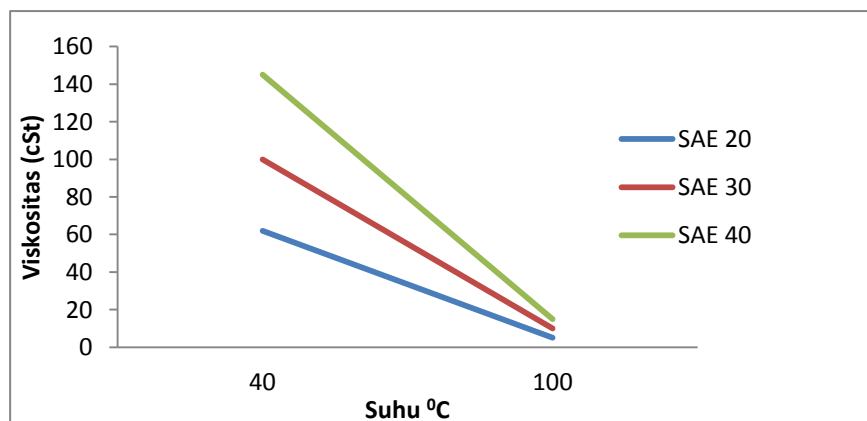


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

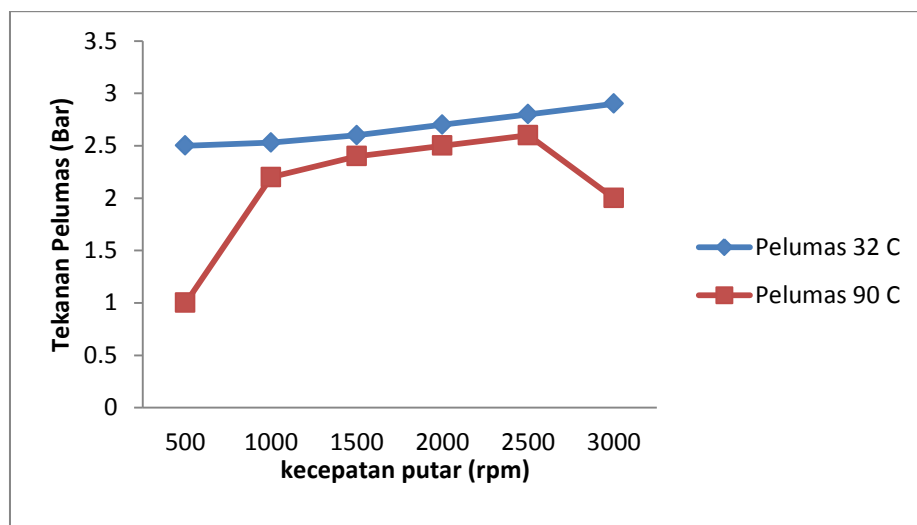
A. Penelitian Terkait

Penelitian tentang karakteristik viskositas pelumas mesin telah dilakukan oleh Nugroho (2012), penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik viskositas pelumas mesin dengan menggunakan laser Helium Neon sebagai sumber cahayanya. Laser ini digunakan untuk menembakkan cahaya ke sampel pelumas dan detektor akan menerima intensitas cahaya Helium Neon tersebut. Di bawah sampel diletakkan pemanas dan diukur suhu sampel dengan menggunakan *thermometer*. Hasil dari penelitian ini adalah semakin besar nilai SAE (*Society of Automotive Engineers*) pada pelumas maka semakin besar pula nilai viskositasnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

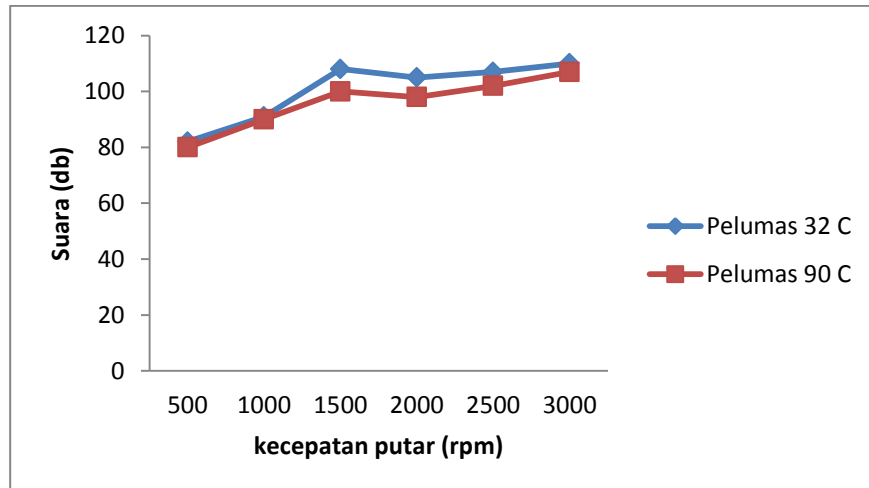


Gambar 2.1 Grafik Viskositas pada Suhu 40°C dan 100°C (Nugroho, 2012).

Analisis karakteristik pelumas terhadap suara telah dilakukan oleh Rasid (2012), pelumas yang digunakan pada penelitian ini memiliki suhu 32°C dan 90°C. Kedua pelumas ini diukur kadar kekentalannya, tekanan pelumas, dan kebisingan mesin yang dihasilkan pada kecepatan putar mesin sebesar 500, 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000 rpm. Penelitian ini diperoleh hasil hubungan nilai viskositas terhadap tekanan pelumas, bahwa semakin besar temperatur pelumas maka semakin kecil nilai viskositas yang didapatkan dan menghasilkan tekanan pelumas yang rendah. Sedangkan hubungan nilai viskositas pelumas terhadap suara adalah semakin rendah temperatur pelumas, maka semakin tinggi nilai viskositasnya dan semakin besar gesekan antar komponen mesin. Hasil yang diperoleh tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 berikut ini:



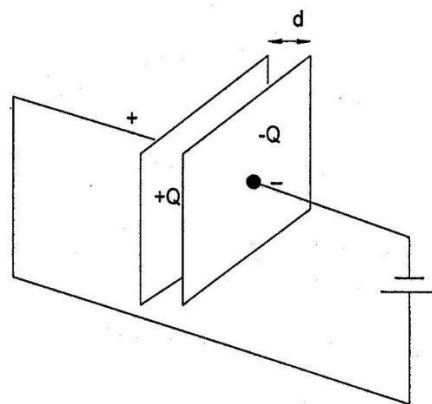
Gambar 2.2 Hubungan suhu pelumas terhadap tekanan pelumas (Rasid, 2012)



Gambar 2.3 Hubungan suhu pelumas terhadap suara mesin (Rasid, 2012).

B. Tranduser Mikrofon Jenis Kondensor

Mikrofon adalah suatu jenis transduser yang mengubah energi-energi akustik (gelombang suara) menjadi sinyal listrik. Salah satu jenis mikrofon yang sering digunakan untuk merekam suara adalah mikrofon jenis kondensor. Mikrofon ini memiliki sensitivitas (kepekaan) yang baik terhadap gelombang suara. Mikrofon jenis kondensor ini bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi kapasitor plat sejajar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Kapasitor plat sejajar

Berdasarkan Gambar 2.4 di atas terdapat dua buah plat kapasitor yang terpisah sejauh d dengan muatan yang berbeda-beda yaitu muatan positif (+) dan muatan negatif (-). Perbedaan muatan ini pada suatu titik tertentu menyebabkan terjadinya medan listrik yang sebanding dengan perubahan jarak pemisah kedua plat. Secara matematis medan listrik yang terjadi dapat dirumuskan pada Persamaan 2-1 berikut.

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2-1)$$

Selanjutnya dari perubahan medan listrik tersebut akan menghasilkan beda potensial yang sebanding dengan perubahan jarak antara kedua plat. Dalam prinsip sebuah kapasitor nilai kapasitansi berubah terhadap jarak antara dua plat. Persamaan matematis yang menunjukkan hubungan antara dua plat kapasitor ditunjukkan pada Persamaan 2-2 berikut.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2-2)$$

Dari persamaan diatas besar kapasitansi kapasitor ditentukan oleh luas plat, jenis dielektrik, dan jarak antar plat. Selanjutnya hubungan antara kapasitansi kapasitor dengan tegangan keluaran dari perubahan jumlah muatan dapat dirumuskan dengan Persamaan 2-3 sebagai berikut.

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2-3)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan 2-2 ke Persamaan 2-3 diperoleh Persamaan 2-4, yaitu tegangan mikrofon.

$$V = \frac{Q}{A\epsilon_0} d \quad (2-4)$$

keterangan:

C = Kapasitansi kapasitor (F);

ϵ_0 = Permittivitas ruang hampa (udara) (F/m);

A = Luas penampang plat (m^2);

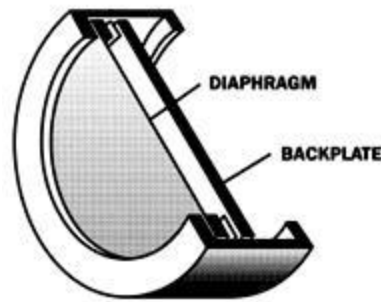
D = Jarak antara dua plat kapasitor (m);

Q = Jumlah muatan (C);

V = Beda potensial (volt).

Saat kapasitansi kapasitor dinaikkan akan menyebabkan kapasitor terisi muatan dan arus listrik akan mengalir melalui rangkaian sementara proses pengisian muatan berlangsung. Jika dikurangi kapasitansnya, kapasitor tidak lagi mampu menjaga muatannya dan ini akan menyebabkan kapasitor terlucuti (*discharge*). Sementara kapasitor terlucuti, arus akan mengalir lagi ke rangkaian.

Pada mikrofon kapasitor, peristiwa pengisian dan pelucutan kapasitor memang terjadi. Satu plat kapasitor terbuat dari bahan yang sangat mengkilap yang merupakan diafragma mikrofon. Salah satu platnya difungsikan sebagai membran, dan plat satunya dibuat tetap. Prinsip kerja dari mikrofon *condenser* menggunakan prinsip pelucutan muatan dalam sebuah kapasitor. Dua lempeng konduktor yang dipakai diberi polaritas yang berbeda sehingga berfungsi sebagai kapasitor dengan bahan dielektrik berupa udara yang nilainya 1.00059. Secara prinsip dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.5 berikut.

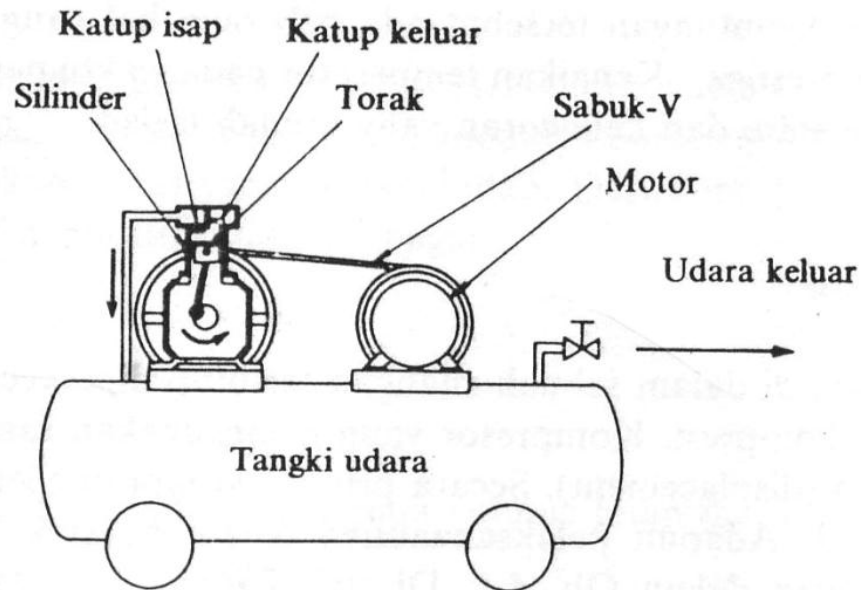


Gambar 2.5 Bagian-bagian Mikrofon kondensor

Pada Gambar 2.5 diatas gelombang suara mengenai diafragma (satu plat) dan mengakibatkan terjadi getaran yang tergantung pada gelombang suara. Gerakan diafragma menyebabkan perubahan kapasitansi. Saat diafragma bergerak masuk, kapasitansi akan naik dan terjadi pengisian muatan. Saat diafragma bergerak keluar, kapasitansi turun dan terjadi pelucutan muatan. Karena gerakan diafragma dan kapasitansi tergantung pada gelombang suara, pengisian dan pelucutan muatan ini merepresentasikan gelombang suara (Cahyono, 2008).

C. Kompresor

Kompresor merupakan mesin untuk memampatkan udara atau gas. Kompresor udara biasanya menghisap udara dari atmosfer. Namun ada pula yang menghisap udara atau gas yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor bekerja sebagai penguat (*Booster*). Sebaliknya kompresor ada yang menghisap gas yang bertekanan lebih rendah dari pada tekanan atmosfer, yang disebut pompa vakum.



Gambar 2.6 Bagian-bagian mesin kompresor

Kompresor yang terlihat pada Gambar 2.6 merupakan kompresor sederhana yang digunakan sebagai penghasil udara mampat untuk keperluan pembersih kotoran dan pengisi ban sepeda motor atau mobil. Prinsip kerjanya sama dengan pompa ban, yaitu memampatkan udara di dalam silinder dengan torak. Perbedaanya terletak pada katupnya, kedua katup dipasang dikepala silinder, dan tenaga penggeraknya adalah motor listrik. Udara mampat ini disimpan ke tempat tangki penyimpanan udara terlebih dahulu, baru kemudian dari tangki tersebut dialirkan ke unit-unit yang membutuhkan udara mampat. Prinsip kerja tangki udara adalah dengan merubah gerakan putar dari penggerak mula menjadi gerak bolak-balik torak/ piston. Gerakan ini diperoleh dengan menggunakan poros engkol dan batang penggerak yang menghasilkan gerak bolak-balik pada torak. Gerakan torak akan menghisap udara ke dalam silinder dan memampatkannya (Dietzel, 1996).

a. Klasifikasi Kompresor

Kompresor terdapat dalam beberapa jenis dan model, tergantung pada volume dan tekanannya. Berdasarkan cara pemampatannya, dibagi atas dua jenis yaitu sebagai berikut.

1. Kompresor Turbo

Kompresor ini menaikkan tekanan dan kecepatan udara dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh *impeller* dan dengan gaya angkat (*lift*) yang ditimbulkan oleh torak atau sudu. Kompresor turbo ini dibagi atas kompresor aksial dan kompresor sentrifugal.

2. Kompresor Perpindahan Positif (*Positive Displacement*)

Kompresor ini menaikkan tekanan dan kecepatan udara dengan memperkecil atau memampatkan volume gas yang dihisap kedalam silinder atau stator oleh torak. Kompresor ini juga dibagi atas kompresor bolak-balik (*reciprocating*) dan kompresor putar (*rotary*)

Berdasarkan konstruksinya, maka kompresor dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan jumlah tingkat kompresi: satu tingkat, dua tingkat, sampai banyak tingkat.
2. Berdasarkan langkah kerja (pada kompresor torak): kerja tunggal dan kerja ganda.

3. Berdasarkan susunan silinder (pada kompresor torak): mendatar, tegak, bentuk L, bentuk V, bentuk W, bentuk bintang, dan bentuk lawan berimbang.
4. Berdasarkan media pendinginan: pendinginan air dan pendinginan udara.
5. Berdasarkan transmisi penggerak: langsung, sabuk, dan roda gigi.
6. Berdasarkan penempatannya: permanen dan dapat dipindahkan.

b. Kompresor Torak

Kompresor torak merupakan suatu kompresor bolak balik yang menggunakan torak (piston) di dalam silinder yang bergerak bolak-balik untuk menghisap, menekan dan mengeluarkan udara secara terus-menerus. Dalam hal ini udara yang ditekan tidak boleh bocor melalui celah antara piston dan silinder yang saling bergesekan. Untuk mencegah kebocoran ini maka pada piston dilengkapi dengan ring piston yang fungsinya sebagai perapat sekaligus penyalur pelumas sebagai pelumasan pada piston dan silinder.

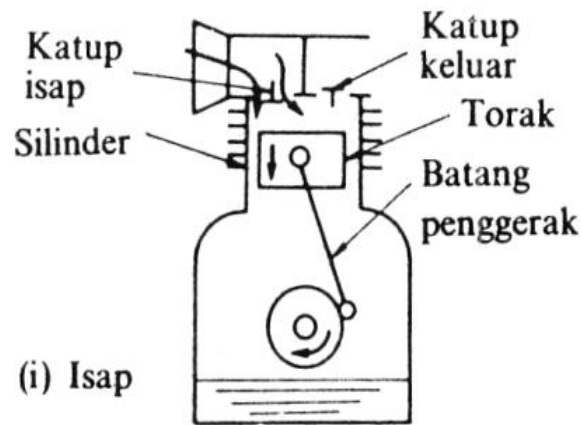
c. Prinsip Kerja Kompresor Torak

Cara kerja kompresor torak ini dapat dijelaskan seperti pada gambar langkah-langkah di bawah ini:

1. Langkah Isap

Langkah isap adalah bila poros engkol berputar searah putaran jarum jam, torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Tekanan negatif terjadi pada ruangan di dalam silinder yang

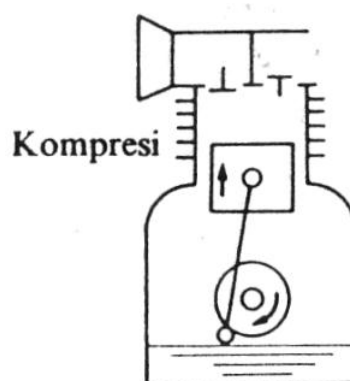
ditinggalkan torak sehingga katup isap terbuka oleh perbedaan tekanan dan udara terisap masuk ke silinder, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Langkah isap pada kompresor

2. Langkah Kompresi

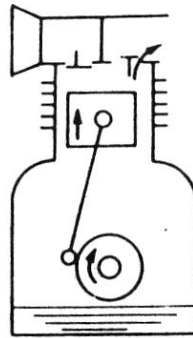
Langkah kompresi terjadi saat torak bergerak dari TMB ke TMA, katup isap dan katup buang tertutup sehingga udara dimampatkan dalam silinder. Langkah kompresi dapat dilihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Langkah kompresi pada kompresor

3. Langkah Keluar

Bila torak meneruskan gerakannya ke TMA, tekanan di dalam silinder akan naik sehingga katup keluar akan terbuka oleh tekanan udara sehingga udara akan keluar. Langkah keluar dapat dilihat pada Gambar 2.9 di bawah ini.



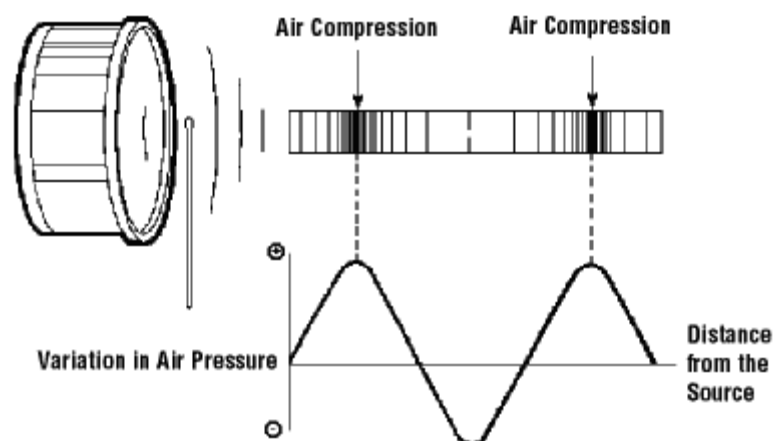
Gambar 2.9 Langkah keluar kompresor.

(Suharso, 1991).

D. Getaran dan Suara

Bunyi atau suara adalah kompresi mekanikal atau gelombang longitudinal yang merambat melalui medium pada kecepatan yang tergantung pada suhu. Medium atau zat perantara ini dapat berupa zat cair, padat, gas. Suara dihasilkan ketika sebuah objek bergetar (Tinta, 2009). Ketika sebuah objek bergetar, molekul udara di sekitar objek juga bergetar. Objek yang bergetar (selama mereka tidak berada dalam ruang hampa) menghasilkan suara. Suara berjalan pada tingkat yang berbeda dalam media yang berbeda. Setiap molekul bergerak maju-mundur pada jarak kecil, tetapi cukup untuk menyebabkan partikel-partikel udara untuk saling bertabrakan. Hal ini

menciptakan daerah dimana terdapat banyak molekul yang berdekatan (memampat) dan daerah-daerah dimana molekul tersebar berjauhan (merenggang). Pemampatan dan perenggangan ini bergerak ke luar menjauhi sumber suara dalam suatu bentuk lingkaran. Sebuah gelombang suara terbentuk ketika ada perubahan tekanan (gelombang bergerak melalui udara).



Gambar 2.10 Pembangkitan Gelombang Suara

Pada awalnya komponen mesin dapat bergetar dikarenakan adanya gesekan antara 2 atau lebih komponen mesin pada saat mesin sedang berputar. Getaran mesin kemudian dipropagasikan melalui komponen-komponen mesin, kemudian baru keluar dari badan mesin sehingga menimbulkan suara. Perbedaan getaran dapat diakibatkan karena performa dari mesin telah berkurang akibat kerusakan pada mesin. Perbedaan getaran pada akhirnya akan menimbulkan perbedaan suara yang keluar dari mesin. Kerusakan pada mesin yang semakin parah akan menyebabkan bunyi yang khas dan semakin lama semakin keras (Stoimenov, 2001).

E. Gelombang Suara

Suara merupakan gelombang yang mengandung sejumlah komponen penting (amplitudo, panjang gelombang dan frekuensi) yang dapat menyebabkan suara yang satu berbeda dari suara lain. Amplitudo adalah kekuatan atau daya gelombang sinyal. Tinggi gelombang yang bisa dilihat sebagai grafik, Gelombang yang lebih tinggi diinterpretasikan sebagai *volume* yang lebih tinggi, Suara beramplitudo lebih besar akan terdengar lebih keras. Frekuensi adalah jumlah dari siklus yang terjadi dalam satu detik. Satuan dari frekuensi adalah Hertz atau disingkat Hz. Getaran gelombang suara yang cepat membuat frekuensi semakin tinggi.

Gelombang suara adalah gelombang yang dihasilkan dari sebuah benda yang bergetar. Gelombang suara ini memiliki lembah dan bukit, satu buah lembah dan bukit akan menghasilkan satu siklus atau periode. Siklus ini berlangsung berulang-ulang, yang membawa pada konsep frekuensi. Telinga manusia dapat mendengar bunyi antara 20 Hz hingga 20 kHz (20.000 Hz) sesuai batasan sinyal audio. Karena pada dasarnya sinyal suara adalah sinyal yang dapat diterima oleh telinga manusia. Angka 20 Hz sebagai frekuensi suara terendah yang dapat didengar, sedangkan 20 kHz merupakan frekuensi tertinggi yang dapat didengar. Suara diciptakan oleh getaran dari suatu obyek, yang menyebabkan udara disekitarnya bergetar. Getaran udara ini kemudian menyebabkan gendang telinga manusia bergetar, yang kemudian oleh otak dianggap sebagai suara (Waluyanti, dkk. 2008)

F. Pengertian Pelumasan

Gesekan dan keausan dalam elemen mesin harus dikendalikan, supaya mesin tersebut dapat bekerja optimal baik pada saat stasioner maupun pada saat beban puncak/maksimum. Dengan mengendalikan gesekan pada elemen juga dapat memperpanjang masa hidup atau masa pakai mesin tersebut. Cara yang paling efektif dan banyak digunakan untuk mengendalikan gesekan tersebut adalah dengan suatu teknik yang disebut pelumasan. Pelumasan adalah suatu cara untuk mengurangi dan memperkecil gesekan dan keausan diantara permukaan-permukaan yang bergerak relatif satu sama lain dengan menempatkan bahan pelumas diantara kedua permukaan yang bergerak tersebut.

a. Jenis-jenis Pelumasan

1. Pelumasan Hidrodinamis

Pelumasan hidrodinamis (*Hydrodynamic Lubrication*) adalah tipe pelumasan dimana gerakan relatif dari gerakan meluncur pada sebuah permukaan. Dengan kata lain lapisan tipis pelumas dibangkitkan oleh gerakan relatif dari salah satu atau kedua permukaan itu sendiri. Lapisan tipis minyak pelumas (*oil film*) terbentuk akibat adanya gerakan meluncur dari *slider* terhadap permukaan yang diam yang membangkitkan *pressure wedge*. Pelumasan hidrodinamis umumnya diaplikasikan pada permukaan bidang dengan gerakan meluncur, misalnya poros yang menggunakan bantalan luncur (*journal bearing*).

2. Pelumasan Elastohidrodinamis

Pelumasan elastohidrodinamis (*Elastohydrodynamic Lubrication*) juga merupakan bentuk dari pelumasan hidrodinamis, tetapi pada pelumasan elastohidrodinamis deformasi elastis dari permukaan yang dilumasi menjadi sangat besar. Artinya terjadi kontak bidang permukaan yang bergesekan sangat kecil, sehingga timbul tekanan yang demikian besar pada lapisan tipis minyak pelumas yang membatasi kedua permukaan itu. Misalnya pada bantalan gelinding (*roller bearing*), mimi (*ball/roller*) akan menekan cincin sehingga terjadi deformasi elastis biarpun gaya yang diberikan demikian kecilnya.

3. Pelumasan Bidang Batas

Pelumasan bidang batas (*Boundary Lubrication*) mengacu pada situasi kombinasi geometri kontak, beban relatif besar, kecepatan rendah , kuantitas pelumas yang tidak cukup sehingga tidak dimungkinkan untuk membangkitkan lapisan tipis minyak pelumas yang sempurna pada bagian yang bersinggungan.

4. Pelumasan Tekanan Ekstrim

Pelumasan tekanan ekstrim mengacu pada kondisi apabila kontak yang terjadi di bawah pengaruh kerja paling hebat/ekstrim, seperti pada pemotongan logam atau roda gigi yang mengalami beban kejut.

5. Pelumasan Padat

Pelumasan padat (*Solid Lubrication*) adalah sistem pelumasan dimana diantara permukaan kontak saling melumasi sendiri oleh bahan padat yang dilapisi dan kadang menyatu pada elemen tersebut (Allanda, 2013).

b. Fungsi Pelumas

Fungsi utama Pelumas diantaranya sesuai dengan kondisi penggunaan dilapangan adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi gesekan (*Reduce friction*)

Tujuan utama dari pelumas adalah untuk menurunkan gesekan, pelumasan itu sendiri berarti memisahkan dua permukaan yang bergerak dengan memberikan selaput pelumas diantara dua permukaan tersebut. Sebagai anti *friction* pelumas tidak dapat diabaikan begitu saja dalam pemilihannya sebelum dipakai dalam permesinan.

2. Menurunkan keausan (*Reduce Wear*)

Keausan bagian mesin biasanya disebabkan karena gesekan, jika gesekan bisa dikurangi dengan pemberian pelumas berarti proses keausan juga akan kurang.

3. Membantu menahan hentakan

Alasan lain pelumasan adalah membantu meredam hentakan. Suatu pelumasan bisa membantu menyerap hentakan antara dua metal yang bersentuhan (kontak) langsung yang sering terjadi pada gerakan mekanis.

4. Kemampuan untuk mendinginkan elemen-elemen yang bergerak

Panas yang ditimbulkan oleh gesekan dapat menyebabkan banyak masalah pada mesin, beberapa komponen akan mengembang lebih cepat dari yang lainnya, akan tetapi walaupun tingkat pengembangan komponen tersebut rendah, tetap akan menjadi masalah jika temperatur naik cukup besar.

5. Mencegah terjadinya karat

Fungsi lain yang sangat penting dari pelumasan adalah untuk mencegah karat atau menahan karat dan korosi. Pelumas akan bekerja menahan karat pada waktu membentuk suatu lapisan pelindung pada bagian-bagian metal mesin. Lapisan pelumas akan membendung kontak langsung antara metal dengan oksigen, sehingga metal tersebut tidak teroksidasi (Pramono, 2011).

c. Karakteristik Pelumas

Pelumas memiliki variabel atau parameter yang mewakili kondisi di dalamnya, parameter kalitas pelumas didasarkan pada nilai-nilai:

1. Viskositas
2. Kandungan air
3. Kandungan garam
4. Polutan padat terlarut seperti debu/kotoran
5. Total nilai basa
6. Total nilai asam

Parameter-parameter tersebut akan mengalami perubahan jika terjadi kerusakan pada pelumas yang disebabkan adanya partikel asing yang terlarut.

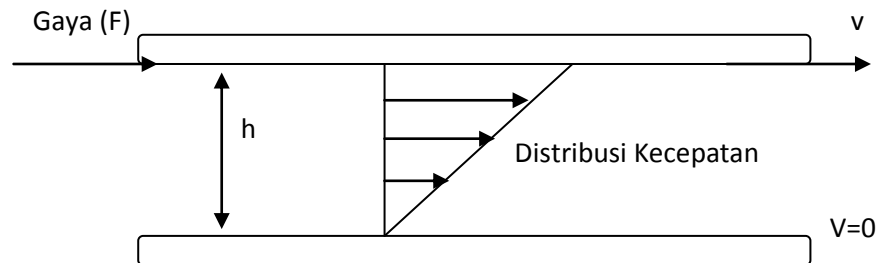
Penurunan kualitas pelumas tersebut akan sangat membahayakan kinerja kerja mesin bahkan dapat menyebabkan gagal mesin (Hudoyo, 2013).

G. Viskositas

Viskositas adalah gesekan internal fluida. Gaya viskos melawan gerakan sebagian fluida relatif terhadap yang lain. Viskositas adalah suatu pernyataan “tahanan untuk mengalir” dari suatu sistem yang mendapatkan suatu tekanan. Semakin kental suatu cairan, maka semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk membuatnya mengalir pada kecepatan tertentu. Viskositas fluida dinotasikan dengan η (“eta”) sebagai rasio tegangan geser. Untuk mengukur besaran viskositas diperlukan satuan ukuran. Dalam sistem standar internasional satuan viskositas ditetapkan sebagai viskositas kinematik dengan satuan ukuran mm^2/s atau cm^2/s . Nilai $1 \text{ cm}^2/\text{s} = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$, dan nilai $1 \text{ cm}^2/\text{s} = 1 \text{ St}$ (Stokes) (Young, 2002).

Viskositas terdapat pada zat cair maupun gas, pada zat cair, viskositas disebabkan oleh gaya kohesi antar molekul, sedangkan pada gas terjadi akibat tumbukan antar molekul. Fluida yang berbeda memiliki besar viskositas yang berbeda, misal sirup lebih kental dari air, minyak lemak lebih kental dari minyak mesin, zat cair pada umumnya jauh lebih kental dari gas. Viskositas juga dapat dinyatakan sebagai tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara molekul–molekul cairan satu dengan yang lain. Suatu jenis cairan yang mudah mengalir, dapat dikatakan memiliki viskositas yang rendah, dan sebaliknya bahan yang sulit mengalir dikatakan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran viskos dapat digambarkan dengan dua buah bidang sejajar yang

dilapisi fluida tipis diantara kedua bidang tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Aliran viskos

Suatu bidang permukaan bawah yang tetap dibatasi oleh lapisan fluida setebal h , sejajar dengan suatu bidang permukaan atas yang bergerak seluas A . Jika bidang bagian atas itu ringan, yang berarti tidak memberikan beban pada lapisan fluida dibawahnya, maka tidak ada gaya tekan yang bekerja pada lapisan fluida. Suatu gaya F dikenakan pada bidang bagian atas yang menyebabkan bergerakinya bidang atas dengan kecepatan konstan v , maka fluida di bawahnya akan membentuk suatu lapisan-lapisan yang saling bergeseran. Setiap lapisan tersebut akan memberikan tegangan geser (σ) sebesar F/A yang seragam, dengan kecepatan lapisan fluida yang paling atas sebesar v dan kecepatan lapisan fluida paling bawah sama dengan nol. Maka kecepatan geser (γ) pada lapisan fluida disuatu tempat pada jarak y dari bidang tetap, dengan tidak adanya tekanan fluida dapat dilihat pada Persamaan 2-7 berikut ini:

$$\gamma = \frac{v}{y} = \frac{v}{h} \quad (2-7)$$

Menurut Newton hubungan antara gaya-gaya suatu aliran viskos sebagai geseran dalam (viskositas) fluida adalah konstan sehubungan dengan gesekannya. Hubungan tersebut berlaku untuk fluida Newtonian, dimana perbandingan antara tegangan geser (σ) dengan kecepatan gesernya (γ) konstan. Parameter inilah yang disebut dengan viskositas. Pada fluida Newtonian perbandingan antara besaran kecepatan geser dan tegangan geser adalah konstan.

$$\sigma = \eta \gamma$$

$$\eta = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (2-8)$$

Parameter (η) ini didefinisikan sebagai viskositas absolut (dinamis) dari suatu fluida. Maka besaran viskositas dapat dinyatakan dengan Persamaan 2-9:

$$\eta = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{F/A}{v/h} = \frac{Fh}{Av} \quad (2-9)$$

keterangan:

F = gaya yang bekerja (N);

A = luas keping yang bersentuhan dengan fluida (m^2);

v = kelajuan fluida (m/s);

h = jarak antar keping (m);

η = koefisien viskositas Kg/ms atau Pa/s.

Besaran viskositas berbanding terbalik dengan perubahan temperatur. Kenaikan temperatur akan melemahkan ikatan antar molekul suatu jenis cairan sehingga akan menurunkan nilai viskositasnya (Young, 2002).

H. Pengukuran Viskositas Dengan Buret (Metode Stormer)

Viskositas suatu zat cairan murni atau larutan merupakan indeks hambatan aliran cairan. Viskositas dapat diukur dengan mengukur laju aliran cairan, yang melalui tabung berbentuk silinder. Cara ini merupakan salah satu cara yang paling mudah dan dapat digunakan baik untuk cairan maupun gas (Bird, 1993). Viskositas adalah indeks hambatan aliran cairan. Viskositas dapat diukur dengan mengukur laju aliran cairan yang melalui tabung berbentuk silinder. Viskositas ini juga disebut sebagai kekentalan suatu zat. Jumlah volume cairan yang mengalir melalui pipa per satuan waktu. Hubungan antara viskositas dengan kecepatan aliran yang laminar melalui suatu pipa dinyatakan oleh persamaan Poiseuille sebagai berikut.

$$\eta = \frac{\pi r^4 P t}{8 V L} \quad (2-10)$$

keterangan:

V = volume fluida dalam cm^3 ;

t = waktu yang diperlukan fluida untuk mengalir melalui pipa (sekon);

r = jari-jari pipa (cm);

L = panjang pipa (cm);

P = tekanan (gr/cm^2).

(Young dan Freedman, 2002).

Metode stormer yaitu metode pengukuran viskositas menggunakan buret. Sebelum dilakukan percobaan untuk mengukur viskositas menggunakan metode stormer, harus ditentukan terlebih dahulu densitas (massa jenis) dari

masing-masing pelumas. Massa jenis dari pelumas dapat ditentukan dari besar perbandingan massa pelumas (m) terhadap volume pelumas (V), dengan persamaan matematis sebagai berikut.

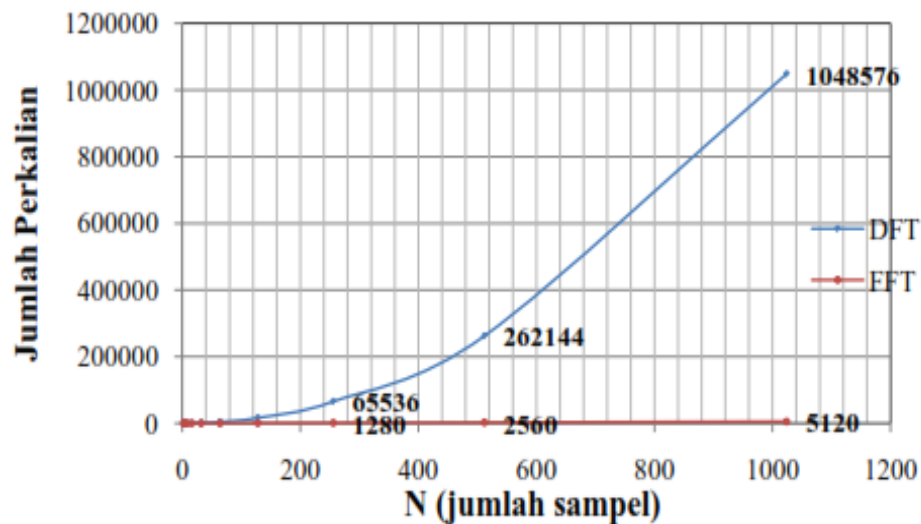
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-11)$$

I. *Fast Fourier Transform*

Proses penting dalam pemrosesan sinyal digital adalah menganalisis suatu sinyal *input* maupun *output* untuk mengetahui karakteristik sistem fisis tertentu dari sinyal. Proses analisis dan sintesis dalam domain waktu memerlukan analisis cukup panjang dengan melibatkan turunan dari fungsi, yang dapat menimbulkan ketidaktepatan hasil analisis. Analisis dan sintesis sinyal akan lebih mudah dilakukan pada domain frekuensi, karena besaran yang paling menentukan suatu sinyal adalah frekuensi. Salah satu teknik untuk menganalisis sinyal adalah mentransformasikan (alih bentuk) sinyal yang semula analog menjadi diskrit dalam domain waktu, dan kemudian diubah ke dalam domain frekuensi.

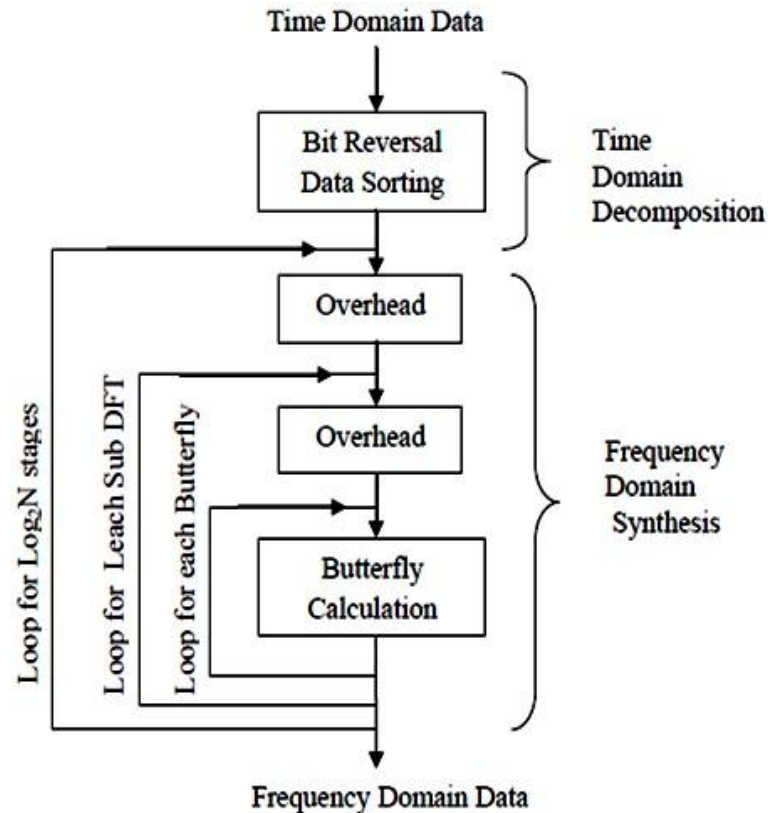
Fast fourier transform merupakan salah satu cara untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Dari bermacam-macam algoritma FFT yang dikembangkan, algoritma FFT radix-2 merupakan proses yang sangat efisien untuk melakukan DFT yang memiliki kendala pada ukuran jumlah titik dipangkatkan dua. FFT radix-2 menghilangkan redundansi dan mengurangi jumlah operasi aritmatika yang diperlukan. Sebuah DFT 8-titik, harus melakukan N^2 atau 64 perkalian

kompleks. Sedangkan FFT melakukan $(N/2)\log_2 N$ yang memberikan penurunan yang signifikan dari N^2 perkalian kompleks. Ketika $N = 512$ maka DFT memerlukan 200 kali perkalian kompleks dari yang diperlukan oleh FFT.



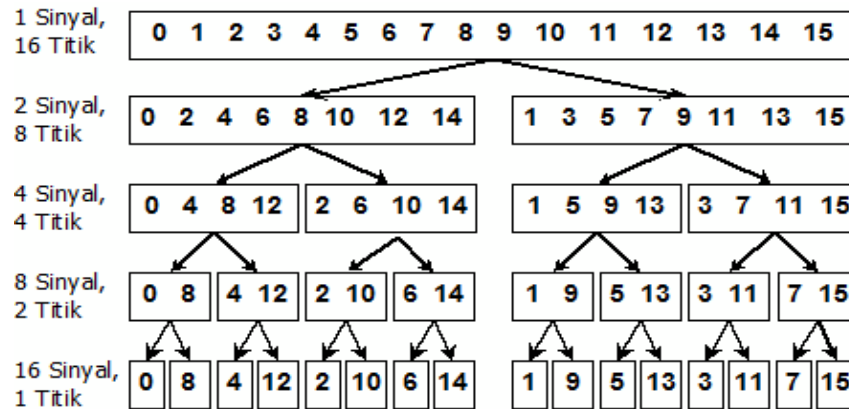
Gambar 2.12 Perbandingan jumlah perkalian kompleks DFT dengan FFT.

FFT beroperasi dimulai dengan menguraikan (dekomposisi) sinyal domain waktu titik N ke N sinyal domain waktu hingga masing-masing terdiri dari satu titik. Selanjutnya menghitung N frekuensi spektrum yang berkorespondensi dengan N sinyal domain waktu. Terakhir, spektrum N disintesis menjadi spektrum frekuensi tunggal.



Gambar 2.13 Diagram Alir FFT (Lyons, 1997).

Dalam proses dekomposisi diperlukan tahapan Log_2N . Sebagai contoh, sinyal 16 titik (2^4) memerlukan 4 tahapan, sinyal 512 titik (2^9) membutuhkan 9 tahap, sinyal 4096 titik (2^{12}) membutuhkan 12 tahapan. Dalam Gambar 2.14, sinyal 16 titik terurai melalui empat tahap yang terpisah. Tahap pertama memisahkan sinyal 16 titik menjadi dua sinyal masing-masing terdiri dari 8 titik. Tahap kedua menguraikan data menjadi empat sinyal terdiri dari 4 titik. Pola ini berlanjut sampai sinyal N terdiri dari satu titik. Dekomposisi digunakan setiap kali sinyal dipecah menjadi dua, yaitu sinyal dipisahkan menjadi sampel genap dan sampel ganjil.



Gambar 2.14 Contoh dekomposisi sinyal domain waktu di FFT (Lyons, 1997)

Setelah dekomposisi, dilakukan Pengurutan Pembalikan Bit (*Bit Reversal Sorting*), yaitu menata ulang urutan sampel sinyal domain waktu N dengan menghitung dalam biner dengan bit membalik dari kiri ke kanan. Asumsi N adalah kelipatan dari 2, yaitu $N = 2^r$ untuk beberapa bilangan bulat $r=1, 2$, dst. Algoritma FFT memecah sampel menjadi dua bagian yaitu bagian genap dan bagian ganjil.

Tabel 2.1 Pengurutan Pembalikan Bit

Titik ke- (Awal)	Biner (Awal)	Biner (Akhir)	Titik ke- (Akhir)
0	0000	0000	0
1	0001	1000	8
2	0010	0100	4
3	0011	1100	12
4	0100	0010	2
5	0101	1010	10
6	0110	0110	6
7	0111	1110	14
8	1000	0001	1
9	1001	1001	9
10	1010	0101	5
11	1011	1101	13
12	1100	0011	3
13	1101	1011	11
14	1110	0111	7
15	1111	1111	15

Persamaan 2-12 dibagi menjadi bagian ganjil dan bagian genap sebagai berikut.

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi mn/N} \quad (2-12)$$

$$X(m) = \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n)e^{-j2\pi(2nm)/N} + e^{-j2\pi m/N} \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1)e^{-j2\pi(2nm)/N} \quad (2-13)$$

keterangan:

N = jumlah sampel *input*;

$X(m)$ = urutan ke- m komponen *output* FFT ($X(0), \dots, X(N-1)$);

m = indeks *output* FFT dalam domain frekuensi ($0, \dots, N-1$);

$x(2n)$ = urutan ke- n sampel *input* genap ($x(0), x(2), \dots, x(N-2)$);

$x(2n+1)$ = urutan ke- n sampel *input* ganjil ($x(1), x(3), \dots, x(N-1)$);

n = indeks sampel *input* dalam domain waktu ($0, \dots, N/2-1$);

j = konstanta bilangan imajiner ($\sqrt{-1}$);

π = derajat (180°);

e = basis logaritma natural ($\approx 2.718281828459\dots$).

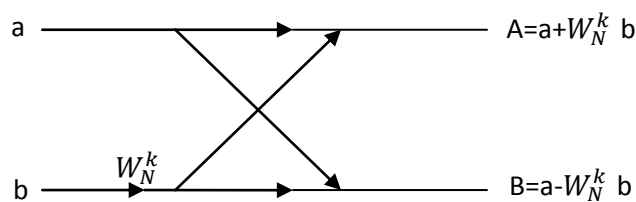
Karena rumusan yang didapat panjang, sehingga digunakan notasi standar untuk menyederhanakannya. Didefinisikan $W_N = e^{-j2\pi/N}$ yang merepresentasikan *nth root of unity*. Persamaan 2-13 dapat ditulis.

$$X(m) = \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n)W_N^{2nm} + W_N^m \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1)W_N^{2nm} \quad (2-14)$$

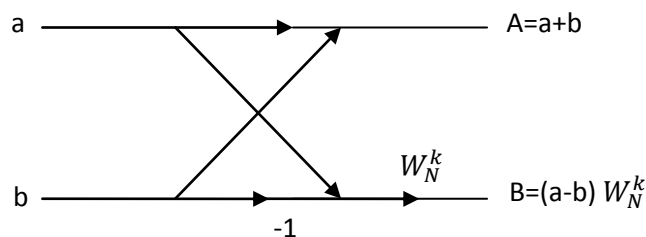
Karena $W_N^2 = e^{-j2\pi 2/N} = e^{-j2\pi/(N/2)}$, kemudian substitusikan $W_N^2 = W_{N/2}$. sehingga menjadi

$$X(m) = \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n)W_{N/2}^{nm} + W_N^m \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1)W_{N/2}^{nm} \quad (2-15)$$

Sintesis domain frekuensi membutuhkan tiga perulangan. Perulangan luar menjalankan tahapan $\log_2 N$ (setiap tingkat mulai dari bawah dan bergerak ke atas). Perulangan bagian tengah bergerak melalui masing-masing spektrum frekuensi individu dalam tahap sedang dikerjakan masing-masing kotak pada setiap tingkat). Dalam pemrosesan sinyal digital dikenal istilah *butterfly*. *Butterfly* digunakan untuk menggambarkan peruraian (*decimation*) yang terjadi. *Butterfly* adalah elemen komputasi dasar FFT, mengubah dua poin kompleks menjadi dua poin kompleks lainnya. Ada dua jenis peruraian, peruraian dalam waktu (*decimation in time-DIT*) dan peruraian dalam frekuensi (*decimation in frekuensi-DIF*). Gambar dari *butterfly* dasar tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16

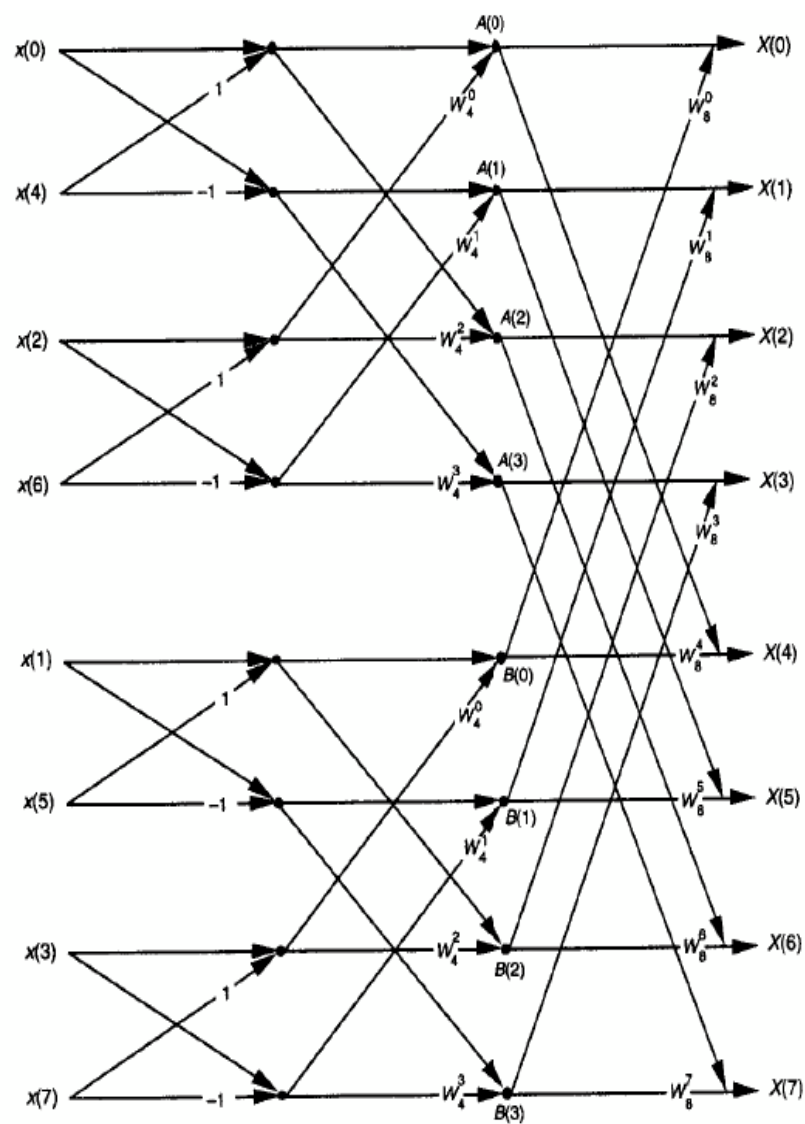


Gambar 2.15 FFT *butterfly* dasar untuk peruraian dalam waktu



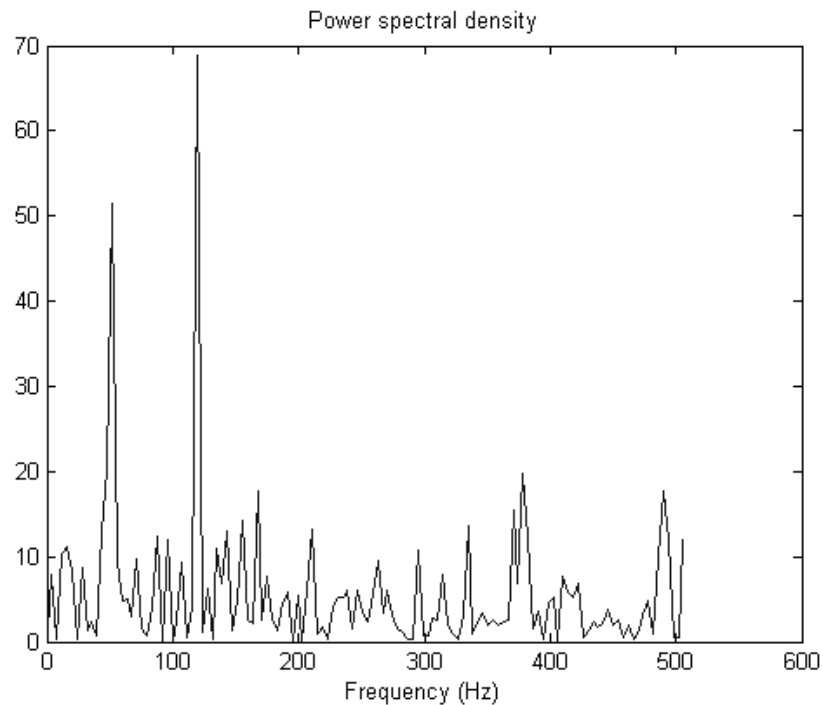
Gambar 2.16 FFT *butterfly* dasar untuk peruraian dalam frekuensi

Perulangan paling dalam menggunakan *butterfly* untuk menghitung poin dalam setiap spektrum frekuensi (perulangan melalui sampel dalam setiap kotak). Gambar 2.17 menunjukkan implemetasi FFT dari empat spektrum dua titik dan dua spektrum empat titik. Gambar 2.17 terbentuk dari pola dasar pada Gambar 2.16 berulang-ulang (Lyons, 1997).



Gambar 2.17 FFT sintesis *butterfly* (Lyons, 1997).

Berikut ini merupakan contoh gelombang yang telah diubah kedalam bentuk spektrum FFT (*Fast Fourier Transform*), yang ditampilkan pada Gambar 2.18 berikut.



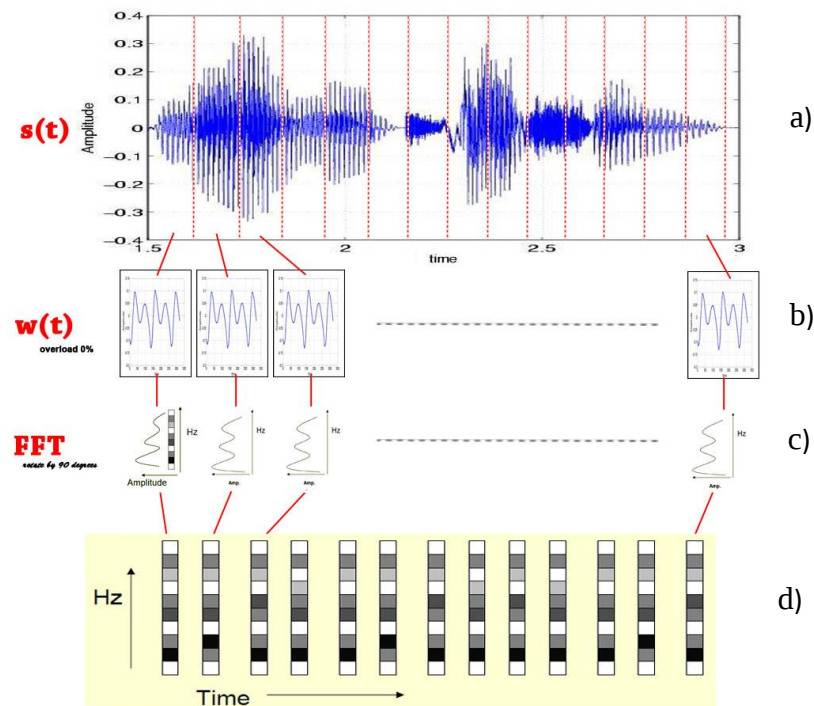
Gambar 2.18 Contoh spektrum FFT (*Fast Fourier Transform*)

(Matlab Function Reference, 2015).

J. *Short-Time Fourier Transform (STFT) dan Spectrogram*

Short-Time Fourier Transform (STFT) didasarkan pada Fourier Transform. Ide dasarnya adalah untuk memperkenalkan gagasan lokasi pewaktuan dengan menggunakan fungsi pergeseran *window* dalam kawasan waktu $w(t)$ pada sinyal $x(t)$. Sinyal STFT dibagi-bagi atas segmen yang cukup kecil (waktu yang singkat) dan dikalikan dengan fungsi *window*. Keterbatasan transformasi fourier adalah tidak adanya informasi waktu dari kemunculan

suatu frekuensi. Informasi waktu tersembunyi dan tidak terakses dalam domain frekuensi, akibatnya transformasi fourier tidak cocok diterapkan pada sinyal yang frekuensinya bervariasi terhadap waktu. Metode STFT cocok diterapkan pada sinyal yang memiliki frekuensi bervariasi terhadap waktu karena dapat menampilkan informasi waktu dari kemunculan suatu frekuensi (Bistok, 2007., Djebbari dan Reguig, 2000).



Gambar 2.19. Proses Metode Akuisisi Sinyal *Spectrogram* a) contoh sinyal, b) fungsi *window*, c) FFT, d) *Spectrogram* (Prahallad, 2003).

Transformasi STFT pada suatu sinyal $x(t)$ berawal dari transformasi fourier yang ditunjukkan pada persamaan (2.16) berikut.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.16)$$

Titik sampel pada domain waktu dimisalkan τ dengan *window* $w(t-\tau)$, maka sampel sinyal $x(t)$ adalah sebagai berikut.

$$x(t(\tau)) = x(t) \cdot w(t - \tau) \quad (2.17)$$

Window pada transformasi STFT adalah simetri $w(t) = w(-t)$ sehingga $w(t - \tau) = w^*(t - \tau)$.

$$STFT_x(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) w^*(t - \tau) e^{-j\omega t} dt \quad (2.18)$$

keterangan:

$w(t - \tau)$ = *window* yang umum digunakan;

* = konjugat kompleks;

τ = sampel titik dalam domain waktu;

$x(t)$ = sampel sinyal.

Window yang umum digunakan adalah *Gaussian window* dan dengan mengalikan *window* $w^*(t - \tau)$ dengan sinyal $x(t)$ dalam domain waktu, maka sinyal $x(t)$ akan terbagi sepanjang waktunya. Transformasi fourier dari $x(t)w^*(t - t')$ memberikan spektrum disetiap waktu t (Gambar 2.19).

Pembagian sinyal $x(t)$ mengarah kepada resolusi waktu dan frekuensi. Durasi *window* STFT yang pendek akan menghasilkan resolusi waktu yang baik, sebaliknya dengan durasi *window* yang lama akan menghasilkan resolusi frekuensi yang baik. *Spectrogram* merupakan hasil dari transformasi fourier yang ditampilkan dalam peta waktu-frekuensi dari fungsi *sort time fourier transform* (STFT). *Spectrogram* dapat diperoleh dengan memangkatkan STFT pada persamaan (2.18) tersebut dengan kuadrat modulus, maka akan diperoleh kerapatan spektral energi, yang sering disebut STFT *spectrogram* (Lu dan Zhang, 2009).

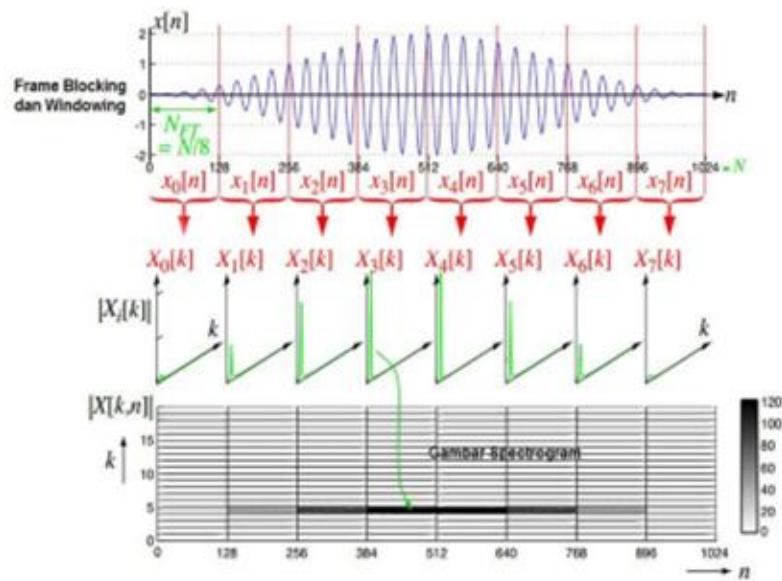
Persamaan spektrum *spectrogram* ditunjukkan oleh persamaan (2.19) berikut ini.

$$SPEC_x(\omega, \tau) = |STFT_x(\omega, \tau)|^2$$

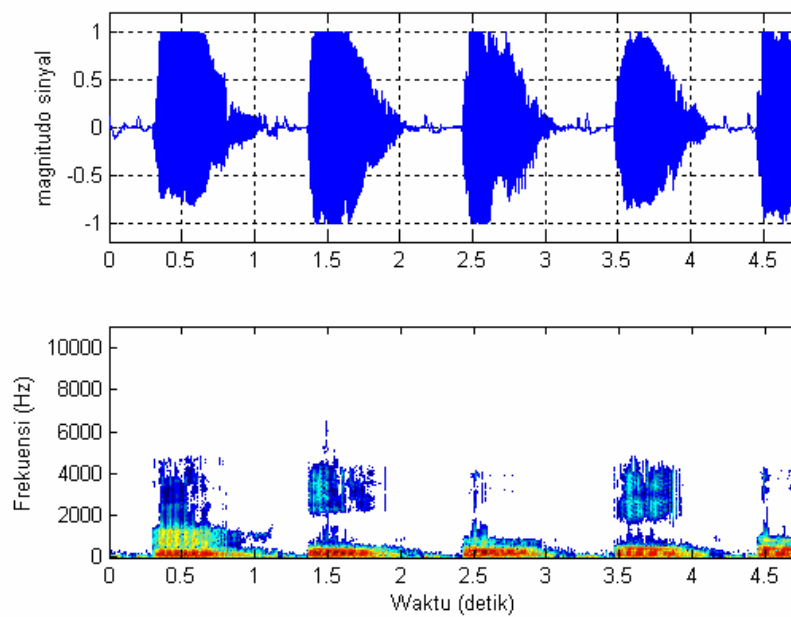
$$SPEC_x(\omega, \tau) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) w^*(t - \tau) e^{-j\omega t} \right|^2 \quad (2.19)$$

- ***Spectrogram* dalam Sinyal Suara**

Spectrogram biasanya direpresentasikan dalam visual dan bunyi berbentuk dua dimensi yang menggambarkan hubungan frekuensi terhadap waktu, sementara amplitudo ditandai oleh kecerahan dan warna. Diagram spektrum *spectrogram* adalah sebuah gambaran pola pengucapan suatu kata atau kalimat yang berguna untuk melihat kondisi dari sebuah gelombang yang kompleks dalam rentang waktu yang singkat. Namun dalam ucapan, suara berubah-ubah secara konstan terhadap waktu sehingga *spectrogram* merupakan sebuah cara yang sangat cocok untuk menggambarkan diagram perubahan spektrum suara sepanjang sumbu waktu. Dalam sebuah *spectrogram*, dimensi horizontal merepresentasikan waktu sedangkan dimensi vertikal merepresentasikan frekuensi. Setiap potongan tipis vertikal dari sebuah *spectrogram* menunjukkan spektrum selama rentang waktu yang singkat. Area yang lebih pekat (gelap) menunjukkan bahwa pada frekuensi tersebut memiliki amplitudo yang besar. Salah satu cara untuk mencirikan sinyal wicara dan merepresentasikan suaranya adalah melalui representasi *spectral*. Cara yang paling populer adalah *sound spectrogram* yang mana merupakan suatu bentuk *gray scale image* yang merepresentasikan nilai frekuensi sinyal pada waktu tertentu (Nurjaya, 2011).



Gambar 2.20 Pembentukan *spectrogram* dari STFT (Sagala, 2014).



Gambar 2.21. Bentuk *spectrogram* dan *waveform* a-i-u-e-o (Rabiner and Juang, 1993)

Gambar 2.21 merupakan contoh dari *spectrogram* dan *waveform*. Intensitas *spectral* pada suatu titik waktu ditunjukkan dengan tingkat warna yang merupakan suatu bentuk analisis frekuensi partikular dari sinyal wicara yang

sedang diamati. Nilai $t = 1.5$ detik tampak bahwa banyak nilai frekuensi muncul pada bagian *spectrogram*-nya, ini sesuai dengan tampilan grafik domain waktu yang menunjukkan simpangan gelombang pada waktu tersebut cukup tinggi dan beragam. Sedangkan pada nilai $t = 2.3$ detik tampak *spectrogram* menunjukkan sedikit sekali warna hitam, yang menunjukkan komponen frekuensi yang muncul sangat sedikit, ini sesuai dengan bentuk gelombang dalam domain waktu yang hampir tidak ada sinyal (Rabiner and Juang, 1993).

K. Perangkat Lunak Matlab

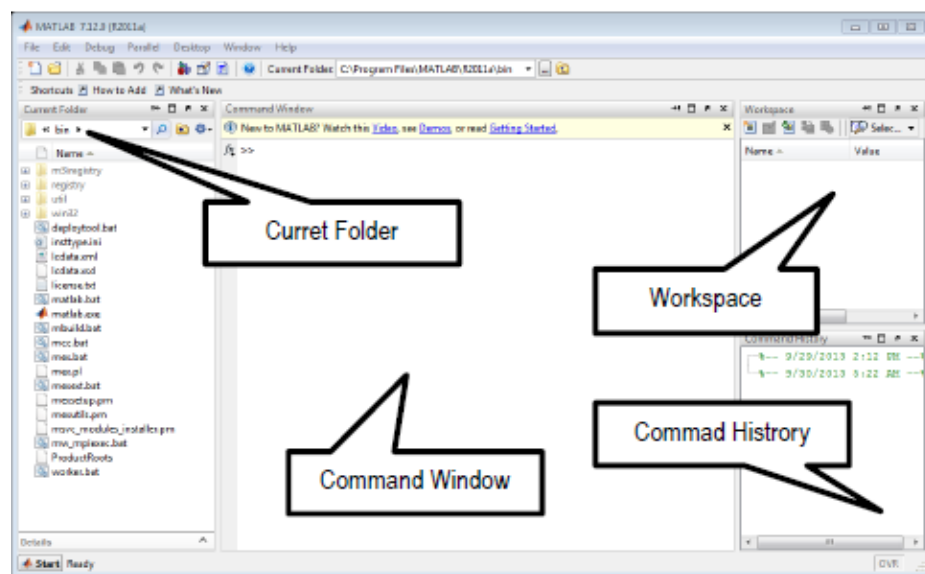
Matlab merupakan *software* yang handal untuk menyelesaikan berbagai permasalahan komputasi numerik yang diproduksi oleh The Mathwork, Inc. Solusi dari permasalahan yang berhubungan dengan vektor dan matriks dapat diselesaikan dengan mudah dan sederhana menggunakan *software* ini. Bahkan, *software* ini dapat memecahkan inversi matriks dan persamaan linear dengan cepat dan mudah sekali.

Ada beberapa *toolbox* yang disediakan Matlab untuk menyelesaikan kasus yang lebih khusus, antara lain:

- *Image processing* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan pengolahan citra;
- *Signal Processing* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan pengolahan sinyal;
- *Neural Network* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan jaringan saraf tiruan (Irawan, 2012).

➤ Lingkungan Kerja Matlab

Matlab menyediakan lingkungan kerja terpadu layaknya bahasa pemrograman lainnya. Lingkungan terpadu ini senantiasa dilengkapi seiring dengan pembaruan versinya. Lingkungan terpadu ini terdiri beberapa *form/window* yang memiliki fungsi masing-masing. Gambar 2.22 adalah tampilan *form* utama dari Matlab.



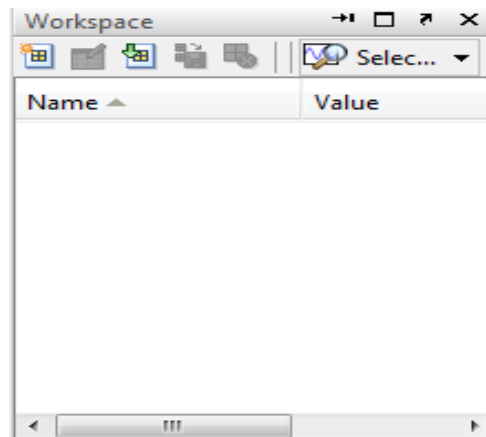
Gambar 2.22 Tampilan *window* utama Matlab

Window Utama Matlab

Window ini merupakan *window* induk yang melingkupi seluruh lingkungan kerja Matlab. Pada versi-versi sebelumnya, *window* ini secara khusus belum ada namun terintegrasi dengan *command window*. Tidak ada fungsi utama yang ditawarkan oleh *window* ini selain sebagai tempat *dock-ing* bagi *form* yang lain.

Workspace window

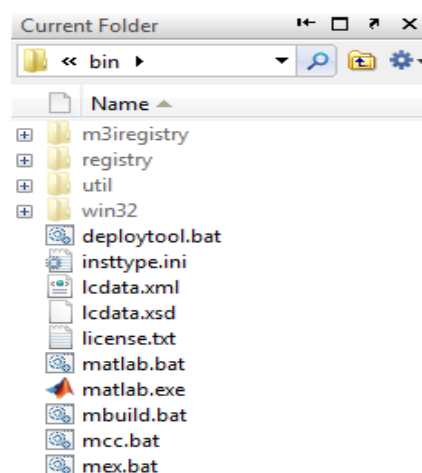
Workspace adalah suatu lingkungan abstrak yang menyimpan seluruh variabel dan perintah yang pernah digunakan selama penggunaan Matlab berlangsung. Tampilan *workspace* dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Tampilan *Workspace*

Current Folder Window

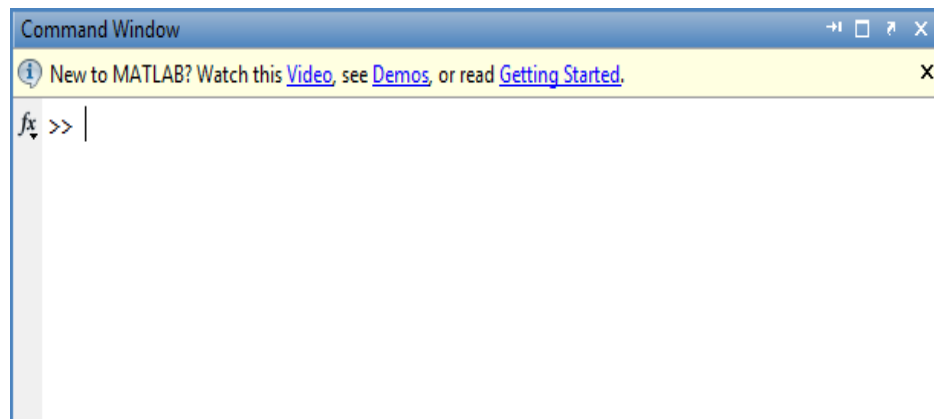
Window ini berfungsi sebagai browser direktori aktif yang hampir sama dengan *window explorer*. Tampilan *current folder window* dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Tampilan *Current Folder Window*

Command History

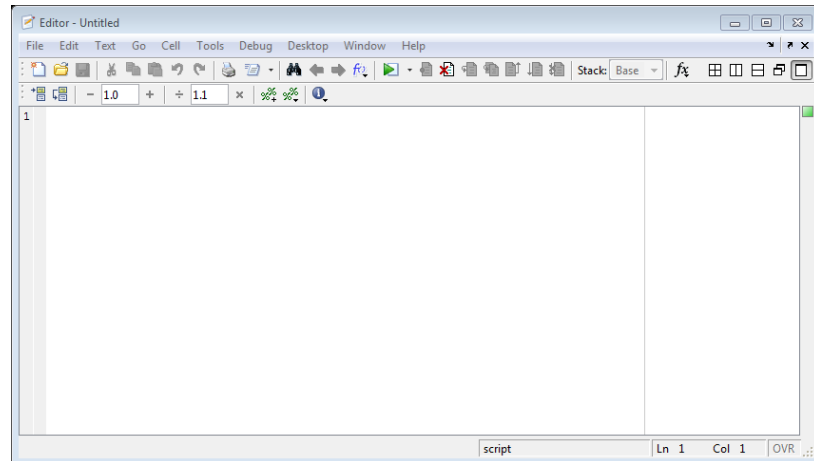
Window ini berfungsi sebagai penyimpan perintah-perintah yang pernah dikerjakan pada suatu *workspace*. Untuk tampilan *command history* dapat dilihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Tampilan *Command Window*

Matlab Editor

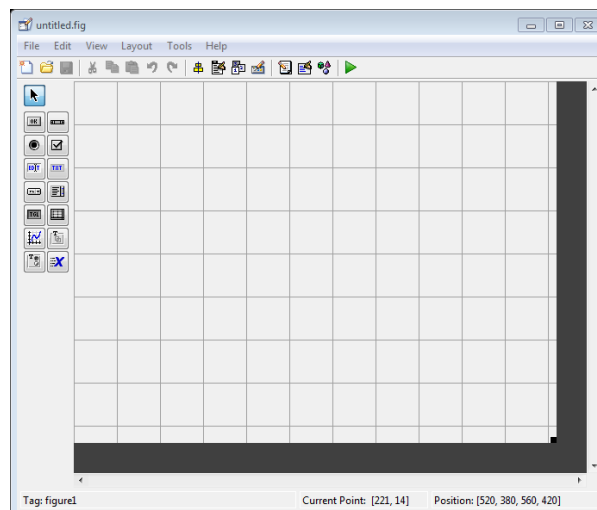
Window ini berfungsi untuk membuat skrip program Matlab. Walaupun skrip program dapat dibuat dengan menggunakan berbagai program *editor* seperti Notepad, Wordpad, Word dan lain-lain. Namun sangat dianjurkan untuk menggunakan Matlab *editor* ini karena kemampuannya dalam mendeteksi kesalahan pengetikan sintak oleh programmer. Saat *window* utama Matlab muncul, *window* Matlab *editor* tidak akan muncul dengan sendirinya. Untuk menampilkan Matlab *editor* dilakukan dengan cara mengetikkan “edit” (tanpa tanda petik) pada *prompt* Matlab atau dengan cara mengklik pada icon Creat New. Tampilan Matlab *editor* dapat dilihat pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Tampilan Matlab *editor*

Graphical User Interface (GUI)

Interaksi antara user dengan perintah teks semakin dipermudah dengan adanya GUI. GUI merupakan tampilan grafis yang membuat program menjadi lebih *user friendly*. Untuk membuka lembar kerja GUI dalam Matlab dapat digunakan cara mengklik File, New, GUI atau mengetikkan `guide` pada command window. Tampilan GUI dapat dilihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Tampilan GUI pada Matlab

➤ Bekerja dengan Matlab

Membuat sebuah program pada Matlab dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu langsung mengetikkan di *command window* atau menggunakan M File.

1) Langsung di *Command Window*

Cara ini yang sering digunakan oleh pemula, namun akan sulit bagi seorang user untuk mengevaluasi perintah secara keseluruhan karena biasanya perintah hanya dilakukan baris per baris.

2) Menggunakan M File

Cara ini biasanya digunakan oleh programmer yang lebih mahir. Kelebihan cara ini terletak pada kemudahan untuk mengevaluasi perintah secara keseluruhan. Terutama untuk program yang membutuhkan waktu pengerjaan yang cukup lama serta skrip yang cukup panjang (Hasibuan, 2014).