

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka yang melandasi timbulnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis adalah karena adanya dorongan keingintahuan akan hubungan proses hardening khususnya *pack carburizing* dengan rekayasa material untuk peningkatan kekuatan agar dapat bertahan lebih kuat, ulet dan tahan lama pada kondisi-kondisi yang sering bermasalah, serta juga ada banyak bahan penelitian dan jurnal yang mengangkat proses *pack carburizing* sebagai landasan teori seperti berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh Joko Waluyo (2009), berhasil meneliti pengaruh temperatur dan waktu tahan pada proses karburasi cair terhadap kekerasan baja AISI 1025 dengan media pendinginan air didapat kekerasan material sebelum diproses *carburizing* adalah 193,7 VHN kekerasan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur dan kenaikan lamanya waktu tahan. Peningkatan kekerasan tertinggi pada temperatur 850°C dan waktu tahan 90 menit yaitu meningkat menjadi 982,3 VHN.

(Dermawan dkk. 2017), telah melakukan penelitian terhadap gear *sprocket* imitasi dengan *pack carburizing* menggunakan arang tempurung kelapa dengan variasi temperatur 825°C, 870°C dan 910°C dengan holding time selama 1 jam kemudian dilakukan *quenching* cepat dengan media air tawar.

(Bambang Kuswanto. 2010), melakukan pengujian perlakuan *pack carburizing* pada baja karbon rendah sebagai material alternatif untuk pisau potong pada penerapan teknologi tepat guna didapat nilai kekerasan rata-rata sebelum perlakuan 146,358 kg/mm² meningkat menjadi 184,45 kg/mm² dan dapat disimpulkan kualitas baja karbon rendah dapat ditingkatkan dengan proses *pack carburizing*.

(Yud Setiono. 2012), meneliti sifat fisis dan mekanis baja karbonisasi arang kayu sengon merumuskan dengan proses karbonisasi, harga kekerasan yang semula 227,0 VHN (raw material) meningkat menjadi 250,2 VHN (karbonisasi 2jam) dan

260,3 VHN (karbonisasi 4jam) diambil kesimpulan semakin lama penahanan waktu pada proses *pack carburizing* maka akan semakin meningkat kekerasannya.

(Hafni dan Nurzal. 2014), melakukan pengujian tungku *pack carburizing* untuk pengerasan permukaan baja karbon rendah dengan media karburisasi campuran arang tempurung kelapa dan BaCo₃ didapat pada temperatur pemanasan 980°C dan waktu tahan 4jam dengan dilanjutkan proses *quenching*. Dari hasil *metallography* pada sisi luar terlihat struktur mikro martensite dengan bagian tengah *ferrite pearlite*, artinya telah terjadi pengerasan di bagian permukaan dan dapat dikatakan tungku yang dirancang telah memenuhi tujuan desainnya sebagai tungku *pack carburizing*.

(Prihanto Triutomo. 2015), berhasil meningkatkan kekerasan pada pisau berbahan baja karbon menengah hasil proses *hardening* dengan media pendingin yang berbeda didapat kesimpulan bahwa media pendinginan yang terbaik adalah oli dengan nilai kekerasan 600 HV karena menghasilkan tingkat kekerasan yang tinggi dan tingkat kegetasan yang rendah pada pisau pemotong.

(Negara 2016), meneliti tentang efektifitas penggunaan karbon dari arang bambu, pelepah kelapa, tulang bebek dan tulang kambing sebagai sumber karbon (C). *Pack carburizing* dilakukan dengan komposisi 80% karbon dan 20% BaCO₃ dengan memanaskan spesimen pada plat baja yang berisi *carburizer* sampai suhu 900°C, di *holding* selama 3 jam dan didinginkan dengan air.

(Kuswanto 2010), meneliti tentang *pack carburizing* pada baja karbon rendah sebagai material alternatif pada pisau potong menggunakan arang tempurung kelapa 90% dan barium karbonat (BaCO₃) 10% dengan temperatur 900°C dan *holding time* 2 selama jam.

(Hafni 2015), melakukan penelitian tentang pengaruh waktu tahan proses *pack carburizing* pada baja karbon rendah menggunakan media karburisasi campuran 500 gram arang tempurung kelapa dan 50 gram kalsium karbonat (CaCo₃), temperatur pemanasan 950°C dan variasi waktu tahan; 3jam 4 jam dan 5 jam.

2.2 Baja

Baja banyak digunakan dalam konstruksi mesin, karena memiliki sifat ulet dan mudah dibentuk. Kandungan karbon yang terkandung dalam baja mempengaruhi kekerasan dan kekuatan baja serta mempengaruhi tinggi rendahnya suhu kritis (Sofiyudin, 2007).

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah

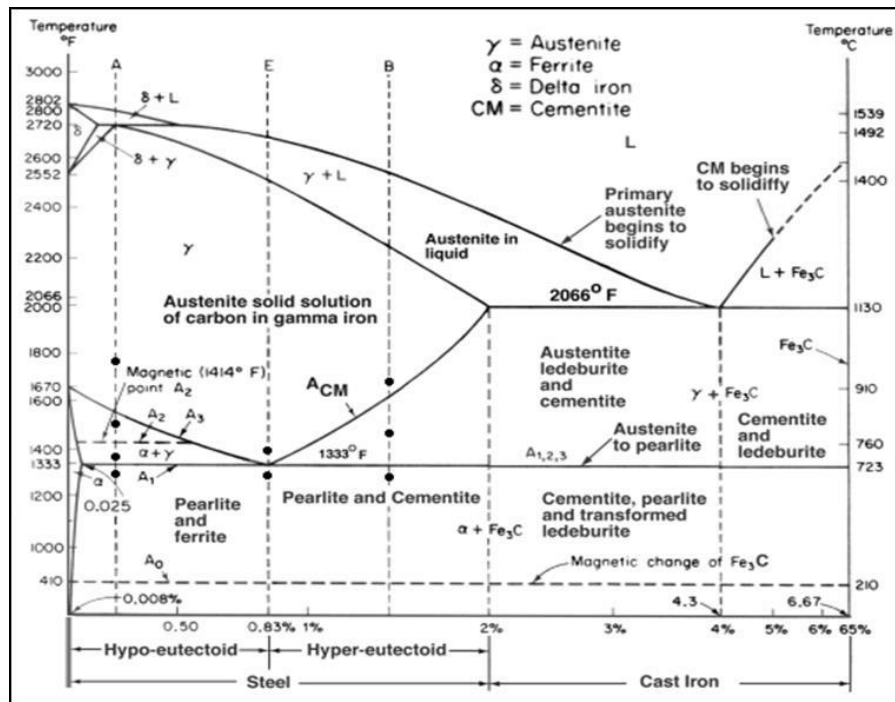
Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur *martensite* (Amanto, 1999).

2. Baja karbon menengah

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (*medium carbon steel*). Penggunaan baja karbon menengah biasa digunakan sebagai bahan dalam pembuatan poros, poros engkol, batang torak serta roda gigi karena kekuatan pada permukaan baja ini dapat ditingkatkan dengan cara memberi perlakuan panas dengan cara pemanasan sampai fasa *austenit*, *quenching* dan *tempering* namun pada bagian dalam tetap liat. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya *martensite* sehingga membuat baja menjadi getas. (Amanto, 1999).



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C [3]

Diagram fasa Fe-C sangat penting di bidang metalurgi karena sangat bermanfaat di dalam menjelaskan perubahan-perubahan fasa baja (paduan logam Fe-C). Baja adalah logam paduan Fe-C dengan kadar C <2% sedangkan untuk paduan dengan C > 2% dinamakan besi tuang (*cast iron*). Sifat-sifat baja sangat dipengaruhi oleh kadar C. Struktur yang terdapat pada baja antara lain sebagai berikut:

1. Ferrite

Ferrite merupakan larutan padat interstisi dari atom-atom karbon pada besi *alfa*. Kelarutan maksimum karbon dalam fasa *ferrite* adalah 0,025 persen pada temperature 723°C.

2. Pearlite

Pearlite merupakan gabungan *ferrite* dan *cementite* dalam suatu struktur butir. Laju pendinginan lambat menghasilkan *pearlite* kasar dan laju pendinginan cepat menghasilkan *pearlite* halus, bersifat keras dan lebih tangguh.

3. Austenite

Austenite merupakan larutan padat interstisi atom karbon dalam besi gamma yang mempunyai struktur sel *face centered cubic FCC*.

4. *Martensite*

Martensite adalah struktur logam baja yang diperoleh dari transformasi *austenite* pada laju pendinginan cepat. Fasa *martensit* tergantung pada laju pendinginan. Semakin cepat laju pendinginan maka kemungkinan terbentuknya fasa *martensite* juga semakin lebih besar.

5. *Cementite*

Cementite adalah senyawa besi dengan karbon yang umum dikenal sebagai karbida besi dengan prosentase karbon 6,67%C. yang bersifat keras sekitar 5-68HRC

6. *Ledeburite*

Ledeburite adalah suatu *eutectic mixture* dari *austenite* dan *cementite*, mengandung 4,3%C, terbentuk pada 1130°C

7. *Bainite*

Bainite merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari *austenite* pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke *perlite* dan lebih tinggi dari transformasi ke *martensit*.

2.3 Baja AISI 1020

Pemilihan baja AISI 1020 karena baja ini telah umum digunakan pada komponen permesinan, biaya murah dan mudah didapatkan di pasaran. Adapun komposisi kimia dari baja AISI 1020 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia baja AISI 1020 [9]

C	Si	Mn	P	S
0.20	0.24	0.01067	0.000025	0.000024

2.4 *Carburizing*

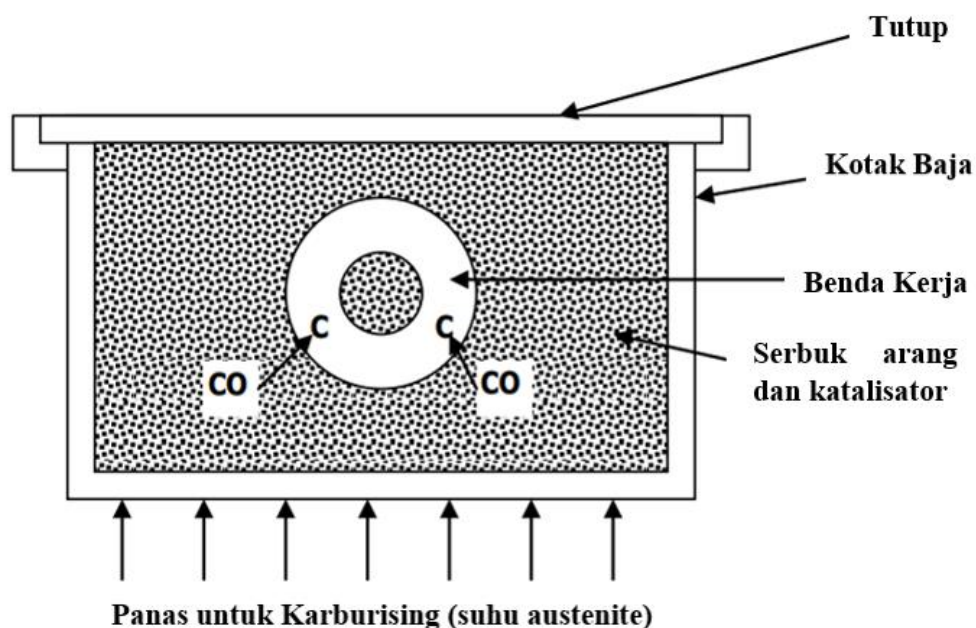
Carburizing adalah sebuah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan cara mendifusi atau menyisipkan atom karbon melalui permukaan baja sehingga pada permukaan baja mengandung banyak karbon untuk dapat dikeraskan secara langsung atau *quenching*. Proses karburasi dilakukan

dengan proses perlakuan panas dengan temperature pemanasan yang cukup tinggi dalam tempat atau wadah yang banyak mengandung karbon aktif, sehingga atom karbon akan berdifusi atau masuk ke dalam lapisan permukaan baja dan mencapai kadar tertentu sampai kedalaman tertentu. Pada umumnya, pada proses karburasi baja karbon rendah, diikuti dengan pendinginan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasannya sehingga atom karbonnya lebih banyak dalam permukaannya. Unsur karbon dalam proses karburasi bisa berasal dari karbon arang kayu, arang tempurung kelapa, grafit, batubara, dan lain-lain. Berdasarkan media yang digunakan, karburasi dapat dibedakan menjadi 3 cara yaitu: gas, cair, dan padat.

Proses *carburizing* yang tepat akan menambah kekerasan permukaan sedang pada bagian inti tetap liat. Proses *carburising* atau pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan metode padat, cair dan gas (Amstead, 1979).

2.5 Pack Carburizing

Pack carburizing adalah salah satu metoda yang digunakan untuk menambah kandungan karbon di dalam baja dengan menggunakan sumber karbon media padat dan katalisator yang berfungsi untuk mempercepat proses pembentukan gas (Kusmanto, 2010).



Gambar 2.2 Proses *pack carburizing* [5]

Proses *pack carburizing* dilakukan pada temperatur (850°C-950°C). Pada proses pengkarbonan padat, spesimen ditempatkan ke dalam kotak yang berisi media karburasi, kemudian dipanaskan pada suhu austenisasi sehingga media penambah unsur karbon saat pemanasan akan mengeluarkan gas CO₂ dan CO. Gas CO ini bereaksi dan terurai pada permukaan baja karbon rendah membentuk atom karbon yang kemudian berdifusi ke permukaan baja, sehingga kadar karbon pada permukaan baja akan meningkat.

Kedalaman difusi dan kekerasan yang dihasilkan pada proses *carburizing* tidak ada batasan secara teknik, tapi dari pengamatan praktis umumnya kedalaman *carburizing* sekitar 0,05 in (1,27 mm).

Arang adalah residu hitam berisi karbon yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil dari hewan atau tumbuhan. Arang umumnya didapatkan dengan memanaskan kayu, gula, tulang, dan benda lain. Arang yang hitam, ringan, mudah hancur, dan meyerupai batu bara ini terdiri dari 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya.

Media *carburizing* harus memiliki jumlah kandungan karbon tinggi, sumber karbon yang biasa digunakan dalam *pack carburizing* yaitu arang kayu, arang tempurung kelapa, batu bara serta tulang.

Pemilihan sumber karbon pada penelitian *pack carburizing* ini yaitu arang tempurung kelapa dengan kandungan karbon 82.92% (Budi dkk. 2012), arang kayu gelam dengan kandungan karbon berkisar antara 53.37%-62.46% (Prayitno dan Sutapa 2007) dan batu bara dengan kandungan karbon 86%-92% (Poertadji dkk. 2006).

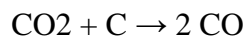
Arang kayu gelam dan batok kelapa dipilih karena keduanya merupakan limbah yang mudah untuk didapatkan sedangkan pemilihan batu bara karena kandungan karbon nya yang sangat tinggi. Karbon tulang tidak dipilih karena limbah tulang di Palembang jarang ditemui dibandingkan limbah kayu gelam dan tempurung kelapa, kandungan karbon pada tulang hewan juga mendekati dengan kandungan karbon pada tempurung kelapa, kandungan karbon tulang babi 79% dan tulang sapi 80,34% (Siregar dkk. 2015).

Pada kenyataannya, proses pembentukan gas karbon dioksida CO₂ dan gas karbon monoksida CO berlangsung sangat lambat. Sehingga perlu ditambahkan bahan lain yang dapat mempercepat proses pembentukan gas yang disebut katalisator. Katalisator yang dapat digunakan adalah senyawa dari garam karbonat. Beberapa contoh garam karbonat diantaranya adalah barium karbonat (BaCO₃), Natrium Karbonat (Na₂CO₃) serta Kalsium Karbonat (CaCO₃). Pada penelitian ini katalisator yang digunakan adalah barium karbonat (BaCO₃).

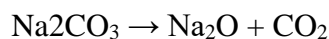
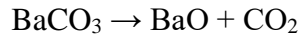
Selama pemanasan di dalam kotak carburizing terjadi dua macam gas yaitu

- Gas karbondioksida (CO₂)
- Gas karbomonooksida (CO)

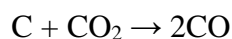
Dengan reaksi sebagai berikut:



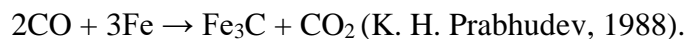
Sebagai sumber CO₂ diperoleh dari bahan tambah yang berupa BaCO₃, atau Na₂CO₃, sehingga akan terjadi proses.



Akibat semakin tingginya temperatur pemanasan maka CO akan lebih banyak terbentuk dari pada CO₂ Sehingga akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut:



Pada suhu pengkarbonan reaksi ini selalu berlangsung kekanan. Karbon monoksida bebas bereaksi dengan besi, kondisi ini seperti pada reaksi di bawah ini



Semakin banyak kandungan karbon dipermukaan maka semakin banyak juga atom karbon yang akan berpindah menuju inti melalui mekanisme difusi.

2.6 *Quenching*

Quenching adalah pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan. Pada perlakuan quenching terjadi percepatan pendinginan

dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *ferrite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di *quenching* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* yang biasa digunakan yaitu air, air asin, oli, air-polymer, dan beberapa kasus digunakan mert gas. Air sebagai media *quenching* mempunyai beberapa keuntungan mudah didapat, murah, dan tidak berbahaya.

Tujuan dari proses *quenching* secara umum pada baja (baja carbon, low alloy steel, dan tool steel) adalah untuk proses *hardening*, yaitu menghasilkan struktur mikro martensit pada baja tersebut. Proses *hardening* yang baik adalah bila mendapatkan harga kekerasan, kekuatan, dan *toughness* yang besar tetapi dengan residual stress, distorsi, dan *cracking* yang minimal. Pada stainless steel dan high alloy steels tujuan proses *quenching* adalah untuk meminimalisasi keberadaan batas butir karbida atau untuk meningkatkan distribusi ferit (ASM International, 2005).

2.7 Presentase Karbon dan Katalisator

Pada proses *pack carburizing* presentase kandungan karbon dan *energizer* atau katalisator sangat menentukan hasil kekerasan pada spesimen karena dalam prosesnya karbon dan *energizer* berperan penting dalam perpindahan jumlah karbon dari sumber karbon ke spesimen. Karbon berfungsi untuk meningkatkan nilai kekerasan pada material sedangkan *energizer* berfungsi untuk mempercepat laju difusi atom.

Variasi presentase *energizer* yang umum digunakan yaitu 10%, 20%, 30% dan 40% (Utami dan Istana 2020).

2.8 Uji Kekerasan Rockwell

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis.

Deformasi plastis terdiri dari suatu keadaan suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak dapat

kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekan).

Metode kekerasan *rockwell* sering digunakan pada dunia industri karena lebih praktis. Metode *rockwell* B paling umum digunakan dengan referensi ASTM E 18 memakai indenter bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg serta memakai indenter intan dengan beban 150kg. Sedangkan untuk bahan yang lebih lunak menggunakan indenter bola baja (ball) yang kemudian dikenal dengan skala B dan untuk yang lebih keras indenter yang digunakan adalah kerucut intan (cone) dengan sudut puncak 120°. Metode ini dapat digunakan untuk bahan yang sangat keras dan juga cocok untuk semua material yang keras dan lunak. Pengujian kekerasan metode *rockwell* didasarkan pada kedalaman masuknya penekan benda uji (Herrmann, Konrad 2011).

Nilai kekerasan dapat langsung dibaca setelah beban utama dihilangkan. Untuk menghitung nilai kekerasan *rockwell* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$HR = E - e$$

HR = nilai kekerasan *rockwell*

E = konstanta tergantung pada bentuk indenter

e = perbedaan antara dalamnya penembusan

Tabel 2.2 Skala Kekerasan Rockwell [8]

Skala	Beban Mayor (Kg)	Tipe Indentor	Tipe Material
A	60	1/16" bola intan kerucut.	Sangat keras, tungsten, karbida
B	100	1/16" bola.	Kekerasan sedang, baja karbon rendah dan sedang, kuningan, perunggu, paduan yang dikeraskan
C	150	Intan Kerucut	Baja keras, baja hasil Tempering
D	100	1/8" bola.	Besi cor, paduan alumunium, magnesium yang dianealing
E	100	Intan Kerucut	Besi cor, paduan alumunium dan magnesium

F	60	1/16" bola.	Kuningan yang dianealing dan tembaga
G	150	1/8" bola.	Tembaga, berilium, fosfor, perunggu
H	60	1/8" bola.	Pelat alumunium, timah
K	150	1/4" bola.	Besi cor, paduan alumunium, timah
L	60	1/4" bola.	Plastik, logam lunak
M	100	1/4" bola.	Plastik, logam lunak
R	60	1/4" bola.	Plastik, logam lunak
S	100	1/2" bola.	Plastik, logam lunak
V	150	1/2" bola.	Plastik, logam lunak

2.9 Uji Komposisi

Pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam suatu bahan. Unsur yang berpengaruh dalam penguatan baja yaitu karbon. Proses pengujian komposisi ini dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat persentase unsur yang terkandung.

2.10 Uji ANOVA

Analisis varians (analysis of variance, ANOVA) adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Dalam literatur Indonesia metode ini dikenal dengan berbagai nama lain, seperti analisis ragam, sidik ragam, dan analisis variansi. Ia merupakan pengembangan dari masalah Behrens-Fisher, sehingga uji-F juga dipakai dalam pengambilan keputusan. Analisis varians pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, bapak statistika modern. Dalam praktik, analisis varians dapat merupakan uji hipotesis (lebih sering dipakai) maupun pendugaan (estimation, khususnya di bidang genetika terapan). Analisis of variance atau ANOVA merupakan salah satu teknik analisis multivariate yang berfungsi untuk membedakan rerata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya. Analisis varian termasuk dalam kategori statistik parametrik (Ghozali, 2009).

2.9.1. Uji Anova Satu Jalur (One Way Anova)

Analisis varians satu jalur merupakan teknik statistika parametrik yang digunakan untuk pengujian perbedaan beberapa kelompok rata-rata, di mana hanya terdapat satu variabel bebas atau independen yang dibagi dalam beberapa

kelompok dan satu variabel terikat atau dependen (Widiyanto, 2013).

Hipotesis dalam ANOVA akan membandingkan rata-rata dari beberapa populasi yang diwakili oleh beberapa kelompok sampel secara bersama, sehingga hipotesis matematikanya adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_k$$

- Seluruh mean populasi adalah sama
- Tak ada efek treatment (tak ada keragaman mean dalam grup)

H₁ : tidak seluruh mean populasi adalah sama

- Minimal ada 1 mean populasi yang berbeda
- Terdapat sebuah efek treatment
- Tidak seluruh mean populasi berbeda (beberapa pasang mungkin sama).

Tabel ANOVA 1 Arah

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f hitung	f tabel
Rata-rata Kolom	JKK	db numerator = k-1	$s^2K = \frac{KTK}{k-1} = \frac{JKK}{k-1}$	f hitung = $\frac{JTK}{KTG}$	$\alpha =$ db numer = db denum = f tabel =
Galat	JKG	db denominator = N-k	$s^2G = KTG = \frac{JKG}{N-k}$		
Total JKT	JKT	N-1			

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T_{**}^2}{N}$$

$$JKK = \sum_{i=1}^k \frac{T_{*i}^2}{n_i} - \frac{T_{**}^2}{N}$$

$$JKG = JKT - JKK$$

Dimana :

- k : banyaknya kolom
- N : banyaknya pengamatan/keseluruhan data
- n_i : banyaknya ulangan di kolom ke- i
- X_{ij} : data pada kolom ke- i ulangan ke- j
- T_{*i} : total (jumlah) ulangan pada kolom ke- i
- T^{**} : total (jumlah) seluruh pengamatan