penelitian serta teori-teori pendukung yang relevan. Teori-teori ini berperan sebagai acuan dalam menganalisis dan menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir. Dengan adanya teori yang jelas dan terstruktur, penelitian dapat memiliki kerangka berpikir yang sistematis dalam menjawab permasalahan yang dikaji.

Selain itu, landasan teori yang kuat juga membantu dalam memperkuat argumen serta mendukung validitas penelitian yang dilakukan. Dengan memahami berbagai teori yang telah dikembangkan sebelumnya, penelitian ini dapat memperoleh perspektif yang lebih luas serta membangun analisis yang lebih mendalam. Keberadaan teori-teori ini juga memungkinkan penelitian untuk dihubungkan dengan penelitian sebelumnya, sehingga memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang yang relevan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memiliki dasar yang jelas, tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2.1.1 *Fiberglass Reinforcement Polyester (FRP)*

Material FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) adalah salah satu jenis komposit berbasis serat yang mengombinasikan kekuatan dengan bobot yang relatif ringan. Meskipun tidak sekuat dan seringan serat karbon, fiberglass memiliki keunggulan dalam fleksibilitas yang lebih baik serta biaya yang lebih ekonomis. Komposit ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu serat sebagai elemen penguat (reinforcement) dan plastik sebagai elemen pengikat (matrix). Kombinasi kedua elemen tersebut menghasilkan material yang kaku, kuat, namun tetap ringan [6]. Fiberglass, atau serat kaca, diproduksi dari kaca cair

yang ditarik hingga membentuk serat-serat halus dengan diameter sekitar 0,005–0,01 mm. Serat-serat ini kemudian dapat melalui proses lebih lanjut, seperti dipintal menjadi benang atau ditenun menjadi kain. Kain yang dihasilkan kemudian dapat dilaminasi atau direndam dalam resin untuk menghasilkan material yang memiliki daya tahan tinggi serta ketahanan terhadap korosi [6].

Terdapat berbagai jenis serat penguat yang digunakan berdasarkan komposisi kimianya, di antaranya: [7]

1. E-glass (Electrical glass) merupakan serat borosilikat yang memiliki daya tahan tinggi terhadap air dan berbagai bahan kimia.
2. S-glass (Strength glass) merupakan serat penguat yang memiliki tingkat kekuatan dan kekakuan lebih tinggi dibandingkan jenis serat lainnya, meskipun harganya relatif lebih mahal. Serat ini biasanya diaplikasikan dalam konstruksi pesawat terbang.
3. Kevlar (Aramid) adalah serat sintesis dengan sifat termoset yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap gesekan, serta memiliki daya tahan yang baik terhadap kelelahan material. Selain itu, serat ini juga mampu menyerap benturan secara efektif. Karena karakteristik tersebut, Kevlar sering digunakan sebagai elemen penguat dalam matriks keramik pada kapal perang.
4. Serat karbon (Carbon Fiber) merupakan jenis serat penguat yang memiliki tingkat kekakuan paling tinggi dibandingkan material lainnya. Meskipun demikian, daya tahan dan kekuatan tariknya relatif sebanding dengan fiberglass. Karena sifatnya yang sangat kuat namun tetap ringan, serat karbon sering digunakan untuk keperluan khusus dalam industri perkapalan, terutama dalam memperkuat bagian-bagian kritis yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap benturan, seperti lambung kapal dan struktur atas. Penggunaannya membantu meningkatkan durabilitas dan performa kapal tanpa menambah beban berlebih, menjadikannya pilihan ideal untuk kapal dengan kebutuhan spesifik.

Selain material penguat, terdapat juga material pendukung yang dikelompokkan berdasarkan fungsinya masing-masing, di antaranya yaitu :[7]

1. Katalis berfungsi sebagai pemicu reaksi kimia yang menghasilkan panas saat dicampurkan dengan resin, sehingga mengaktifkan proses polimerisasi.
2. Akselerator berfungsi mempercepat proses polimerisasi antara katalis dan resin tanpa memerlukan pemanasan tambahan di luar suhu ruangan.
3. Styrene cair merupakan zat bening dan tidak berwarna yang berperan sebagai pengencer resin tanpa mengubah sifat aslinya, serta tetap stabil selama proses pengerasan.
4. Gel coat merupakan resin poliester yang dirancang khusus sebagai lapisan pelindung pada permukaan luar fiberglass. Lapisan ini berfungsi untuk melindungi dari goresan serta memiliki ketahanan terhadap air, abrasi, dan berbagai perubahan kondisi cuaca.
5. Lapisan pelepas (mold release) berperan dalam mencegah laminasi FRP menempel pada cetakan, dengan wax menjadi bahan yang paling umum digunakan.

2.1.2 Proses pembangunan kapal *fiberglass*

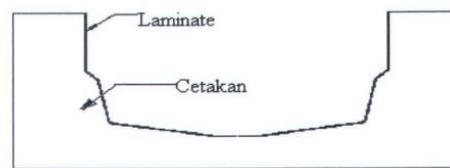
Proses yang dimaksud mengacu pada serangkaian langkah yang harus dilakukan dalam pembuatan kapal fiberglass. Tahapan dalam konstruksi kapal fiberglass meliputi langkah-langkah berikut :

A. Membuat cetakan

Secara umum, terdapat dua jenis metode cetakan yang digunakan dalam pembuatan kapal fiberglass. Metode pertama disebut Female Mold, sedangkan metode kedua dikenal sebagai Male Mold.

1. Metode cetakan *Female Mold* dalam pembuatan kapal fiberglass terdiri dari tiga tahap utama. Tahap pertama adalah pembuatan *PLUG*, yang berfungsi sebagai lambung sementara. Selanjutnya, dari *PLUG*

tersebut dibuat cetakan yang akan digunakan sebagai acuan dalam pembentukan kapal. Pada tahap akhir, proses pembangunan kapal dilakukan dari bagian dalam cetakan. Secara umum, pembuatan kapal dengan metode ini dimulai dari lapisan terluar. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, kualitas permukaan kapal sangat bergantung pada kualitas cetakan, karena lapisan terluar kapal akan langsung menempel pada cetakan tersebut.



Gambar 2.1 Cetakan *female mold*

2. Metode cetakan *Male Mold* merupakan teknik yang berlawanan dengan *Female Mold*. Dalam metode *Female Mold*, lambung kapal dibentuk di bagian dalam cetakan, sedangkan pada metode *Male Mold*, proses pembuatan kapal dilakukan dengan membangun lapisan material di bagian luar cetakan. Teknik ini memungkinkan pembuatan bentuk yang lebih mudah diawasi selama proses pengerjaan, meskipun hasil akhir permukaannya mungkin memerlukan penyempurnaan tambahan agar mencapai tingkat kehalusan yang diinginkan.[8]



Gambar 2.2 Cetakan *male mold*

Pembuatan cetakan harus dilakukan dengan sangat cermat dan teliti, karena kualitas cetakan memiliki dampak langsung terhadap hasil akhir produk yang dihasilkan. Cetakan yang baik akan memastikan bentuk, ukuran,

serta detail permukaan produk sesuai dengan yang diharapkan, sehingga meminimalkan cacat atau ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, dalam proses pembuatan cetakan, terdapat beberapa aspek penting yang harus diperhatikan, seperti pemilihan material cetakan yang tepat, ketepatan dalam proses perakitan, serta teknik penyelesaian akhir untuk memastikan permukaan cetakan halus dan bebas dari cacat. Selain itu, daya tahan cetakan juga menjadi faktor krusial, terutama jika digunakan untuk produksi dalam jumlah besar, sehingga diperlukan perawatan dan perlakuan khusus agar tetap dalam kondisi optimal.

a. *Lofting* (Penggambaran skala 1: 1).

Setelah tim perencanaan menyelesaikan gambar desain, seperti *Lines Plan*, *General Arrangement*, dan perhitungan konstruksi, data tersebut menjadi acuan utama dalam memulai proses fabrikasi. Langkah awal dalam proses ini adalah pembuatan gambar skala 1:1 atau *lofting*, yang didasarkan pada *Lines Plan*. Selanjutnya, dilakukan pemilihan jenis cetakan yang akan digunakan, baik cetakan permanen maupun semi permanen. Cetakan semi permanen biasanya digunakan untuk produksi dalam jumlah terbatas atau satuan, dengan proses pembuatannya melalui beberapa tahapan, yaitu :

- Pembangunan struktur dasar konstruksi
- Pembuatan masing-masing bagian atau seksi
- Penyatuan antar bagian
- Pemasangan penutup pada cetakan
- Penerapan lapisan pada permukaan cetakan
- Tahap penyelesaian akhir (*finishing*)
- Cetakan permanen

Cetakan permanen merupakan jenis cetakan yang dipakai untuk menghasilkan produk dalam jumlah besar secara berulang.

- Tahap pembuatannya:

Pembuatan prototipe kapal dilakukan menggunakan metode semi mould dalam proses M1, pembuatan cetakan dari prototipe kapal.

B. Pemberian *release Agent*.

Tahapan ini dilakukan sebelum proses laminasi untuk mempermudah pelepasan produk dari cetakan. Persiapan ini melibatkan berbagai material dan teknik dalam penerapan *Release Agent*. Material yang digunakan dalam proses ini meliputi :

1. Membersihkan cetakan terlebih dahulu.
2. Mengaplikasikan pasta wax pada cetakan.
3. Mengoleskan PVA (Polyvinyl Alcohol) sebagai pelapis tambahan. Namun, jika permukaan cetakan sudah dilapisi plastik, penggunaan PVA dapat diabaikan dan cukup menggunakan wax sebagai release agent.[9]

C. Proses Laminasi.

Laminasi adalah proses pembentukan lapisan menggunakan gel coat atau fiberglass. Terdapat tiga metode laminasi yang sering digunakan, yaitu *Spray Up*, *Hand Lay Up*, dan *Automatic Lay Up*.

a. *Spray Up*

Teknik ini memanfaatkan peralatan utama berupa *Spray Gun*, yang dirancang dengan ujung khusus yang memiliki dua lubang sebagai saluran keluarnya filamen dan resin. Filamen yang digunakan biasanya berupa serat kaca yang dipotong secara otomatis sebelum dicampurkan dengan resin saat disemprotkan ke cetakan. Proses ini memungkinkan distribusi material yang lebih merata dan efisien, sehingga mempercepat pengerjaan laminasi. Dengan penggunaan *Spray Gun*, metode ini cocok untuk produksi dalam skala besar karena mampu menutupi area luas dalam waktu singkat, meskipun tetap memerlukan keterampilan operator untuk memastikan ketebalan dan kualitas laminasi yang optimal. Adapun urutan prosesnya sebagai berikut:

- Resin disemprotkan bersama filamen secara merata dan teratur.
- Katalis dan akselerator turut disemprotkan untuk mendukung prosesnya.

- Laminasi dilakukan dengan menggunakan kuas atau roller cat. Meskipun metode ini dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja, kelemahannya terletak pada kesulitan dalam mengontrol ketebalan lapisan dan seringkali menghasilkan kualitas produk yang lebih rendah jika dibandingkan dengan teknik hand lay-up.[10]

b. *Hand Lay Up.*

Industri perkapalan di Indonesia merupakan sektor yang paling banyak menerapkan teknik ini. Dibandingkan dengan metode lainnya, proses pengerjaan sebagian besar dilakukan secara manual, sehingga memerlukan tenaga kerja dalam jumlah lebih besar.[6]

c. *Automated Lay Up.*

Metode ini diterapkan dalam pembuatan kapal berukuran besar dengan panjang sekitar 40–60 meter, yang sulit dikerjakan secara manual menggunakan teknik *Hand Lay Up* atau *Spray Up*. Dengan metode ini, kapal dapat memiliki ketebalan lapisan laminasi yang mencapai 20–50 mm.

Proses laminasi Gel Coat dapat dilakukan dengan metode Hand Lay Up atau Spray Up. Jika menggunakan metode Hand Lay Up dalam laminasi Gel Coat, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Suhu harus dikendalikan dengan baik dan disesuaikan dengan kebutuhan area kerja, dengan temperatur permukaan cetakan idealnya berada dalam rentang 60° hingga 85° Fahrenheit.
- Pastikan area kerja serta permukaan cetakan dalam kondisi bersih, bebas dari debu dan kotoran.
- Proses pengerjaan sebaiknya dilakukan di dalam ruangan tertutup, terlindung dari kelembapan dan kebisingan, serta tidak terpapar sinar matahari langsung.

Setelah proses laminasi gel coat selesai, tahap berikutnya adalah laminasi fiberglass. Proses ini harus dilakukan dengan cermat untuk memastikan hasil laminasi memiliki kualitas tinggi dan daya tahan yang optimal. Selain itu, teknik aplikasi yang tepat juga diperlukan agar serat

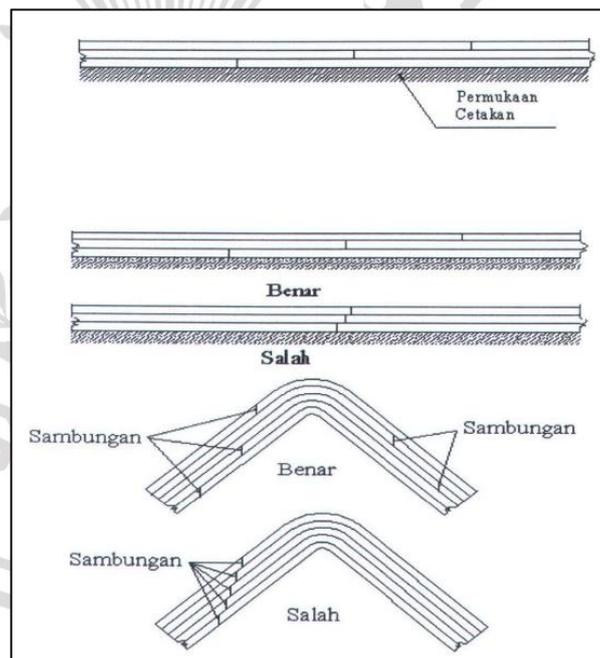
fiberglass dapat menempel dengan sempurna, mengurangi risiko cacat atau kerusakan pada struktur. Dengan demikian, hasil akhir yang diperoleh akan lebih kuat, halus, dan sesuai dengan standar yang diharapkan, kita harus tahu:

1. Penataan material.

Proses penyambungan dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *butt joint* (sejajar) atau dengan teknik saling menumpuk (*overlap*). Oleh karena itu, penting untuk memahami aspek penggabungan serta pengaturan material dalam proses ini :

- Penyambungan secara Butt Join.

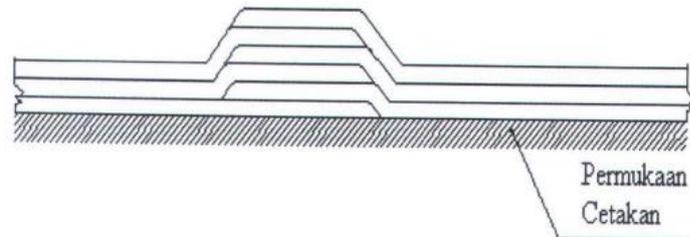
Butt Join adalah jenis sambungan di mana dua material ditempatkan dalam posisi sejajar, dengan ujung-ujungnya saling berhadapan tanpa saling bertumpuk. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Penyambungan *bult join*

- Penyambungan Over Lapp merupakan metode sambunganyang dilakukan dengan cara menumpuk ujung atau sisi material secara bertumpuk. Salah satu kelemahan dari teknik sambungan

ini adalah kemungkinan terjebaknya udara, yang dapat memicu kerusakan pada lapisan laminasi, seperti yang terlihat pada gambar. 2.4.[11]



Gambar 2.4 Penyambungan secara *Over Lapp*

1. Susunan dan arah material.

Berikut merupakan daftar material yang umumnya digunakan:

- Lapisan pertama menggunakan mat, karena resin yang diaplikasikan pada mat secara otomatis akan membentuk komposit yang seimbang bersama lapisan gel coat.
- Lapisan kedua terdiri dari kombinasi WR dan mat, kemudian diulang dengan pola yang sama, yaitu WR dan mat secara berlapis.
- Untuk lapisan terluar, disarankan menggunakan mat, karena memiliki pola yang lebih teratur serta daya tahan yang lebih baik terhadap air dibandingkan material lainnya.

2. Resin harus dituangkan atau diaplikasikan dengan kuas hanya pada area yang dibutuhkan, dan dilakukan dalam satu kali aplikasi. Selagi resin masih dalam kondisi basah, ratakan menggunakan kuas, kemudian letakkan Mat di atasnya dan gunakan roller untuk memastikan penyebaran yang merata
3. Proses laminasi untuk satu lambung kapal dilakukan secara berkelanjutan hingga mencapai jumlah lapisan yang ditentukan. Namun, proses ini juga dapat dihentikan setelah satu lapisan terbentuk dan dilanjutkan pada tahap berikutnya sesuai kebutuhan.

D. Pelepasan I Releasing : mengeluarkan objek dari cetakan.

Setelah proses laminasi selesai, penting untuk membiarkannya mengering dan mengeras selama kurang lebih dua belas jam agar hasilnya optimal. Waktu ini diperlukan untuk memastikan bahwa seluruh lapisan laminasi telah mengikat dengan baik dan mencapai kekuatan yang diinginkan. Jika aplikasi release agent dilakukan dengan benar dan merata, proses pelepasan laminasi dari cetakan dapat dilakukan dengan lebih mudah. Dalam tahap ini, biasanya hanya diperlukan alat bantu seperti cram untuk mengangkat dan melepaskan laminasi tanpa merusak struktur yang telah terbentuk. Hal ini akan membantu menjaga kualitas serta keakuratan bentuk produk akhir.

E. Pemasangan konstruksi penguat (pelintang, pembujur, sekat dan gading).

Setelah badan kapal dikeluarkan dari cetakan, tahap selanjutnya adalah pemasangan konstruksi. Pada kapal berukuran kecil, proses ini umumnya dilakukan setelah badan kapal dimasukkan kembali ke dalam cetakan untuk memastikan kestabilan bentuknya. Hal ini bertujuan untuk mencegah kemungkinan perubahan atau distorsi pada struktur kapal yang dapat terjadi akibat pelepasan dari cetakan. Dengan cara ini, konstruksi kapal dapat terpasang dengan lebih presisi, memastikan kekuatan dan ketahanan yang optimal sebelum kapal memasuki tahap penyelesaian akhir.[12]

F. Pemasangan *Out Fitting*.

Out fitting merujuk pada berbagai peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan agar kapal dapat beroperasi secara optimal sesuai dengan fungsinya. Komponen ini meliputi sistem kelistrikan, perpipaan, perlengkapan navigasi, serta peralatan keselamatan yang harus dipasang dengan presisi. Pemasangan *out fitting* dilakukan setelah penyelesaian konstruksi utama kapal, sehingga seluruh sistem dapat terintegrasi dengan baik tanpa mengganggu struktur kapal. Selain itu, pemasangan yang teliti memastikan kapal siap beroperasi dengan performa maksimal serta memenuhi standar keselamatan dan operasional yang ditetapkan.

G. *Finishing*.

Setelah kapal selesai dibangun secara keseluruhan, termasuk pemasangan outfitting dan aksesoris, tahap finishing pun dimulai. Finishing bertujuan untuk memperbaiki kesalahan yang mungkin terjadi selama proses produksi maupun setelahnya, sehingga kapal dapat memiliki tampilan yang rapi dan berkualitas. Dalam tahap ini, dilakukan berbagai pekerjaan seperti pengecatan untuk memberikan perlindungan dan estetika pada permukaan kapal, pemasangan peralatan yang memastikan kapal siap beroperasi, serta penyelesaian interior agar kapal nyaman dan fungsional. Dengan proses finishing yang baik, kapal tidak hanya memiliki performa yang optimal, tetapi juga memenuhi standar keselamatan dan estetika yang diharapkan.

2.2 Karakteristik iklim indonesia

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki posisi geografis strategis karena terletak di antara dua benua serta diapit oleh dua samudra. Letak ini tidak hanya memengaruhi kondisi alam, tetapi juga berperan dalam perkembangan kehidupan masyarakatnya. Interaksi lintas benua dan samudra membawa pengaruh budaya asing dalam berbagai aspek, seperti seni, bahasa, peradaban, dan agama. Dengan keberagaman suku bangsa yang dimilikinya, Indonesia menjadi negara yang kaya akan budaya hasil perpaduan unsur lokal dan pengaruh dari luar.

Iklim adalah kondisi rata-rata cuaca di suatu wilayah dalam jangka waktu yang panjang. Faktor-faktor yang memengaruhi perubahan iklim meliputi atmosfer, suhu udara, curah hujan, paparan sinar matahari, serta letak geografis terhadap garis khatulistiwa. Secara umum, Bumi memiliki empat jenis iklim utama, yaitu tropis, subtropis, temperate, dan kutub. Keberagaman iklim di dunia sangat dipengaruhi oleh posisi suatu wilayah terhadap garis khatulistiwa. Indonesia, yang terletak di sekitar garis khatulistiwa, memiliki iklim tropis dengan suhu yang cenderung hangat sepanjang tahun.

Negara-negara beriklim tropis terletak di wilayah yang berada di antara garis isotherm di kedua belahan bumi, utara dan selatan. Wilayah dengan iklim tropis ini mencakup area yang berada dalam rentang koordinat 23,5 derajat lintang utara hingga 23,5 derajat lintang selatan. [13] Iklim tropis berada di sekitar garis khatulistiwa dan secara umum terbagi menjadi dua kategori, yaitu iklim tropis basah dan kering. Menurut penelitian Lippsmeier (1994), Indonesia termasuk dalam wilayah hutan hujan tropis yang mencakup daerah sekitar garis khatulistiwa hingga sekitar 15 derajat lintang utara dan selatan. Ciri khas iklim tropis antara lain tingkat curah hujan serta kelembapan yang tinggi, dengan angin yang cenderung lemah. Selain itu, wilayah ini menerima radiasi matahari dengan intensitas sedang hingga tinggi, sementara pertukaran panas tetap rendah akibat kelembapan yang tinggi. Negara-negara beriklim tropis umumnya mengalami dua musim utama dalam setahun, yaitu musim hujan dan musim kemarau.

Indonesia memiliki iklim tropis basah yang ditandai dengan beberapa karakteristik berikut : (Talitha, 2013)

- a. Kelembapan udara sampai diatas 90%
- b. Mempunyai curah hujan yang tinggi
- c. Suhu rata-rata yang tinggi disebabkan oleh posisi matahari yang berada di atas garis lurus. Secara umum, suhu udara berkisar antara 20 hingga 30 derajat Celsius, dan di beberapa wilayah, suhu tersebut bahkan bisa melebihi 30 derajat Celsius.
- d. Perbedaan musim di Indonesia tidak begitu mencolok, kecuali pada saat terjadi hujan ringan dan hujan lebat yang disertai dengan angin kencang.
- e. Tumbuhan yang ditanam di daerah dengan iklim tropis basah umumnya memiliki warna hijau dan tumbuh dengan subur.
- f. Pergerakan matahari menyebabkan negara-negara dengan iklim tropis memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau.
- g. Curah hujan di daerah dengan iklim tropis cenderung lebih lama dan lebih intensif dibandingkan dengan iklim lainnya.
- h. Wilayah yang terletak di daerah tropis menerima sinar matahari sepanjang tahun akibat posisinya yang berada dekat dengan garis khatulistiwa.

- i. Iklim tropis dapat mempengaruhi iklim global jika mempunyai perubahan yang signifikan.

Menurut Harso (2010), iklim tropis umumnya ditandai dengan temperatur tinggi yang disebabkan oleh radiasi matahari yang hampir tegak lurus mengenai permukaan bumi sepanjang siang hari setiap tahunnya. Kondisi ini menimbulkan ketidaknyamanan, baik dari segi visual maupun termal. Radiasi matahari yang jatuh secara langsung dan terasa seakan berada tepat di atas kepala membuat orang cenderung mencari perlindungan dengan berada di dalam bangunan atau ruangan untuk menghindari panas yang berlebihan..

Salah satu karakteristik utama iklim tropis adalah suhu rata-rata harian yang lebih tinggi dibandingkan dengan iklim lainnya. Kondisi ini tentu berdampak pada berbagai aktivitas manusia, yang menyesuaikan diri dengan lingkungan tropis, seperti berikut ini :[14]

1. Pemanasan yang ditimbulkan oleh radiasi sinar matahari.

Matahari mengirimkan panasnya ke permukaan bumi melalui radiasi. Jumlah panas yang diterima tidak bergantung pada apakah permukaan tersebut merupakan area perkotaan atau pedesaan, melainkan lebih ditentukan oleh sudut jatuh radiasi—di mana jumlah maksimum terjadi saat sudutnya 90° . Selain itu, kondisi awan juga berpengaruh karena dapat menghalangi radiasi tersebut. Dampak radiasi matahari di setiap permukaan akan berbeda tergantung pada karakteristiknya dalam menyerap dan memantulkan panas. Permukaan yang keras cenderung menyerap lebih banyak panas dan kemudian memantulkannya kembali. Selain itu, warna permukaan juga berperan—warna terang lebih banyak memantulkan panas, sedangkan warna gelap cenderung menyerap lebih banyak energi radiasi.

2. Terjadinya *'heat urban island'*

Permukaan tanah yang tertutup oleh beton, baik dalam bentuk bangunan maupun perkerasan, serta aspal pada jalan dan area parkir, menyebabkan sebagian besar radiasi matahari diserap dan kemudian dilepaskan kembali ke udara sekitarnya. Material seperti beton dan aspal

melepaskan panas dalam jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan dengan vegetasi. Karena wilayah perkotaan didominasi oleh material ini, suhu udara di kota menjadi lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya yang masih memiliki banyak ruang hijau. Fenomena ini dikenal sebagai *urban heat island*, di mana area perkotaan berperan seperti "pulau panas" yang dikelilingi oleh wilayah pedesaan yang lebih sejuk.

3. Berkurangnya kecepatan angin pada kawasan urban.

Kecepatan angin di kawasan perkotaan umumnya lebih rendah dibandingkan dengan daerah pedesaan akibat tingginya kepadatan bangunan. Struktur bangunan yang rapat mengurangi ketersediaan ruang terbuka, sehingga aliran angin dalam kota menjadi lebih terbatas dibandingkan dengan wilayah pedesaan yang masih memiliki banyak area terbuka.

4. Berkurangnya vegetasi persatuan luas tertentu.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, area perkotaan memiliki jumlah vegetasi yang lebih sedikit per satuan luas dibandingkan dengan daerah pedesaan. Karena tumbuhan mampu menyerap dan meredam panas dari radiasi matahari, wilayah yang ditutupi banyak vegetasi, seperti pedesaan, cenderung memiliki suhu udara lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang didominasi oleh material keras, seperti perkotaan.

Iklim basah umumnya menghasilkan suhu udara harian antara 20°C hingga 30°C, yang mendekati tetapi sering kali melebihi batas kenyamanan termal manusia. Dengan kata lain, suhu ini berada di luar zona nyaman bagi manusia. Ketika suhu udara berkisar antara 27°C hingga 35°C, banyak orang lebih memilih beraktivitas di dalam ruangan. Hal ini disebabkan oleh produksi kalor dalam tubuh yang dapat memengaruhi organ-organ internal. Menurut Harso (2010), penduduk di wilayah beriklim tropis cenderung memiliki ritme aktivitas yang lebih lambat dibandingkan mereka yang tinggal di daerah dengan suhu lebih rendah. Di Indonesia, variasi suhu udara

lebih banyak dipengaruhi oleh ketinggian suatu wilayah dari permukaan laut, di mana perbedaan ketinggian ini akan menyebabkan variasi suhu udara yang dirasakan.

Suhu udara yang relatif tinggi, baik dalam kondisi panas maupun hangat, memberikan keuntungan bagi manusia yang tinggal di daerah tropis dengan ketinggian tertentu. Dari perspektif energi, penduduk di wilayah tropis tidak memerlukan perangkat pemanas ruangan, seperti yang dibutuhkan oleh mereka yang tinggal di kawasan sub-tropis yang mengalami musim dingin.

2.2.1 Lingkungan kerja

Lingkungan kerja mencakup segala aspek di sekitar pekerja yang dapat memengaruhi pelaksanaan tugas mereka. Lingkungan ini dirancang sedemikian rupa untuk menciptakan hubungan yang harmonis antara pekerja dan tempat mereka bekerja. Suatu lingkungan kerja dianggap baik apabila mampu mendukung kenyamanan dan produktivitas pekerja dalam menjalankan tugasnya. Sebaliknya, lingkungan yang kurang kondusif dapat berdampak negatif pada kinerja. Dengan demikian, lingkungan kerja dapat diartikan sebagai seluruh faktor di sekitar pekerja yang berpengaruh terhadap efektivitas mereka dalam menyelesaikan pekerjaan yang diberikan.

Menurut Siagan (2002), kinerja karyawan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti gaji, lingkungan kerja, budaya organisasi, kepemimpinan, motivasi, disiplin, kepuasan kerja, serta faktor lainnya. Salah satu aspek penting yang harus diperhatikan adalah lingkungan kerja. Sebagai tempat bernaung bagi karyawan, perusahaan atau organisasi bertanggung jawab untuk menciptakan lingkungan kerja yang nyaman dan kondusif guna meningkatkan produktivitas. Sedarmayanti (2001) mengemukakan bahwa lingkungan kerja dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu lingkungan kerja fisik dan non-fisik. Kedua aspek ini memiliki kontribusi yang signifikan terhadap kinerja serta kepuasan karyawan. Beberapa faktor yang dapat

berdampak negatif di lingkungan kerja, salah satunya adalah suhu dan kelembapan yang tidak terkendali.

Kondisi lingkungan kerja mencakup berbagai faktor, seperti suhu, kelembapan, getaran, kebisingan, dan aspek lainnya. Suhu yang ideal di tempat kerja untuk mendukung produktivitas tinggi berkisar antara 24°C hingga 27°C. Tingkat suhu yang berbeda dapat memberikan dampak yang beragam terhadap tubuh pekerja saat menjalankan tugasnya, yaitu : [15]

- ±49°C: Pada suhu ini, tubuh dapat bertahan selama kurang lebih 1 jam, namun suhu ini jauh melebihi batas kemampuan fisik dan mental manusia.
- ±30°C: Pada suhu ini, kemampuan mental dan respons mulai menurun, yang dapat menyebabkan kesalahan dalam pekerjaan serta menimbulkan kelelahan fisik.
- ±24°C : pada temperatur ini dapat dikatakan sebagai kondisi yang optimal
- ±10°C : pada temperatur ini perlakuan fisik yang ekstrem akan mulai muncul

Secara umum, temperatur yang membuat para pekerja dapat bekerja dengan optimal dan produktivitas tinggi yaitu pada tingkat 24°C hingga 27°C. [16] Namun, bukan berarti pekerja tidak dapat bekerja pada suhu di luar rentang tersebut. Tubuh manusia masih dapat mempertahankan keseimbangan dalam menghadapi perubahan suhu eksternal, asalkan suhu tidak melebihi 20% dalam kondisi panas dan 35% dalam kondisi dingin. Selain itu, faktor lain yang juga perlu diperhatikan adalah kelembapan.

Kelembapan merupakan jumlah uap air yang terkandung di dalam udara. Ketika udara terasa sangat panas dengan tingkat kelembapan yang tinggi, proses pelepasan panas dari tubuh menjadi terhambat, sehingga menyebabkan peningkatan detak jantung. Hal ini terjadi karena sistem peredaran darah bekerja lebih aktif untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Menurut Kemenkes No. 1405 Tahun 2002, tingkat kelembapan ideal untuk lingkungan industri berkisar antara 40% hingga 60%. Jika kelembapan

udara di tempat kerja melebihi 60%, disarankan untuk menggunakan *dehumidifier*, sedangkan jika berada di bawah 40%, diperlukan *humidifier* untuk meningkatkan kelembapan. Suhu yang optimal untuk bekerja berkisar antara 20°C hingga 24°C, sementara tingkat kelembapan yang memberikan kenyamanan bagi pekerja berada dalam rentang 45% hingga 75%. [17]

2.2.2 Karakteristik suhu di kabupaten Gresik

Kabupaten Gresik terletak secara astronomis antara 112° - 113° Bujur Timur dan 7° - 8° Lintang Selatan. Secara geografis, wilayah ini berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, dan Kota Surabaya di selatan, Kabupaten Lamongan di barat, serta Selat Madura di timur. Kabupaten ini memiliki luas wilayah sekitar 1.256 km² dan terbagi menjadi 18 kecamatan, 330 desa, serta 26 kelurahan. Secara umum, Kabupaten Gresik terdiri dari dua bagian utama, yaitu Gresik Daratan yang mencakup sebagian besar wilayah administratif, serta Pulau Bawean yang berada di perairan Laut Jawa. Dengan lokasi strategis dan aksesibilitas yang baik, Gresik berkembang sebagai salah satu pusat industri, perdagangan, serta sektor perikanan dan maritim di Jawa Timur [18].

Kabupaten Gresik memiliki potensi besar untuk berkembang pesat sebagai bagian dari wilayah Metropolitan Surabaya, didukung oleh letak strategisnya yang telah diakui dalam berbagai regulasi perencanaan tata ruang. Keberadaan Gresik sebagai pusat pertumbuhan di Jawa Timur tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN) serta Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 5 Tahun 2012 mengenai Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Timur 2011-2031. Berdasarkan kebijakan tersebut, kawasan perkotaan di Gresik ditetapkan sebagai salah satu pusat kegiatan utama di provinsi ini. Selain itu, Gresik juga menjadi bagian dari kawasan perkotaan *Gerbangkertosusila*, sebuah wilayah metropolitan yang meliputi Gresik, Bangkalan, Mojokerto, Surabaya, Sidoarjo, dan Lamongan. Dengan peran strategisnya dalam jaringan perkotaan tersebut, Gresik memiliki

peluang besar untuk terus berkembang sebagai pusat ekonomi, industri, dan perdagangan yang berkontribusi pada pertumbuhan wilayah Jawa Timur secara keseluruhan.

Kabupaten Gresik memiliki topografi yang bervariasi dengan ketinggian wilayah berkisar antara 0 hingga 500 meter di atas permukaan laut (dpl). Daerah dengan elevasi terendah umumnya berada di sekitar muara Sungai Bengawan Solo dan Kali Lamong, yang merupakan kawasan dataran rendah. Kondisi ini berpengaruh terhadap karakteristik hidrologi dan potensi banjir di beberapa wilayah, terutama saat terjadi peningkatan debit air sungai. Sementara itu, area dengan ketinggian lebih tinggi cenderung berada di bagian tengah dan selatan kabupaten, yang memiliki struktur tanah lebih berbukit dan berpotensi dimanfaatkan untuk sektor pertanian, perkebunan, serta pengembangan permukiman. Berikut adalah distribusi wilayah di Kabupaten Gresik berdasarkan ketinggiannya :

- a. Wilayah dengan ketinggian antara 0 hingga 10 meter di atas permukaan laut mencakup area seluas 92.843,00 hektar, yang merupakan sekitar 79,08% dari total luas Kabupaten Gresik.
- b. Wilayah yang terletak pada ketinggian antara 10 hingga 20 meter di atas permukaan laut mencakup area seluas 18.246,00 hektar, yang setara dengan sekitar 15,54% dari total luas Kabupaten Gresik.
- c. Wilayah yang terletak pada ketinggian lebih dari 20 mdpl mencakup area seluas 6.318,00 ha, yang setara dengan sekitar 5,38% dari total luas Kabupaten Gresik.

Kabupaten Gresik mempunyai iklim tropis dengan temperatur suhu rata-rata 28,5°C [18] dan kelembapan udara rata-rata 65% mm per-tahun. Iklim daerah Kabupaten Gresik dibedakan menjadi:

- a. Musim hujan yang berlangsung dari bulan Desember hingga Maret.
- b. Musim kemarau yang berlangsung antara bulan Juni hingga September.

- c. Peralihan dari musim kemarau ke musim penghujan biasanya terjadi pada bulan Oktober dan November.
- d. Peralihan dari musim hujan ke musim kemarau biasanya terjadi pada bulan April dan Mei.

2.3 Penjelasan uji *hardness*

Pada sekitar tahun 1900, Martens mengemukakan sebuah definisi mengenai pengujian kekerasan: "Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menahan indentasi oleh benda lain yang lebih keras." Definisi yang sederhana namun akurat ini telah diterima luas dalam dunia teknis dan tetap relevan hingga saat ini. Kekerasan teknis merujuk pada sifat mekanis yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik atau kondisi suatu material. Kekerasan itu sendiri tidak dapat diukur secara langsung, melainkan dihitung berdasarkan variabel-variabel terukur lainnya, seperti beban uji, kedalaman indentasi, dan luas area indentasi. Berdasarkan metode pengujian yang digunakan, nilai kekerasan dapat dihitung melalui salah satu cara berikut :

- Beban uji dan salah satu parameter geometris yang menggambarkan indentasi kekerasan, seperti kedalaman indentasi.
- Ciri indentasi hanya ditentukan melalui panjangnya.
- Berdasarkan respons material yang berbeda, contohnya ketahanan terhadap goresan.

Kekerasan (*Hardness*) merupakan salah satu sifat mekanik dari bahan. Penentuan kekerasan material sangat penting, terutama untuk bahan yang akan mengalami gesekan (gaya gesek) dan deformasi plastis dalam penggunaannya. Deformasi plastis terjadi ketika suatu material diberikan gaya sehingga struktur mikroskopisnya tidak dapat kembali ke bentuk semula, yang berarti material tersebut tidak dapat pulih ke keadaan asalnya. Secara singkat, kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan tekanan atau penetrasi dari beban yang diberikan.

Uji kekerasan digunakan untuk mengukur sejauh mana kekerasan suatu material, baik logam maupun non-logam, berdasarkan energi yang diberikan

oleh indenter pada material tersebut. Meskipun pengujian hanya dilakukan pada satu titik atau area tertentu, hasil pengukuran kekerasan sudah cukup representatif untuk menggambarkan kekuatan material tersebut. Melalui uji kekerasan, material fiberglass dapat diklasifikasikan sebagai material yang ulet atau getas, serta dapat dianalisis mikrostrukturnya melalui analisis metalurgi dan metode lainnya.

2.3.1 Metode *Hardness Test*

Berikut adalah beberapa metode yang dapat digunakan untuk menguji kekerasan, antara lain :

1. Metode Brinell Hardness
2. Metode Vickers Hardness
3. Metode Rockwell Hardness
4. Metode Rockwell Superficial Hardness
5. Metode Knoop Hardness
6. Metode Shore Scleroscope Hardness
7. Metode Sonodur Hardness
8. Metode Moh Hardness
9. Metode File Hardness

Dari keseluruhan sembilan metode uji kekerasan, hanya tiga metode yang secara umum sering di gunakan diantaranya yaitu::

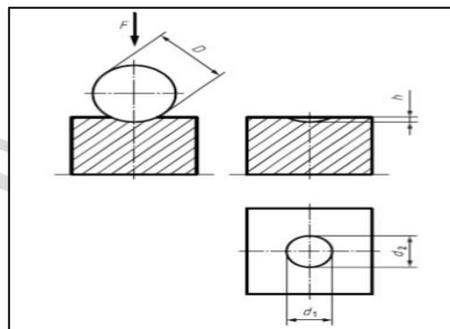
1. Metode Pengujian Brinell Hardness
2. Metode Pengujian Vickers Hardness
3. Metode Pengujian Rockwell Hardness

2.3.2 Metode Pengujian hardness Brinell

Uji kekerasan Brinell adalah metode pengujian yang dilakukan dengan menekan spesimen menggunakan indenter berbentuk bola, yang terbuat dari baja keras atau tungsten karbida. Jika material yang diuji memiliki tingkat kekerasan Brinell hingga 450 BHN, maka indenter yang digunakan biasanya berbahan baja.[20]

Indenter berbentuk bola dari tungsten karbida direkomendasikan untuk digunakan pada material dengan kekerasan Brinell antara 451 hingga 650 BHN. Pada umumnya, pengujian dilakukan dengan menggunakan bola baja berdiameter 10 milimeter atau bola tungsten karbida, dengan variasi beban yang disesuaikan berdasarkan jenis material, yaitu 3000 kilogram untuk logam keras, 1500 kilogram untuk logam dengan tingkat kekerasan menengah, dan 500 kilogram untuk material yang lebih lunak.

Indenter dengan diameter selain 10 mm, seperti 5 mm, 2,5 mm, atau 1 mm, juga dapat digunakan dalam uji kekerasan Brinell. Namun, apabila diameter indenter berbeda dari 10 mm, beban yang diberikan harus disesuaikan berdasarkan rumus $P/D^2 = P/D^2 = \text{konstan}$. Nilai konstanta ini bervariasi tergantung pada jenis material yang diuji, yaitu 30 untuk baja dan paduannya, 10 untuk tembaga dan paduannya, serta 5 untuk aluminium dan paduannya.



Gambar 2.5 prinsip uji Brinell

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Prinsip-Uji-Brinell.jpg>

Nilai Hardness Brinell (BHN/HBW/HBS) dapat dihitung sebagai :

$$HBW = \frac{2F_{kgf}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots [1]$$

F = gaya tekan (kgf)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter indentasi (mm)

HBW merujuk pada pengukuran kekerasan Brinell yang menggunakan indenter berbahan karbida tungsten. Jika indenter yang digunakan berupa bola baja, maka kekerasannya disebut HBS. Secara umum, jenis kekerasan ini juga sering dinyatakan dalam satuan BHN.

Nilai kekerasan Brinell harus dicantumkan dengan simbol HBW atau HBS. Jika diameter indenter dan beban yang digunakan tidak sesuai dengan standar, maka informasi mengenai kondisi pengujian harus disebutkan, termasuk diameter indenter, beban, serta durasi penerapan beban. Apabila waktu pembebanan melebihi sepuluh hingga lima belas detik, nilai kekerasan yang diperoleh harus ditulis menggunakan simbol HBW atau HBS. Contohnya:

- 220 HBW mengacu pada nilai kekerasan Brinell sebesar 220, menggunakan indenter berukuran 10 mm dengan beban 3000 kgf dan waktu penekanan antara 10 hingga 15 detik.
- 350 HBW 5/750 menunjukkan nilai kekerasan Brinell 350, menggunakan indenter berukuran 5 mm dengan beban 750 kgf dan waktu penekanan antara 10 hingga 15 detik.

- 00 HBW 1/30/20 berarti nilai kekerasan Brinell 600, menggunakan indenter berukuran 1 mm dengan beban 30 kgf dan waktu penekanan selama 20 detik.

Keterbatasan uji Brinell Antara lain:

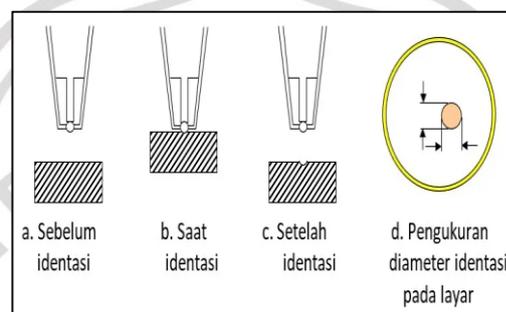
- Tidak efektif untuk mengukur material yang sangat keras, karena bola indenter dapat mengalami deformasi yang berlebihan.
- Kurang tepat untuk mengukur kekerasan pada spesimen yang tipis, karena indentasi yang terbentuk bisa lebih besar daripada ketebalan spesimen itu sendiri.
- Tidak cocok untuk material dengan permukaan yang diperkeras, karena indentasi dapat menembus lebih dalam dari kedalaman lapisan yang dikeraskan, sehingga hasil pengukuran menjadi tidak valid dan mencakup bagian dalam yang lebih lunak.

Prosedur Brinell Hardness Test :

Berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan saat melakukan pengujian kekerasan Brinell :

1. Spesimen yang akan diuji harus memenuhi ketentuan berikut: permukaannya rata dan halus, ketebalan minimal 6 mm, serta dapat menopang dengan stabil dan memiliki permukaan yang sejajar secara horizontal.
2. Untuk pengujian ini, indenter yang digunakan adalah bola baja yang telah dikeraskan. Namun, untuk material yang sangat keras (hingga 650 BHN), bola dari carbida tungsten digunakan. Jarak antara titik pengujian dan indenter minimal dua kali diameter tapak indentasi.

3. Perbandingan P/D^2 yang diharuskan adalah 30 untuk baja, 10 untuk tembaga dan paduannya, serta 5 untuk aluminium dan paduannya. Beban (P) dan diameter indenter (D) harus sesuai dengan perbandingan tersebut.
4. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan indenter pada permukaan spesimen selama 10 hingga 15 detik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 metode pengujian kekerasan Brinell

<https://www.detech.co.id/wpcontent/uploads/2020/06/Metode-Pengujian-Kekerasan-Brinell.jpg>

Kekerasan Brinell (Brinell Hardness Number) dihitung berdasarkan diameter indentasi, menggunakan persamaan berikut :

$$\text{BHN} : \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots [2]$$

Dimana :

P = Gaya tekan (kgf)

D = Diameter indenter bola baja (mm)

d = Diameter hasil indentasi (mm)

Karena pengukuran dilakukan secara manual, terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan dalam prosesnya. Kesalahan ini dapat terjadi saat memfokuskan objek di layar, menempatkan alat ukur pada objek, maupun dalam membaca hasil pengukuran.

2.3.3 Metode pengujian *hardness* Vickers

Prinsip dasar uji Vickers serupa dengan uji Brinell, namun memiliki perbedaan dalam jenis indenter yang digunakan. Pada uji Vickers, indenter yang digunakan adalah intan berbentuk piramida dengan alas bujur sangkar, di mana sudut puncak antara dua sisi berlawanan sebesar 136°. Pengukuran diagonal segi empat pada metode ini lebih akurat dibandingkan dengan pengukuran lingkaran pada uji Brinell. Keunggulan lain dari uji Vickers adalah kemampuannya untuk menguji spesimen yang sangat tipis, bahkan hingga ketebalan 0,006 inci. Hasil pengujian memiliki tingkat presisi tinggi, dengan nilai mencapai 1300, yang setara dengan nilai kekerasan Brinell sebesar 850. Berbeda dengan uji Brinell, indenter pada uji Vickers tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan. Beban yang digunakan dalam pengujian ini berkisar antara 1 hingga 120 kgf, dan variasi beban tidak memengaruhi hasil, sehingga nilai kekerasan tetap konsisten untuk material yang sama. Nilai kekerasan Vickers dapat dihitung menggunakan rumus tertentu :

$$HV = 2P \sin(\alpha/2) / d^2 = 1.8544P/d^2 \dots\dots\dots [3]$$

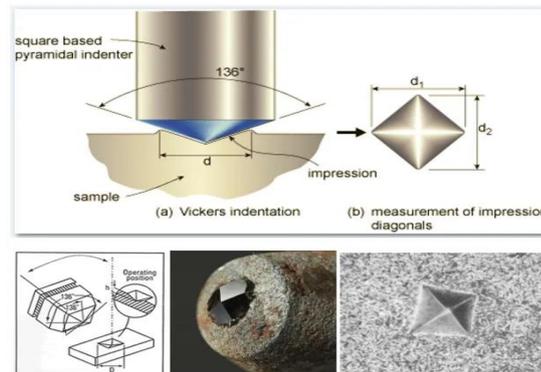
Dimana:

HV = Hardness Vickers

P = Beban (kgf)

α = sudut 2 sisi yang berhadapan pada indenter

d = diagonal indentasi rata-rata (mm).



Gambar 2.7 prinsip uji vickress

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Prinsip-uji-Vickers.jpg>

Nilai kekerasan Vickers harus ditulis dengan mencantumkan akhiran yang menunjukkan besar gaya yang diterapkan serta lamanya pembebanan, terutama jika waktu yang digunakan melebihi 10 –15 detik. Sebagai contoh penulisan nilai kekerasan Vickers:

- Nilai kekerasan 440 HV 30 menunjukkan hasil pengujian dengan beban 30 kgf selama 10 hingga 15 detik.
- Nilai kekerasan 40 HV 30/20 merujuk pada pengujian dengan beban 30 kgf selama 20 detik.

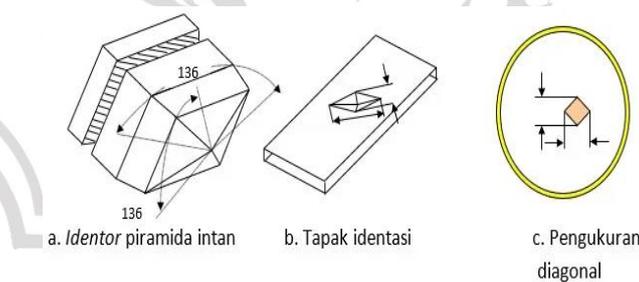
Prosedur Vickers *Hardness test*

Metode Vickers dalam pengukuran kekerasan pada dasarnya memiliki kesamaan dengan metode Brinell, namun perbedaan utamanya terletak pada jenis indenter yang digunakan. Jika uji Brinell menggunakan bola baja sebagai indenter, uji Vickers memanfaatkan indenter berbentuk piramida dengan alas bujur sangkar yang terbuat dari intan. Bentuk indenter ini memungkinkan pengukuran yang lebih presisi, terutama pada material dengan ketebalan yang sangat tipis. Selain itu, uji Vickers memiliki rentang beban yang lebih luas dan hasilnya tidak dipengaruhi oleh variasi beban

yang diterapkan. Dengan keunggulan ini, metode Vickers sering digunakan untuk mengukur kekerasan material dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode Brinell. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers adalah sebagai berikut:

- Spesimen yang digunakan dalam pengujian harus memenuhi beberapa syarat, yaitu memiliki permukaan yang rata dan halus serta dapat menopang dengan stabil pada bidang horizontal.
- Indentor yang digunakan dalam metode ini berbentuk piramida intan dengan alas bujur sangkar, dengan sudut puncak sebesar 136 derajat antara dua sisi yang berhadapan.
- Secara umum, berbagai jenis beban dapat digunakan dalam pengujian ini, namun untuk spesimen dengan ketebalan yang tipis, disarankan memilih beban yang lebih ringan agar hasilnya lebih akurat.
- Uji kekerasan dilakukan dengan menekan indentor ke permukaan spesimen dalam rentang waktu 10 hingga 15 detik.

Hasil Tapak Tekan Pengujian Vickers dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 hasil pengujian vickress

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Hasil-Tapak-Tekan-Pengujian-Vickers.jpg>

Seperti halnya uji kekerasan dengan metode Brinell, pengukuran yang dilakukan secara manual berisiko mengalami kesalahan. Kesalahan ini dapat terjadi saat memfokuskan objek pada layar, menempatkan alat ukur pada objek, maupun saat membaca hasil pengukuran.

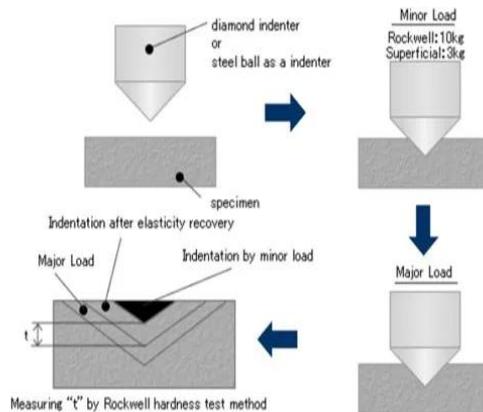
2.3.4 Metode pengujian kekerasan Rockwell

Metode uji kekerasan Rockwell memiliki perbedaan dengan metode Brinell dan Vickers. Dalam uji Rockwell, pengukuran tapak tekan tidak dilakukan secara manual, melainkan secara otomatis oleh mesin, yang langsung menampilkan nilai kekerasan material yang diuji. Hasil pengukuran tersebut dapat dibaca melalui dial indicator [21].

Tingkat kekerasan yang diukur memiliki hubungan terbalik dengan kedalaman indentasi. Pengujian dilakukan menggunakan bola baja yang diperkeras dengan diameter 1/16 inci dan 1/8 inci, serta kerucut intan bersudut 120 derajat yang dikenal sebagai brale. Proses pengujian diawali dengan penerapan beban ringan sebesar 10 kgf untuk memastikan indentor berada pada posisi yang tepat sebelum memberikan tekanan. Selain itu, skala tanda nol digunakan untuk mengatur dial agar posisinya akurat.

Tabel 1 menggambarkan pemberian beban utama (major) yang bervariasi sesuai dengan skala Rockwell yang diterapkan. Skala Rockwell A digunakan untuk mengukur kekerasan logam yang sangat keras, sedangkan skala Rockwell B diterapkan pada material dengan tingkat kekerasan sedang, dengan rentang nilai antara 0 hingga 100. Pengujian dengan nilai kekerasan melebihi 100 dianggap tidak sah, karena kemungkinan besar indentor telah terpengaruh atau rata.

Skala C pada Rockwell digunakan untuk mengukur kekerasan material yang memiliki tingkat kekerasan tinggi, yaitu di atas B100. Baja dengan tingkat kekerasan tertinggi mencapai nilai C70, dan skala C diterapkan pada material dengan kekerasan mulai dari C20 ke atas.



Gambar 2.9 prinsip uji rockwell

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/200/06/Prinsip-uji-Rockwell.jpg>

Skala Rockwell terdiri dari 100 bagian, di mana setiap satuan nilai kekerasan merepresentasikan kedalaman indentasi sebesar 0,002 mm. Sebagai contoh, selisih antara nilai B55 dan B60 menunjukkan perbedaan kedalaman indentasi sebesar 5 kali 0,002 mm, yaitu setara dengan 0,01 mm.



Gambar 2.10 Dial indikator pada mesin rockwell

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Dial-indikator-pada-mesin-rockwell.jpg>

Prosedur Rockwell Hardness Test

Tabel 2.1 Skala Rockwell

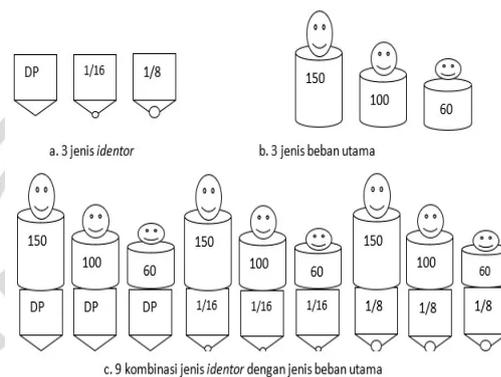
<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Skala-Rockwell.jpg>

Rockwell Hardness Scales				
Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100.
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Tidak seperti metode Brinell dan Vickers yang membutuhkan pengukuran manual, metode Rockwell memungkinkan pengukuran kekerasan dilakukan secara langsung dengan membaca nilai pada skala yang terdapat di mesin. Dengan metode ini, nilai kekerasan spesimen dapat segera diketahui tanpa memerlukan perhitungan tambahan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penerapan metode pengujian kekerasan Rockwell adalah :

1. Persyaratan untuk spesimen adalah sebagai berikut: permukaannya harus rata, halus, dapat diandalkan, serta berada dalam posisi horizontal.

2. Pemilihan metode Rockwell untuk pengukuran pada berbagai skala tergantung pada kombinasi jenis indentor dan beban utama yang digunakan. Terdapat sembilan kombinasi yang terdiri dari tiga jenis indentor dan tiga jenis beban utama, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Jenis Indentor dan jenis beban utama pada metode Rockwell.

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Jenis-Indentor-dan-jenis-beban-utama-pada-metode-Rockwell.jpg>

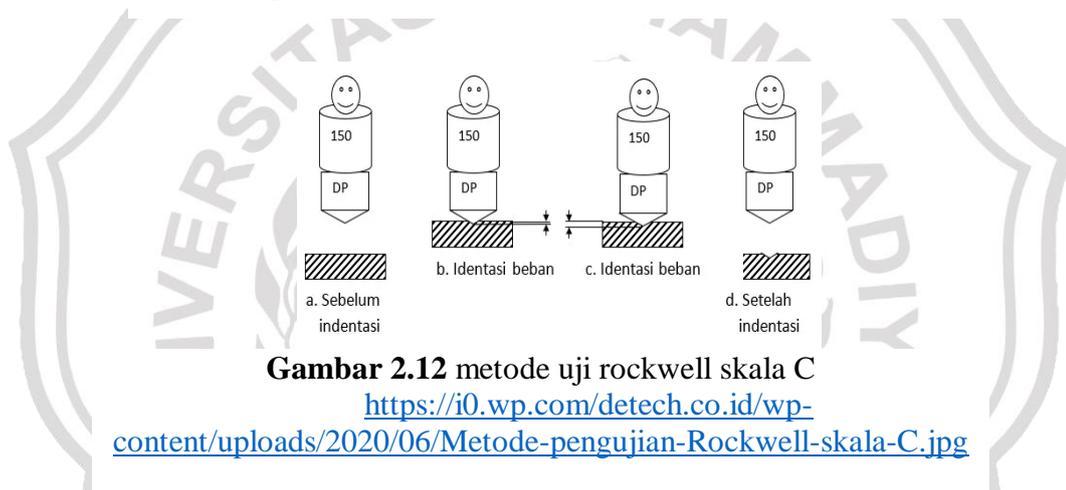
Tabel 2.2 Jenis – Jenis Skala Pada Pengujian Kekerasan Rockwell

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wpcontent/uploads/2020/06/Skala-Beban-Pengujian-Rockwell.jpg>

Skala Rockwell	Indentor	Beban (kg)	Satuan
C	Kerucut Intan (DP)	150	R _C
D	Kerucut Intan (DP)	100	R _D
A	Kerucut Intan (DP)	60	R _A
G	bola 1/16 “	150	R _G
B	bola 1/16 “	100	R _B
F	bola 1/16 “	60	R _F
K	bola 1/8“	150	R _K
E	bola 1/8“	100	R _E
H	bola 1/8“	60	R _H

Metode ini digunakan pada awalnya dengan mengidentifikasi spesimen dengan beban minor 10 kg. Kemudian, selama 20 detik, spesimen diberi beban utama seperti 60 kg, 100 kg, atau 150 kg.

1. Kekerasan spesimen akan diukur dengan jarum skala setelah dibebaskan dari kedua beban.
2. Nilai kekerasan dapat dituliskan seperti pada contoh berikut: 73 Rc, di mana angka 73 menunjukkan tingkat kekerasannya, dan Rc merujuk pada skala yang diterapkan. Metode pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 metode uji rockwell skala C

<https://i0.wp.com/detech.co.id/wp-content/uploads/2020/06/Metode-pengujian-Rockwell-skala-C.jpg>

Sebagai ilustrasi, skala Rockwell A digunakan untuk mengukur kekerasan logam yang sangat keras, skala Rockwell C untuk logam keras, dan skala Rockwell B untuk logam pada umumnya. Pengujian dapat menghasilkan hasil yang kurang akurat jika kombinasi indentor dan beban yang digunakan tidak sesuai dengan jenis material yang diuji.