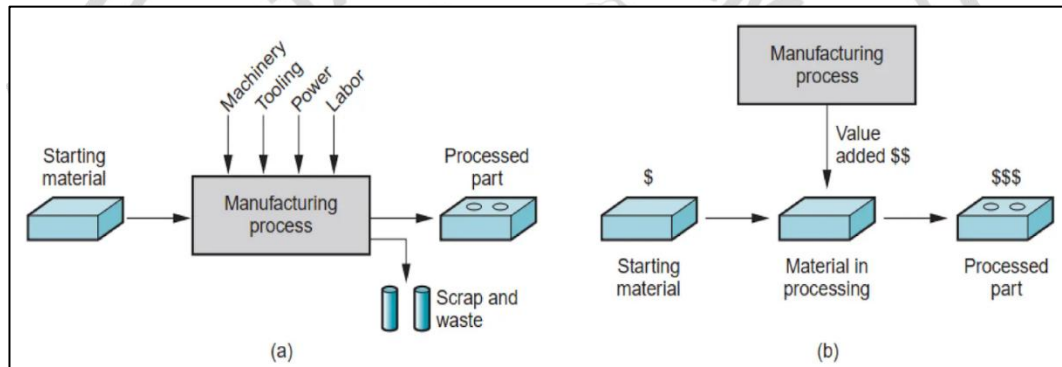


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Proses Manufaktur

Asal kata *manufacture* yakni dari dua kata Latin, *manus* (tangan) dan *factus* (membuat), gabungan dari dua kata tersebut berarti buatan tangan. Manufaktur dapat didefinisikan dari dua sisi yaitu teknologi dan ekonomi seperti pada Gambar 2.1. Dari sisi teknologi, manufaktur merupakan aplikasi dari proses fisika dan kimia untuk mengubah geometri, sifat, dan tampilan awal menjadi komponen atau produk. Dari sisi ekonomi, manufaktur adalah perubahan material menjadi barang-barang yang bernilai lebih tinggi melalui satu atau lebih proses perakitan (Budiyanto Eko & Yuono Dwi Lukito, 2021).



Gambar 2.1 Definisi manufaktur, (a) Secara Teknologi, (b) Secara ekonomi
(Budiyanto Eko & Yuono Dwi Lukito, 2021)

Proses manufaktur yakni rangkaian kegiatan yang terstruktur dan dirancang untuk menghasilkan produk atau barang dengan kualitas yang diharapkan, dalam jumlah yang cukup, serta efisiensi biaya yang optimal. Dalam proses ini, berbagai teknologi, mesin, peralatan, bahan baku, dan tenaga kerja digunakan untuk mengolah bahan mentah menjadi produk. Melalui tahapan seperti perancangan, pengolahan, pengerjaan, perakitan, dan pengujian. Tujuan utama dari proses manufaktur adalah menciptakan produk berkualitas tinggi dengan biaya yang efisien dan waktu produksi yang sesuai dengan kebutuhan konsumen. (Oleh & Kurniawan Arief, 2017).

Proses manufaktur dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan cara pembuatan atau teknik yang digunakan. Jenis proses manufaktur yang umum digunakan antara lain:

1. Proses pembentukan, adalah metode untuk membentuk material mentah menjadi bentuk yang diinginkan. Contoh dari proses ini meliputi pengecoran logam, pembentukan lembaran logam, serta proses cetakan plastik (plastic molding).
2. Proses pemotongan, Proses ini melibatkan pemotongan material mentah menjadi bentuk yang diinginkan. Contohnya adalah proses pemotongan logam dengan laser atau pemotongan kain dengan pisau atau gunting.
3. Proses penyambungan, adalah metode untuk menggabungkan dua atau lebih material mentah untuk membentuk produk akhir. Contohnya meliputi proses las, pengelasan, dan perekatan dengan lem.
4. Proses penyelesaian, adalah tahap akhir dalam manufaktur bertujuan untuk meningkatkan kualitas serta estetika produk akhir. Contohnya termasuk pengecatan, pengamplasan, dan perbaikan produk.
5. Proses pembentukan ulang, adalah tahap dalam manufaktur yang dilakukan untuk mengubah bentuk atau meningkatkan kualitas produk yang telah jadi. Contohnya meliputi perataan permukaan, penggilingan, dan pengeboran ulang.
6. Proses penghilangan material adalah metode yang digunakan untuk mengurangi bagian dari material untuk membentuk produk akhir. Contohnya termasuk penggilingan logam dan pengeboran.
7. Proses pembuatan ulang, adalah metode yang melibatkan pengambilan produk yang sudah tidak digunakan, memperbaikinya, dan menjadikannya layak untuk dipasarkan kembali. Contohnya termasuk daur ulang mobil dan perangkat elektronik.

2.1.1. Mesin CNC Router

Mesin CNC merupakan mesin yang dikendalikan oleh komputer menggunakan bahasa numerik, yaitu perintah dalam bentuk kode angka, huruf, dan simbol sesuai dengan standar ISO. Sistem kerja teknologi CNC memungkinkan sinkronisasi yang lebih baik antara komputer dan mekanisme mesin, sehingga dibandingkan dengan mesin perkakas sejenis, mesin CNC memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi, akurasi yang lebih baik, serta fleksibilitas yang lebih optimal untuk produksi massal (Andy Bagus Muhamad AJi, 2022). Mesin CNC memiliki dua atau lebih arah pergerakan alat potong yang disebut sumbu atau axis. Pergerakan pada sumbu ini dapat berupa gerakan *linier*, yaitu dalam garis lurus, atau gerakan melingkar (*circular*), yang mengikuti lintasan berbentuk lingkaran. Biasanya, sumbu yang digunakan untuk gerakan *linier* terdiri dari X, Y, dan Z, sedangkan untuk gerakan melingkar, sumbu yang digunakan adalah A, B, dan C. (Nugroho & Sujadi, 2019).

Mesin CNC *router* adalah mesin yang dirancang untuk memotong lembaran bahan seperti plywood atau plastik seperti pada Gambar 2.2. Bahan lembaran yang digunakan pada mesin *router* umumnya lebih lembut dan pemotongannya tidak terlalu agresif, sehingga kecepatan lebih diutamakan daripada kekakuan (Ford, 2016).



Gambar 2.2 CNC router (Ford, 2016)

2.1.2. Spesifikasi Mesin CNC Router

Mesin CNC *router* atlas TLD 56-1325 adalah mesin potong dan grafir berbasis komputer otomatis yang bisa menjalankan proses pengerjaan *cutting* dan *engraving* secara otomatis. Mesin CNC Router atlas TLD 56-1325 sangat berguna untuk pekerjaan memotong dan mengukir bahan material seperti kayu solid, multiplek, PVC board, ACP (*aluminium composite panel*), MDF, HMR, dan akrilik. Mesin *router* atlas TLD 56-1325 mampu membuat ukir / relief 3 dimensi karena memiliki motor penggerak 3 Axis (X,Y,Z) sehingga bisa memahat material dengan variasi kedalaman sesuai dengan program dan menghasilkan hasil kerja yang sempurna dan bagus. Kelebihan mesin CNC *router* atlas TLD 56-1325 adalah memiliki body yang sangat kokoh sehingga membuat minim getaran dalam proses pengerjaannya, sehingga menghasilkan pekerjaan yang detail, rapi, cepat, dan juga presisi (deprintz, 2024).

Tabel 2.1 Spesifikasi mesin CNC *router* atlas TLD 56-1325

Type	CNC <i>router</i> atlas TLD 56-1325
Brand	Atlas
X Y axis motion	1300mm x 2500mm
Z axis control motor	200mm
Spindle power	3kw
Driving mode	Stepper motor drive
Controller system	DSP NK105
Voltage	AC220V/50-60Hz
Spindle speed	0-24000 r/min
Guide	Taiwan HIWIN/PMI
Machine body	Quenching heat treatment, precision machining of CNC machine tools
Dimensi mesin	3300x2250x1900mm

Mesin ini memiliki dimensi keseluruhan 3300mm × 2250mm × 1900mm, dengan area kerja pada sumbu X dan Y sebesar 1300mm x 2500mm dan rentang gerakan sumbu Z hingga 200mm yang memungkinkan pengerjaan material dengan dimensi besar. Dilengkapi dengan *spindle* berkekuatan 3kW yang mampu berputar hingga 24.000 rpm dan sistem penggerak mesin menggunakan *stepper motor drive* yang memberikan akurasi dan stabilitas tinggi, sementara sistem kontrol menggunakan DSP NK105 yang memudahkan pengoperasian. Mesin ini beroperasi pada tegangan AC220V dengan frekuensi 50-60Hz dan komponen penuntun gerak menggunakan pedoman Taiwan HIWIN/PMI *guide*, seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.1.

2.1.3. G-code

G-code adalah bahasa yang dipahami oleh cnc untuk menggerakkan sumbunya dan melakukan operasi. G-code dikembangkan dan digunakan pertama kali dengan pita kertas berlubang asli. Unit dasar program ini disebut 'blok', yang terlihat dalam bentuk cetak sebagai 'baris' teks. Setiap blok berisi satu atau lebih 'kata', yang terdiri dari huruf, yang menjelaskan pengaturan yang harus dilakukan, atau fungsi yang harus dilakukan, diikuti oleh bidang numerik, yang menyediakan nilai untuk fungsi tersebut. Berbagai kata dapat digabungkan untuk menentukan gerakan multi-sumbu, atau melakukan fungsi khusus (Albert, 2010).

```
% TOOL CHANGE T309 1/2 in fin/dwn/cut POCKET iOP: 3
M5 (PRE-TOOLCHANGE STOP)
S18000 (SPINDLE SPEED)
T309 M3
G00 X-.475 Y-33.215 (RAPID X Y)
G00 Z.5
M31 (CHECK UP 2 SPEED)
G00 Z.1
G01 Z-.5 F75.
G01 X-.51 Y-30.14 F380.
G01 X-.475 Y-30.34
G01 Y-33.215
G01 X-.21 Y-33.54
G01 X-.74
G01 Y-29.9389
G03 X-.8162 Y-29.7551 I-.26 J0.
G02 X-.7949 Y-29.7338 I.0106 J.0106
G03 X-.6111 Y-29.81 I.1838 J.1838
G01 X-.21
G01 Y-33.54
G00 Z.5
G00 X-.983 Y-31.9989
```

Gambar 2.3 Contoh blok G-code (Albert, 2010)

Pada Gambar 2.3 menunjukkan contoh bentuk blok *G-code* dimana deskriptor yang didahului oleh tanda persen (%) atau dibatasi oleh tanda kurung adalah teks atau komentar yang diabaikan oleh mesin. Tujuan utamanya adalah untuk menambahkan komentar dan kejelasan pada kode.

G-code dapat dimasukkan secara manual menggunakan editor teks, tetapi saat ini biasanya diproduksi oleh post-processor langsung dari perangkat lunak CAM.

2.1.4. Software CorelDraw

CorelDraw adalah perangkat lunak pengolah grafis berbasis vektor atau garis. Objek yang dihasilkan berupa kombinasi beberapa garis, baik berupa garis lurus maupun lengkung, selain itu CorelDraw juga memiliki fitur *setting* dan *layout* untuk bermacam-macam produk. CorelDraw memungkinkan pengguna untuk melakukan hal-hal seperti menambahkan efek khusus, seperti bingkai ke gambar, memungkinkan penyesuaian kontras, penyeimbangan warna, dan lainnya. Pengguna CorelDraw saat ini dapat memilih dari beberapa versi sesuai dengan kebutuhan pengguna (A Andrew, 2021).

2.1.5. Software Artcam Pro

Perangkat lunak yang terintegrasi dengan peralatan teknik telah dikembangkan secara mendetail dalam bentuk CAD (*Computer-Aided Design*) dan CAM (*Computer-Aided Manufacturing*), salah satunya adalah *software ArtCAM Pro*. *ArtCAM Pro* dapat menghasilkan file NC (*Numeric Control*), yang dapat langsung digunakan pada mesin CNC. File NC ini bisa berupa *model* kompleks atau permukaan yang berkaitan dengan kontur dasar. Untuk desain CAD dua dimensi, dapat menggunakan *software* CorelDRAW karena kemampuannya dalam membuat desain 2D dengan presisi tinggi. Sementara itu, *ArtCAM Pro* berfungsi untuk membentuk *model* 3D sekaligus menyediakan fasilitas pembuatan jalur pemotongan (*toolpath cutting*) (Wismarini, 2005).

Toolpath dalam *ArtCAM Pro* dapat disimulasikan dalam bentuk proses pemotongan (*cutting*), sehingga kesalahan atau cacat yang terjadi selama proses dapat terdeteksi lebih awal. Dengan demikian, objek yang mengalami cacat dapat diedit sebelum dikirim ke mesin CNC. Proses perbaikan pada objek yang cacat harus dimulai dari desain awal dalam format 2D menggunakan *software*

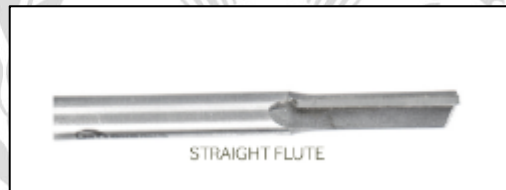
CorelDRAW, sedangkan untuk desain 3D serta pembuatan jalur pemotongan (*toolpath cutting*) dilakukan melalui *software ArtCAM Pro*.

2.1.6. Mata Router End Mill

Mata *router end mill* adalah jenis *cutting tools* yang digunakan dalam pemesinan CNC. *End mill* memiliki ujung silinder dengan potongan gigi yang terletak di sekelilingnya. Desain gigi yang bervariasi memungkinkan *end mill* untuk melakukan pemotongan dengan presisi tinggi, baik itu untuk membuat lubang, alur, atau tepi pada berbagai jenis material seperti logam, plastik, dan kayu. *End mills* biasanya terbuat dari *high-speed steel* (HSS) atau *carbida* (Taufik Rohman & Abizar, 2023).

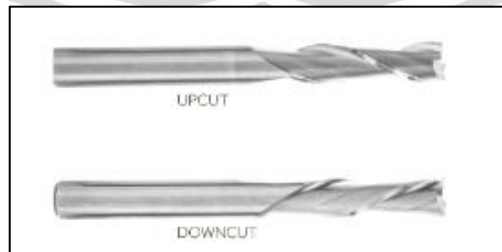
A. Jenis-jenis Mata Router End Mill

1. *Straight flute* adalah mata *router* lurus yang memiliki ujung *helix* nol derajat seperti pada Gambar 2.4. Mata *router* ini digunakan untuk memotong material seperti kayu, plastik, dan komposit.



Gambar 2.4 Mata *router straight flute* (Ford, 2016)

2. Spiral *upcut* dan *downcut* adalah mata *router* yang menghasilkan tepian yang bersih dari hasil pemotongan. Mata *router* spiral *upcut* menarik serpihan ke atas, sedangkan mata potong *downcut* mendorong serpihan ke bawah seperti pada Gambar 2.5. Mata *router* ini biasanya digunakan untuk memotong kayu keras, kayu lunak, dan triplek.



Gambar 2.5 Mata *router spiral upcut* dan *downcut* (Ford, 2016)

3. *Ballnose* adalah mata *router* yang memiliki ujung membulat seperti pada Gambar 2.6, tidak seperti *straight end mill* . Mata *router ballnose* ini cocok untuk membuat bentuk 3D atau kontur.



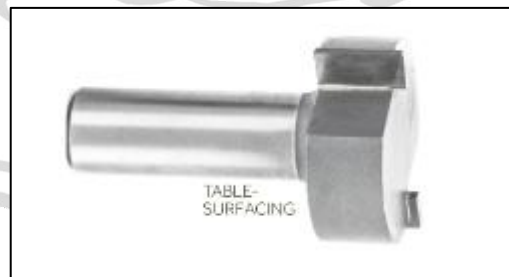
Gambar 2.6 Mata *router ballnose* (Ford, 2016)

4. *V-Bit* adalah mata *router* yang umumnya digunakan untuk membuat tanda atau aplikasi huruf yang terperinci yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Mata *router* ini tersedia dalam berbagai macam ukuran dan sudut, sudut yang paling umum digunakan adalah 90, 60, dan 30 derajat.



Gambar 2.7 Mata *router V-bit* (Ford, 2016)

5. *Table surfacing* adalah mata *router* yang digunakan untuk meratakan permukaan seperti kayu, resin epoxy, dan polyester. Mata *router* ini biasanya memiliki mata potong yang lebar dengan beberapa bilah tajam di sisi bawah dan samping seperti pada Gambar 2.8.

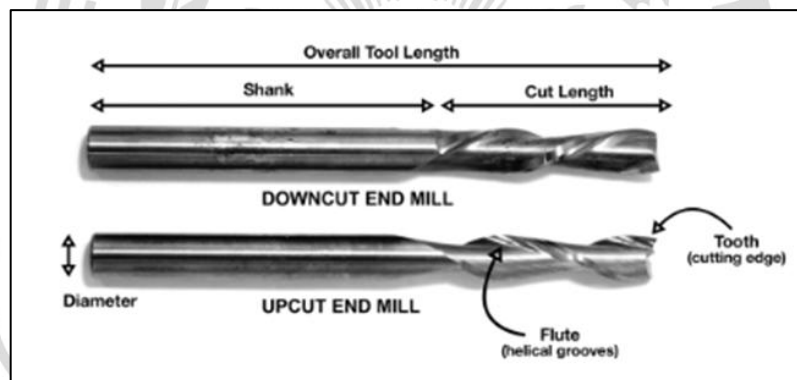


Gambar 2.8 Mata *router table surfacing* (Ford, 2016)

B. Bagian-bagian Mata Router End Mill

Mata router end mill terdiri dari beberapa bagian utama seperti pada Gambar 2.9, yang masing-masing memiliki fungsi penting untuk memastikan efektivitas dan akurasi selama proses pemesinan. Berikut penjelasan tentang bagian-bagian yang ada pada end mill:

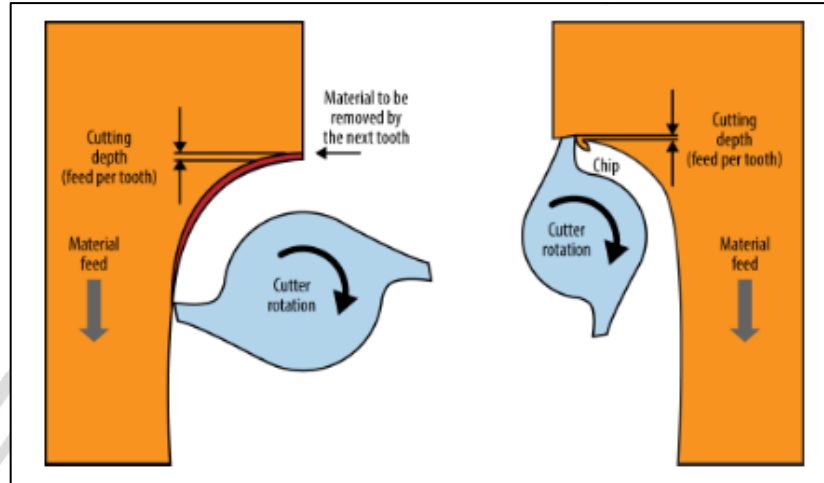
1. *Overall length*: jarak antara satu ujung mata router end mill ke ujung lainnya.
2. *Shank diameter*: diameter bagian mata router end mill yang masuk ke dalam *collet* dan tidak melakukan pemotongan.
3. *Cutting edge diameter*: diameter ujung pemotong mata router end mill
4. *Cutting length*: panjang pemotongan mata router end mill yang menentukan seberapa dalam lintasan yang dapat diambil.
5. *Flutes*: alur yang melingkari mata router end mill. Setiap alur memiliki satu gigi pemotong yang membentang di sepanjang tepi alur, dari bawah ke atas.



Gambar 2.9 Bagian-bagian mata router (Ford, 2016)

2.1.7. Jenis Pemotongan

Dalam proses pemotongan menggunakan mesin CNC *router* ada dua metode pemotongan yang umum digunakan yaitu pemotongan menanjak (*climb cut*) dan pemotongan konvensional (*conventional cut*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Climb cut* (kanan) dan *conventional cut* (kiri) (Ford, 2016)

1. Pemotongan menanjak (*climb cut*)

Dalam metode pemotongan ini, arah pemotongan dan arah rotasi alat pemotong adalah sama, keduanya bekerja sama untuk mengalihkan serpihan ke atas dan ke bawah menjauh dari benda kerja untuk menghasilkan hasil akhir yang lebih baik (Nick Ysidron, 2023).

2. Pemotongan konvensional (*conventional cut*)

Dalam metode pemotongan konvensional, putaran mata *router* berlawanan dengan arah pemotongan. Metode ini sering digunakan untuk menghasilkan potongan yang lebih stabil dan dapat mengurangi risiko kerusakan pada material yang sedang diproses. Namun, pemotongan konvensional cenderung menghasilkan kualitas permukaan yang lebih rendah pada beberapa jenis kayu, terutama pada bagian ujung serat, dibandingkan dengan teknik lain seperti *climb cut* (Philip Henry Mitchell & Richard L. Lemaster, 2002).

2.1.8. Parameter Pemotongan

Parameter pemotongan pada CNC router merupakan suatu hal penting dalam manufaktur yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan efektifitas biaya operasi pemesinan CNC router. Dengan mengoptimalkan parameter pemesinan, produsen dapat memperoleh hasil yang lebih baik, meminimalkan keausan pahat, dan meningkatkan permukaan akhir dari hasil pemotongan (Soori et al., 2024).

a. Feed rate, (V_f)

Feed rate adalah laju umpan per menit yang dapat dihitung dari *feed per tooth*, jumlah gigi, dan *spindle speed* (Keyence.com, 2024). Untuk menghitung *feed rate* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$V_f = f_z \times z \times n \quad (1)$$

Dimana:

f_z = *feed per tooth* (mm/min).

z = *number of teeth*.

n = *spindle speed* (min⁻¹).

b. Cutting speed (V_c)

Cutting speed V_c adalah kecepatan alat pemotong bergerak melintasi permukaan benda kerja, diukur dalam meter per menit (m/min) (Radmot, 2024). *Cutting speed* ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (2)$$

Dimana:

d = diameter alat atau benda kerja (mm)

n = *spindle speed* (RPM)

V_c = *cutting speed* (m/menit)

c. *Spindle speed* (n)

Spindle speed secara umum mengacu pada kecepatan dimana pahat atau benda kerja berputar dengan spindel perkakas mesin (Gu et al., 2023). Untuk menghitung *spindle speed* bisa menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \quad (3)$$

Dimana:

n = *spindle speed* (rpm)

V_c = *cutting speed* (m/menit)

d = diameter pisau (mm)

d. *Feed per tooth* (f_z)

Feed per tooth adalah jumlah material yang dikeluarkan setiap gigi pemotong saat mulai bekerja, setiap gigi pemotong maju ke dalam pekerjaan dengan jumlah yang sama sehingga menghasilkan serpihan dengan ketebalan yang sama (LamNgeun Virasak, 2024). Untuk menghitung *feed per tooth* bisa menggunakan persamaan berikut:

$$f_z = \frac{V_f}{z \times n} \quad (4)$$

Dimana:

f_z = *feed per tooth* (mm).

V_f = *feed rate* (mm/menit).

z = *number of teeth*.

n = *spindle speed* (min^{-1}).

e. *Metal removal rate (MRR)*

Metal removal rate (MRR) adalah volume material yang dipindahkan per satuan waktu selama operasi pemrosesan seperti penggilingan, pembubutan, pengeboran, dan pembuatan alur. Laju ini dilambangkan dengan huruf Q dan diukur dalam inci kubik per menit atau sentimeter kubik per menit (FM Carbide, 2021). Untuk menghitung *metal removal rate (MRR)* bisa menggunakan persamaan berikut:

$$MRR = \underbrace{A_p \times A_e}_{\text{Chip Area}} \times \underbrace{V_f}_{\text{perpendicular Speed}} \times \underbrace{K}_{\text{Unit Constant}} \quad (5)$$

A_p = kedalaman pemotongan aksial dalam mm atau inci.

A_e = kedalaman pemotongan radial dalam mm atau inci.

V_f = umpan meja dalam mm atau inci.

MRR = *metal removal rate* dalam mm atau inci

Untuk menghitung *metal removal rate (MRR)* pada aplikasi *milling* bisa menggunakan persamaan berikut:

$$MRR \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right] = \frac{A_p \times A_e \times V_f}{1000} \quad (6)$$

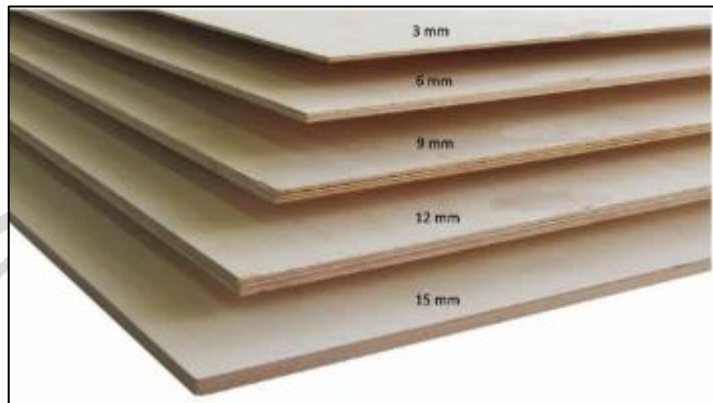
Dalam satuan metrik, A_p dan A_e dalam mm, sedangkan V_f dalam meter. Oleh karena itu, $K=0,001$ untuk mendapatkan hasil akhir dalam cm^3 .

$$MRR \left[\frac{\text{Inch}^3}{\text{min}} \right] = A_p \times A_e \times V_f \quad (7)$$

Dalam satuan imperial, semua parameter dalam inci, oleh karena itu $K=1$ untuk mendapatkan hasil akhir dalam inci^3 .

2.2. Multiplek

Kayu lapis atau biasa disebut multipleks merupakan produk komposit yang terbuat dari lembaran-lembaran vinir yang direkatkan dengan susunan bersilang tegak lurus. Multipleks termasuk ke dalam salah satu jenis panel struktural, dimana arah penggunaan multipleks ini adalah untuk panel-panel struktural (Apri Heri Iswanto, 2008).



Gambar 2.11 Multiplek (Januwardi, 2019)

Penggunaan kayu yang diolah menjadi multipleks memberikan berbagai manfaat, seperti dimensi yang lebih besar, stabilitas yang lebih baik dibandingkan papan biasa, ketahanan yang lebih tinggi terhadap kelembaban dibandingkan kayu alami, serta dapat diproduksi dalam berbagai ketebalan. Selain itu, multipleks juga memiliki berbagai keunggulan lainnya (Supriadi et al., 2020). Di Indonesia standar ukuran multiplek per lembar adalah $2440\text{mm} \times 1120\text{mm}$, dengan variasi ketebalan mulai dari 3mm, 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, sampai 32mm, seperti pada Gambar 2.11.

Vinir adalah lembaran kayu tipis dari 0,24 mm sampai 0,6 mm yang diperoleh dari pengupasan dolok kayu jenis-jenis tertentu dengan ketebalan sama dan lebih kecil dari 6mm. Penggunaan vinir tidak hanya untuk pembuatan *plywood*. Namun, vinir juga bisa digunakan untuk pembuatan papan lamina (*laminated wood*), papan balok (*block board*), korek api, dan tusuk gigi (Mohd Afiq Aizat, 2021).

2.2.1. Manufaktur Multipleks

Pada proses manufaktur pembuatan multipleks melibatkan beberapa tahapan utama untuk menghasilkan multipleks yang berkualitas tinggi dan sesuai spesifikasinya (Donnison, 2015). Berikut beberapa tahapan manufaktur pembuatan multipleks:

1. Pengupasan kulit kayu

Sebelum kayu gelondongan dipotong dan dikupas, kulit kayunya harus dibuang. Pabrik menggunakan mesin *rotary* untuk mengupas kulit kayu gelondongan saat kayu gelondongan tersebut terus bergerak di sepanjang jalur produksi.

2. Pemotongan kayu log

Kayu gelondongan yang sudah dikupas kemudian dipotong sesuai ukuran. Ukuran kayu gelondongan yang dipotong biasanya bergantung pada produksi pada saat pemotongan. Ukuran panel jadi dan arah serat kayu berperan dalam pemotongan kayu gelondongan.

3. Pengupasan kayu log

Kayu gelondongan dikupas menggunakan mesin bubut putar. Mesin ini mengupas kayu gelondongan dengan cara yang mirip dengan rautan pensil, kecuali bilahnya sejajar dengan kayu gelondongan saat dipotong.

4. Ukuran dan pemeringkatan

Vinir perlu dipotong sesuai ukuran dan melalui proses pemilahan awal. Pemilahan sangat penting dalam hal pembuatan multipleks sehingga sebagian besar pabrik menggunakan teknologi pemindaian untuk memeriksa cacat pada vinir, memotong sesuai ukuran yang dibutuhkan, lalu memisahkan vinir bagian depan yang potensial dari vinir inti.

5. Mengeringkan vinir

Pada proses ini vinir harus dikeringkan karena berbagai alasan, mulai dari melindungi kayu dari pembusukan akibat jamur hingga meningkatkan sifat mekanis papan yang sudah jadi. Sebagian besar pabrik menggunakan pengering industri yang besar, yang sering kali terhubung ke pengupas kayu gelondongan melalui sabuk konveyor, namun metode yang lebih hemat juga dapat digunakan dengan cara

membiarkan lapisan kayu gelondongan di tempat terbuka hingga kering sepanjang hari.

6. Pengaplikasian lem dan lay-up

Pada proses ini vinir dijalankan melalui mesin perekat yang pada dasarnya menggulung lem ke bagian depan dan belakang vinir. Vinir kemudian diletakkan di atas vinir yang belum direkatkan sehingga susunannya bergantian. Direkatkan, tidak direkatkan, direkatkan, tidak direkatkan, dan seterusnya.

7. Penekanan dingin

Pengepresan dingin dilakukan setelah lem dioleskan untuk menyiapkan vinir untuk pengepresan panas. Ini berfungsi untuk meratakan vinir dan memastikan lem didistribusikan secara merata ke seluruh vinir.

8. Penekanan panas

Proses ini menciptakan dan mempertahankan kontak yang diperlukan antara lem dan pelapis. Hal ini juga mengurangi ketegangan pada garis lem dan ketebalan lapisan lem.

9. Finishing

Setelah melewati penekanan panas, multipleks dibiarkan stabil dan dingin sebelum diproses lebih lanjut. Kemudian, kelebihan vinir dipangkas sehingga multipleks memiliki tepi persegi, kemudian multipleks biasanya diampelas menggunakan sander industri besar.

10. Quality control

Produk akhir harus dinilai kualitasnya, tetapi tidak akan efisien jika hanya menunggu hingga akhir proses untuk menemukan masalah besar dalam produksi. Pada proses ini multipleks melewati beberapa pengujian seperti pengujian kelembapan, daya tahan, dll.

11. Pengemasan

Produk yang sudah jadi kemudian ditumpuk, diikat dan siap untuk dipasarkan.

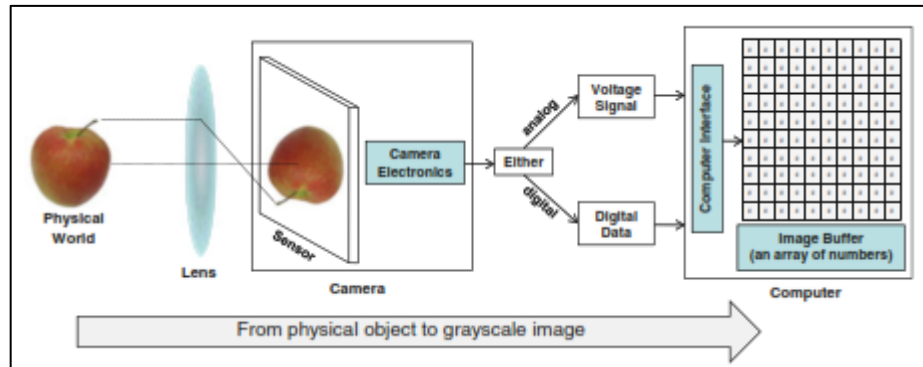
2.2.2. Variasi Ketebalan Multiplek

Ketebalan multipleks tersedia dalam berbagai ukuran, mulai dari 0,8 mm hingga 25 mm atau lebih, tergantung pada kebutuhan spesifik industri dan aplikasi. Multipleks standar buatan Indonesia berukuran 2440 mm × 1220 mm dengan ketebalan 3 mm-32 mm. Multipleks ukuran standar seringkali dibedakan hanya dari ketebalan nya saja (Januwardi, 2019). Berikut beberapa ukuran tripleks buatan Indonesia:

- Triplek 3 mm, berukuran 2440 mm x 1220 mm x 3 mm.
- Triplek 6 mm, berukuran 2440 mm x 1220 mm x 6 mm.
- Triplek 9 mm, berukuran 2440 mm x 1220 mm x 9 mm.
- Triplek 12 mm, berukuran 2440 mm x 1220 mm x 12 mm.
- Triplek 15 mm, berukuran 2440 mm x 1220 mm x 15 mm.
- Triplek 18 mm, berukuran 2440 mm x 1220 mm x 18 mm.

2.3. Image Analisis

Image analisis berkaitan dengan ekstraksi informasi dari gambar, yaitu menghasilkan data dari gambar itu *sendiri*. *Image* analisis didasarkan pada hasil pengolahan gambar dan menyediakan dasar untuk pemahaman gambar (Yu-Jin Zhang, 2017). Tugas analisis citra dapat berkisar dari yang sederhana, seperti membaca tag kode batang, hingga yang lebih kompleks, seperti mengidentifikasi seseorang berdasarkan wajah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.12. Ada banyak teknik berbeda yang digunakan dalam menganalisis gambar secara otomatis. Setiap teknik mungkin berguna untuk sejumlah kecil tugas, namun masih belum ada metode analisis gambar yang diketahui yang cukup generik untuk berbagai tugas, dibandingkan dengan kemampuan analisis gambar manusia (Zhe-Ming Lu & Shi-Ze Guo, 2016).



Gambar 2.12 Contoh proses *image* analisis (Mendoza & Lu, 2015)

Penting untuk dicatat bahwa analisis gambar merupakan bagian dari bidang yang lebih luas yang dikenal sebagai pemrosesan gambar, yang ide utamanya adalah untuk meningkatkan kualitas visual suatu gambar dan/atau mengekstrak informasi atau fitur yang berguna. Analisis ini didasarkan pada berbagai properti gambar seperti warna, kilap, morfologi objek, dan tekstur. Tindakan pemrosesan gambar dapat dikelompokkan menjadi tiga sub-area (Mendoza & Lu, 2015).

- a. *Image compression*, mengurangi kebutuhan memori dengan menghilangkan redundansi yang ada dalam gambar, yaitu, informasi gambar yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia.
- b. *Image preprocessing*, yang terdiri dari peningkatan kualitas visual gambar dengan mengurangi noise, kalibrasi dan standarisasi piksel, meningkatkan deteksi tepi, dan membuat langkah analisis gambar lebih andal berdasarkan kriteria yang objektif dan mapan. Istilah prapemrosesan gambar, secara umum, mengacu pada semua manipulasi pada gambar, yang masing-masing menghasilkan gambar baru.
- c. *Image analisis*, yang biasanya mengembalikan nilai numerik dan/atau informasi grafis tentang karakteristik gambar yang sesuai untuk klasifikasi, deteksi cacat, atau prediksi beberapa properti kualitas objek yang dicitrakan. Istilah analisis gambar digunakan ketika output berupa angka atau keputusan, bukan gambar.

2.3.1. RGB Colour

RGB (*Red, Green, Blue*) adalah *model* warna yang digunakan dalam pencitraan digital untuk merepresentasikan warna pada perangkat elektronik seperti monitor komputer, layar televisi, dan kamera digital. *Model* ini merupakan singkatan dari Red, Green, dan Blue, yang merupakan warna primer cahaya.

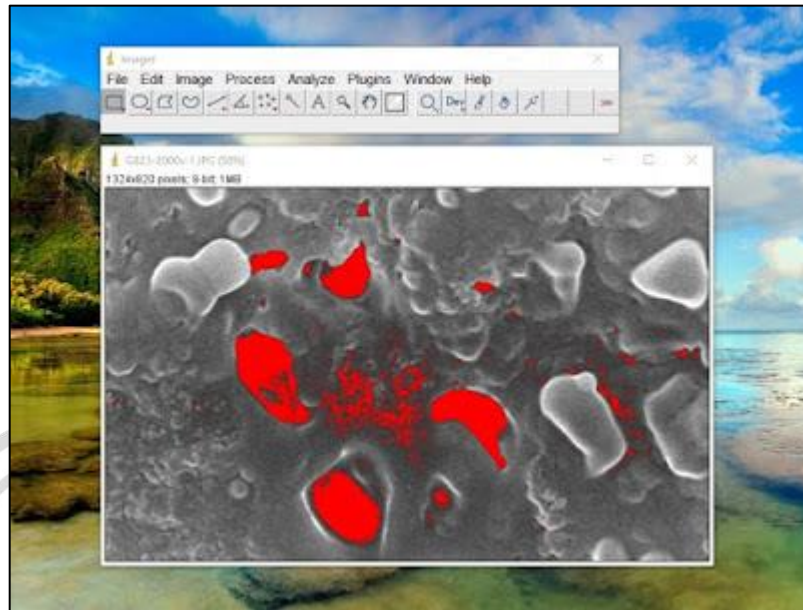
Dalam *model* RGB, warna dibuat dengan menggabungkan intensitas cahaya merah, hijau, dan biru yang berbeda. Setiap saluran warna memiliki nilai mulai dari 0 hingga 255, di mana 0 mewakili tidak adanya warna dan 255 mewakili intensitas maksimum warna tersebut. Dengan memvariasikan intensitas ketiga warna primer ini, berbagai macam warna dapat diperoleh, menjadikan RGB sebagai *model* warna penting untuk tampilan digital dan perangkat pencitraan (Bianca Palmer, 2024).

Dasar untuk *model* warna RGB berasal dari fisikawan dan matematikawan Inggris Isaac Newton, khususnya rangkaian eksperimennya dengan cahaya pada tahun 1665 dan 1666. Dalam salah satu pengujiannya yang terkenal, Newton mengangkat prisma kaca ke seberkas cahaya saat memasuki ruangan yang gelap. Pencampuran cahaya berwarna dikembangkan lebih lanjut oleh fisikawan Inggris Thomas Young dan fisikawan Jerman Hermann von Helmholtz dalam teori trikromatik penglihatan warna (juga disebut teori Young-Helmholtz). Pada tahun-tahun pertama abad ke-19, Young secara definitif menetapkan sifat gelombang cahaya dan kemudian menghitung perkiraan panjang gelombang dari tujuh warna yang dikenali oleh Newton (Alicja Zelazko, 2022).

2.3.2. Software ImageJ

ImageJ merupakan perangkat lunak serbaguna yang dirancang untuk pemrosesan analisis citra gambar. Paket ini ditulis dalam bahasa pemrograman Java, yang memungkinkan pengalaman lintas platform yang seragam. Paket ini didasarkan pada paket perangkat lunak gambar *National Institutes of Health* (NIH) pada platform Macintosh yang dikembangkan pada tahun 1987 oleh Wayne Rasband (Jurjen Broeke et al., 2015). ImageJ merupakan perangkat lunak berbasis Java yang kompatibel dengan berbagai sistem operasi, seperti Linux, Macintosh, dan Windows, serta mendukung mode 32-bit dan 64-bit. Selain dapat diinstal langsung di komputer, ImageJ juga bisa digunakan secara online. Keunggulan utama perangkat lunak ini dibandingkan dengan aplikasi pengolah gambar lainnya

adalah sifatnya sebagai perangkat lunak domain publik, sehingga bebas dari batasan hak cipta.



Gambar 2.13 Tampilan *software* imageJ (Toni Dwi Novianto, 2019)

Perangkat lunak ImageJ mendukung berbagai proses manipulasi gambar, termasuk membuka dan mengedit file gambar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.13. Format gambar yang kompatibel mencakup TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS, dan RAW. Selain itu, ImageJ dapat memproses gambar secara langsung dari perangkat seperti kamera, pemindai (scanner), dan perekam video. Perangkat lunak ini juga memungkinkan pengguna untuk membuat grafik dari data serta meningkatkan kualitas gambar. ImageJ sering dimanfaatkan dalam analisis gambar mikroskopis, pengukuran area, penghitungan partikel, segmentasi, serta analisis fitur spasial dan temporal dalam elemen biologis. (Toni Dwi Novianto, 2019). Fitur-fitur ini memiliki peran penting bagi para peneliti dalam menganalisis foto dan gambar mereka. Berikut adalah beberapa fitur utama yang ditawarkan oleh program ini:

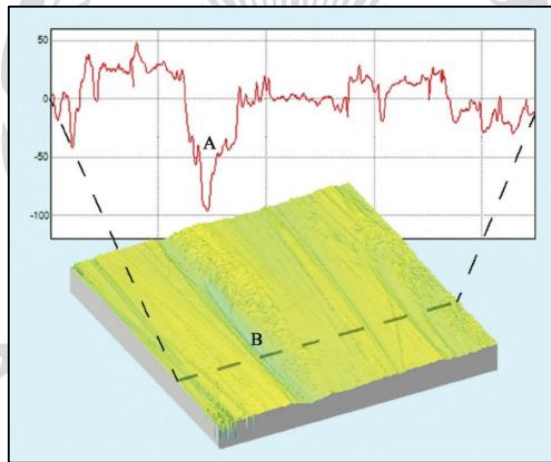
- 1) Fungsi Paralel: Pemrosesan beberapa gambar secara bersamaan dalam satu jendela tampilan serta menerapkan fungsi simultan pada gambar-gambar tersebut.
- 2) Perhitungan (*Calculations*): Membuat statistik sesuai dengan parameter yang ditentukan pengguna seperti rerata (*mean*) dan standar deviasi menggunakan satuan SI.
- 3) Pengukuran (*Measurements*): Memfasilitasi perhitungan jarak, luas, serta berbagai pengukuran geometris lainnya berdasarkan gambar..
- 4) *Output*: Menghasilkan histogram kepadatan populasi serta berbagai jenis grafik lainnya.
- 5) *Scaling*: Memungkinkan perubahan ukuran, perbesaran, pengecilan, serta pengaturan orientasi gambar.
- 6) Pengeditan Foto: Menyediakan fitur mengedit gambar, seperti menghilangkan cacat, meningkatkan ketajaman, dan menerapkan berbagai filter.
- 7) Plugin: Mendukung pengembangan plugin khusus untuk menyesuaikan fungsi perangkat lunak dengan kebutuhan pengguna.
- 8) Macro: Memungkinkan pembuatan makro untuk mengotomatiskan tugas yang sering dilakukan.
- 9) Warna: Mendukung pemrosesan gambar dengan mode *grayscale* dan warna terindeks untuk meningkatkan kecepatan. Jika kecepatan bukan prioritas, tersedia berbagai opsi warna lainnya untuk menciptakan efek tambahan.

Pengolahan citra gambar menggunakan *software* imageJ merupakan salah satu metode alternatif untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan dari suatu benda. Metode ini tidak secara langsung bersentuhan dengan permukaan benda namun metode ini berdasarkan pada gambar permukaan dari suatu benda (B. Budiana et al., 2020).

2.3.3. Tampilan Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah ketidak aturan pada konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan berupa guratan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan atau pada hasil pemotongan. Setiap *benda* kerja yang telah melalui proses pemesinan, seperti *milling*, pasti memiliki tingkat kekasaran pada permukaannya. Faktor-faktor yang menyebabkan nilai kekasaran permukaan suatu produk tidak sesuai dengan yang diharapkan meliputi penggunaan parameter yang kurang tepat, pemilihan mata router yang tidak sesuai atau sudah aus. Selain itu, kesalahan dalam proses atau tahapan selama pemesinan juga berpengaruh signifikan terhadap tingkat kekasaran permukaan *benda* kerja (Delima et al., 2022).

Tekstur permukaan adalah penyimpangan berulang atau acak dari permukaan nominal yang membentuk topografi tiga dimensi dari permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Tekstur permukaan meliputi kekasaran nano dan mikro, kekasaran makro, *lay* dan kecacatan.



Gambar 2.14 Tekstur permukaan kekasaran dengan lay searah (Muhammad Akhsin Muflikhun, 2023)

Kekasaran nano dan mikro dibentuk karena adanya naik turun dari permukaan dengan panjang atau *pendek* gelombang. Kekasaran makro adalah ketidakaturan panjang gelombang permukaan. Lay adalah arah utama dari pola permukaan yang domain, biasanya ditentukan berdasarkan metode produksi yang digunakan. Cacat adalah ketidaksengajaan yang tidak terduga dan tidak diinginkan pada hasil akhir tekstur suatu permukaan (Muhammad Akhsin Muflikhun, 2023).

2.4. Metode Statistik ANOVA

Analisis varian atau yang biasa disebut dengan ANOVA (*Analysis of Variance*) adalah prosedur yang digunakan untuk uji perbandingan rata-rata antara beberapa kelompok data. ANOVA merupakan perluasan dari uji t sehingga bisa digunakan untuk menguji perbedaan tiga buah rata-rata populasi atau lebih sekaligus. Teknik analisis ini bertujuan mengetahui perbedaan skor suatu variabel y (variabel terikat/*dependent variable*) yang disebabkan oleh perbedaan skor pada setiap variabel x (variabel bebas/*independent variable*). Ada beberapa prasyarat yang harus dipenuhi bila melakukan analisis varian antara lain pengambilan diambil secara random dari populasi, dan data yang diambil adalah data skala interval atau rasio, data harus memenuhi syarat berdistribusi normal, dan data dalam variabel yang akan dilakukan analisis harus berkarakteristik homogen (Wijaya et al., 2024).

Untuk menentukan apakah nilai residual memiliki distribusi data yang sama, uji homogenitas ini dilakukan secara visual dengan memeriksa grafik e_i terhadap Y_i . Hasil uji terpenuhi jika data terdistribusi secara acak (sekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola (Pajar Juliansah, 2022). F tabel ditentukan dengan taraf signifikan 5% dan $dk = n - 1$ dan untuk kriteria pengujiannya sebagai berikut:

- Apabila nilai $sig \geq 0,05$ artinya homogen
- Apabila nilai $sig \leq 0,05$ artinya tidak homogen

Pada aplikasi statistik SPSS, *plot* probabilitas normal dapat digunakan untuk menunjukkan apakah residul memiliki distribusi normal. Kenormalan residul dinilai dengan *shapiro wilk normality test* dan hipotesis yang digunakan, yaitu (Pajar Juliansah, 2022):

- H_0 : residul memiliki distribusi normal
- H_1 : residul tidak memiliki distribusi normal

H_0 ditolak apabila $p = value < \alpha = 0,05$

2.4.1. ANOVA Satu Arah

ANOVA satu arah (one way ANOVA) adalah uji statistik yang variabel penelitiannya hanya memiliki satu variabel *y dependent variable*. ANOVA satu arah ini digunakan untuk menghitung jumlah eksperimen, rata-rata, standar deviasi, standar galat rata-rata, nilai maksimum, dan nilai minimum. ANOVA One Way ini digunakan untuk melakukan uji rata-rata perlakuan (threatment) dari sebuah percobaan yang menggunakan satu faktor yang memiliki tiga atau lebih kelompok (Wijaya et al., 2024).

2.4.2. ANOVA Dua Arah

ANOVA dua arah (*two way ANOVA*) adalah uji statistik untuk mempelajari pengaruh dua variabel independen kategorik terhadap hasil berkelanjutan. ANOVA dua arah menganalisis pengaruh langsung variabel independen terhadap hasil, serta interaksi variabel independen terhadap hasil. ANOVA dua arah digunakan untuk memperkirakan bagaimana rata-rata suatu variabel kuantitatif berubah sesuai dengan tingkat dua variabel kategori (Populix, 2023).

Tujuan dari pengujian ANOVA dua arah ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Besarnya pengaruh diketahui dengan membandingkan jumlah nilai kuadrat *sum of square* dengan seluruh variabel kontrol (Pajar Juliansah, 2022). Untuk menghitung jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat, derajat kebebasan, dan nilai F dalam pengujian ANOVA dua arah sebagai berikut:

1. Jumlah kuadrat (*sum of square*)

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} - \frac{T^2}{N} \quad (8)$$

Dimana:

A_1 = Jumlah nilai data faktor A level 1

A_2 = Jumlah nilai data faktor A level 2

A_3 = Jumlah nilai data faktor A level 3

n_{A_1} = Banyak data faktor A level 1

n_{A_2} = Banyak data faktor A level 2

n_{A_3} = Banyak data faktor A level 3

T = Jumlah seluruh data

N = Banyak data keseluruhan

2. Derajat kebebasan (*degree of freedom*)

$$V_a = \text{Banyak level faktor } A - 1 \quad (9)$$

$$V_t = \text{Total semua level} - 1 \quad (10)$$

$$V_e = V_t - (V_a + V_b + \dots V_n) \quad (11)$$

Dimana:

V_a = Derajat kebebasan faktor A

V_t = Derajat kebebasan total

V_e = Derajat kebebasan error

3. Rata-rata kuadrat (*mean square*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (12)$$

4. Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum y^2 \quad (13)$$

Dimana:

y = Nilai data

5. Jumlah kuadrat rata-rata

$$SS_m = n\bar{y}^2 \quad (14)$$

Dimana:

n = Banyak data

6. Jumlah kuadrat error

$$SS_e = SS_T + SS_m + SS_{faktor} \quad (15)$$

Dimana:

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + \dots SS_n \quad (16)$$

7. Rata-rata kuadrat error

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e} \quad (17)$$

8. Nilai F

Pengaruh faktor-faktor terhadap nilai F ditunjukkan dengan perbandingan dari nilai F hitung dan F tabel. Jika F hitung lebih besar daripada nilai F tabel maka faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan dan sebaliknya.

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e} \quad (18)$$



2.4.3. ANOVA *General Linier Model* (GLM)

General Linear Model (GLM) adalah kumpulan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan variabel *dependen* yang memiliki sifat numerik, sementara variabel *independennya* dapat berupa kategori atau numerik. Variabel *independen* kategori disebut faktor, sedangkan variabel *independen* kontinu disebut kovariat. Disebut *model general* karena ada beberapa variasi seperti tipe variabel dari y (*dependen*) dan x (*independen*), juga pada jumlah variabel *independen* (x) yang digunakan. Disebut *model* linear karena mempunyai kombinasi linear pada x_i . Untuk variabel x_i variasi transformasi (misalnya kuadrat dari x , akar x atau algoritma dari x) dapat digunakan dan kombinasi ini masih linear, sehingga *model* akan linear (Rr. Nur Fauziyah, 2020).

