

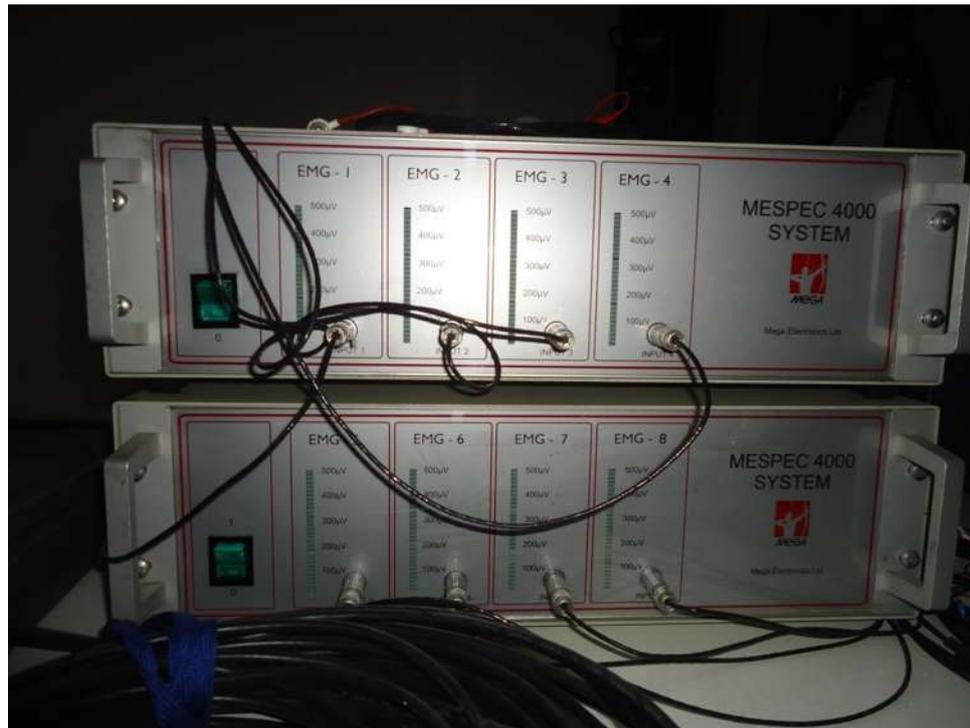
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Electromyograph*

Electromyography adalah pemeriksaan elektrodagnosis untuk memeriksa saraf perifer dan otot. Prinsip kerjanya adalah merekam gelombang potensial yang ditimbulkan baik oleh otot maupun saraf. (Poernomo,2003 dalam Terecia, 2005)

Electromyograph adalah suatu alat yang digunakan untuk merekam aktivitas elektrik dari otot untuk menentukan apakah otot sedang melakukan kontraksi atau tidak, serta menampilkan pada *Cathode Ray Oscilloscope (CRO)*. *Electromyograph* merekam aktivitas elektrik yang ditimbulkan pada suatu otot akibat terjadinya kontraksi. Kontraksi ini menghasilkan tegangan pada otot berkisar antara 50 μV sampai 5 mV dan durasinya 2 sampai 15 ms. Nilainya bergantung kepada posisi anatomi dari otot, ukuran dan penempatan elektroda. Pada otot yang berelaksasi normalnya tidak ada tegangan yang dihasilkan. Instrumen ini bermanfaat untuk melakukan studi beberapa aspek fungsi neuromuscular, kondisi neuromuscular, luas luka syaraf, tanggapan refleks, dll. (Rokhana,2009)



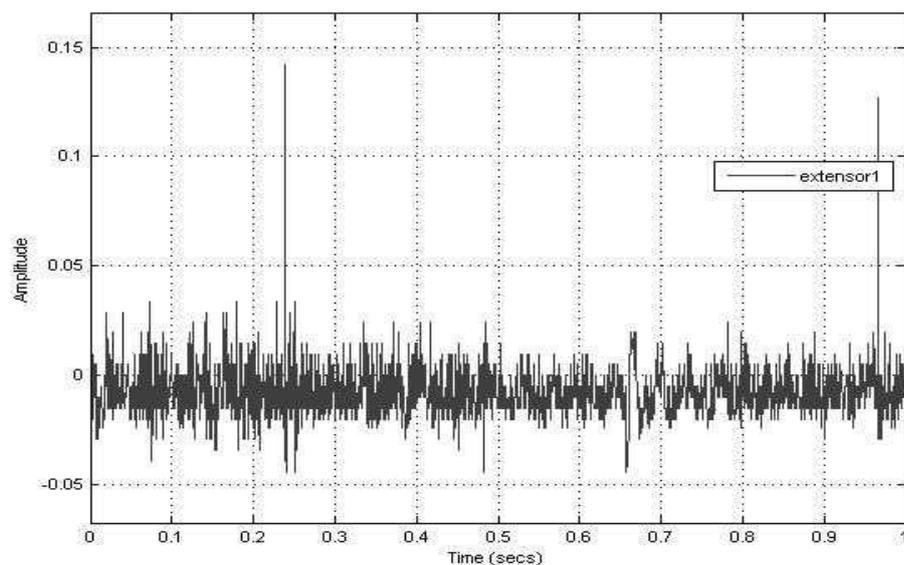
Gambar 2.1 *Electromyograph* (EMG)

(Sumber: Dokumentasi RSUD dr Soetomo)

Amplitudo dari sinyal EMG tergantung pada berbagai faktor, misalnya penempatan dan jenis elektroda yang digunakan dan tingkat derajat dari penggunaan otot. Jarum elektroda yang berhubungan langsung dengan serat otot tunggal akan mengambil denyutan tegangan sedangkan suatu elektroda permukaan mengambil banyak tegangan yang overlap dan oleh karena itu menghasilkan suatu efek tegangan rata-rata. (Mariam, 2006)

Suatu sinyal khas EMG terbentang dari 0.1 sampai 0.5 mV. Sinyal ini dapat berisi komponen frekuensi yang diperbesar sampai kepada 10 kHz. Isyarat seperti isyarat frekuensi tinggi tidak bisa direkam pada perekam pena yang konvensional dan oleh karena itu, mereka pada umumnya ditampilkan pada layar. (Terecia, 2005)

Prinsip kerja EMG adalah mengukur potensial otot. Seperti diketahui adanya aktifitas otot akan menimbulkan potensial aksi. Potensial listrik dalam otot tersebut terjadi akibat adanya reaksi kimia dalam otot. Dalam pemeriksaan EMG, karena kesulitan untuk mengisolasi sel otot tunggal maka perekaman aktivitas listrik selalu dilakukan untuk beberapa serabut otot. Sinyal listrik otot atau sekelompok otot berbentuk gelombang mirip bising (“noise”) yang amplitudonya bervariasi terhadap aktivitas otot. Pada kontraksi sedang, ampiltudonya diperkirakan 1 mV untuk $100\text{Hz} < \text{frekuensi} < 500\text{ Hz}$ dan 0,5 mV untuk $500\text{ Hz} < \text{frekuensi} < 2000\text{ Hz}$ (Cameron, 2006), sebagai contoh bentuk sinyal EMG lihat gambar 2.2



Gambar 2.2 Sinyal EMG (Sumber: Dokumentasi RSUD dr Soetomo)

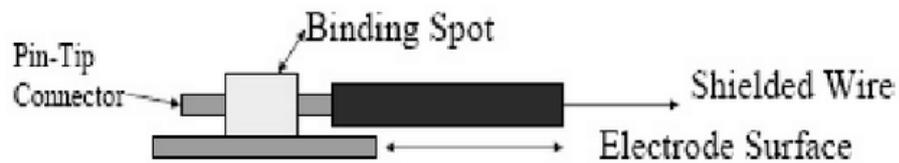
Amplitudo pada frekuensi 100 Hz memiliki respons yang lebih baik daripada amplitudo pada frekuensi yang lain, selain pada frekuensi 50 Hz yang termasuk gangguan. Hal ini dikarenakan sel otot ketika berkontraksi pada frekuensi sekitar 50 Hz dan 100 Hz (Weimer, 2005).

Pada perekaman sinyal EMG dibutuhkan suatu penghantar berupa elektroda guna mengirimkan sinyal tubuh pada instrument (EMG), elektroda memiliki banyak jenis bergantung dari kebutuhannya, salah satunya adalah *surface electrodes* (elektroda yang digunakan pada permukaan kulit manusia) yang digunakan untuk menyadap sinyal otot.

2.2 Surface Electrodes

Pada penelitian ini menggunakan elektroda permukaan kulit yang terbuat dari metal atau logam yang tahan karat. Elektroda permukaan diletakkan pada permukaan kulit dengan tujuan mengukur isyarat listrik dari sejumlah unit motoris. EMG juga menggunakan jenis elektroda jarum konsentris yang dimasukkan ke dalam kulit namun untuk mengukur aktivitas unit motoris tunggal (Gabriel, 1996)

Surface Electrodes (elektroda permukaan) dipakai untuk mengukur potensial listrik permukaan tubuh EKG, EEG dan EMG. Tahun 1917 elektroda ini mula-mula dipergunakan. Daerah yang akan diletakkan elektroda digosok dengan larutan saline ini (air garam fisiologis). Pemakaian larutan saline ini kemudian diganti gel atau pasta (suatu elektrolit). Pemakaian gel konduktif ini digunakan untuk mengurangi impedansi antara elektroda dan kulit. Gambar 2.3 Skematik *Surface Electrodes*



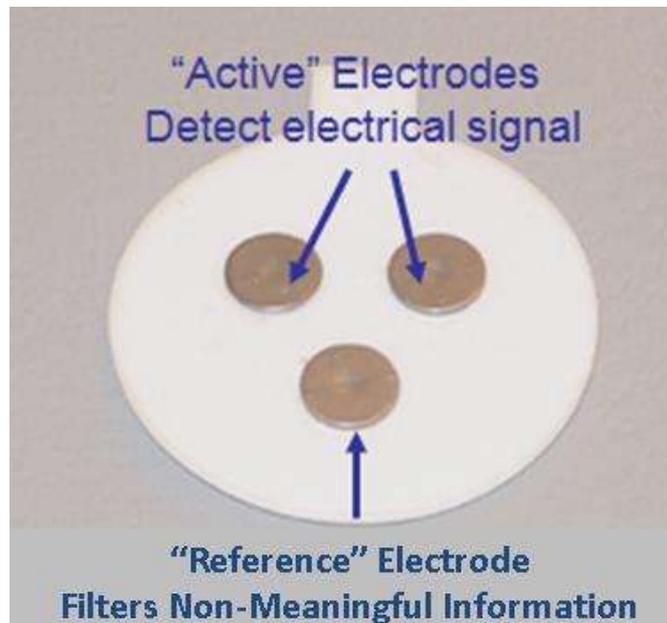
Gambar 2.3 Skematik *Surface Electrodes* (Gabriel, 2012)

Potensial pada permukaan tubuh sekitar $0,1 \mu\text{V}$ sampai beberapa mV. Konstruksi penempatan elektroda harus diperhatikan karena dapat memburuk dengan drastis apabila kontak dengan kulit kurang baik. Dalam pemakaiannya untuk memperoleh sinyal biolistrik, elektroda mempunyai berbagai jenis. Pemakaian elektroda invasif yang melukai kulit dan non-invasif yang tidak melukai kulit. Elektroda digunakan dengan bantuan gel elektrolit. Potensial elektroda dihasilkan oleh elektron yang meninggalkan gel elektrolit dan masuk ke logam.

Permukaan kulit memiliki resistansi yang tinggi, sehingga untuk mengurangi resistansi pada permukaan kulit digunakanlah pasta elektrolit. Resistansi pada permukaan kulit yang kering $93 \text{ k}\Omega$, sedangkan pada kulit yang dioleskan elektroda gel adalah $10,3 \text{ k}\Omega$ (Aston, 1990 dalam Mariam, 2006)

Pemakaian pasta elektrolit pada elektroda selain bisa mengurangi nilai resistansi yang sangat besar pada permukaan kulit, juga bisa meminimalisir noise yang terjadi. Pasta elektrolit ini berperilaku sebagai filter lolos rendah yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda tanpa pasta elektrolit, hal ini dapat diketahui dari hasil pengamatan dalam domain frekuensi (Adli, 1992 dalam Subaidah, 2007)

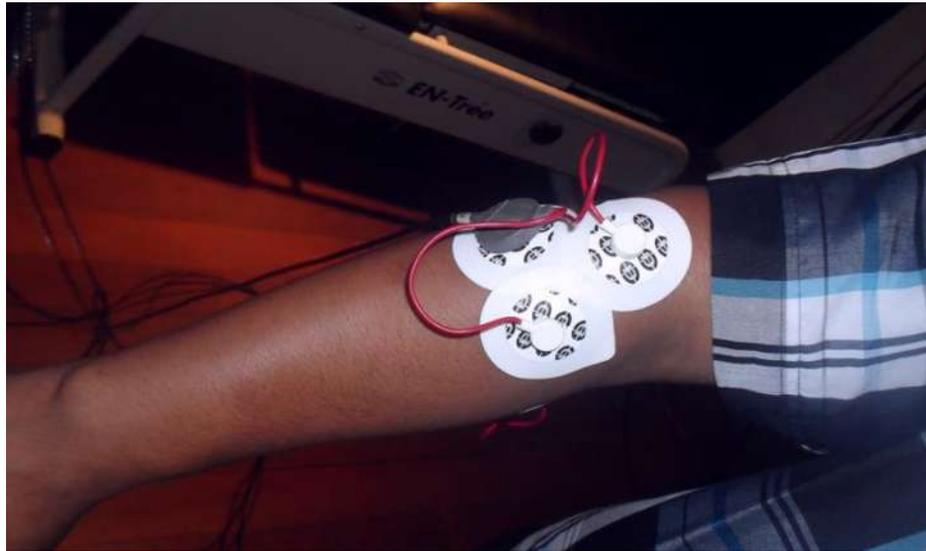
Pada penyadapan sinyal listrik dibutuhkan tiga buah elektroda, dua buah sebagai elektroda aktif untuk menyadap sinyal dan sebuah elektroda sebagai referensi atau ground, seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Elektroda Penyadapan Sinyal (Terecia, 2005)

2.3 Potensial Aksi Pada Otot

Pemberian beda potensial pada elektroda menimbulkan medan listrik di sekitar elektroda tersebut sehingga terjadi muatan yang bergerak. Muatan yang bergerak menimbulkan arus listrik, otot yang disadap untuk mengetahui besaran sinyalnya diberi aliran listrik dari *Electromyography* (EMG) melalui elektroda yang dipasang pada orang coba, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.5.

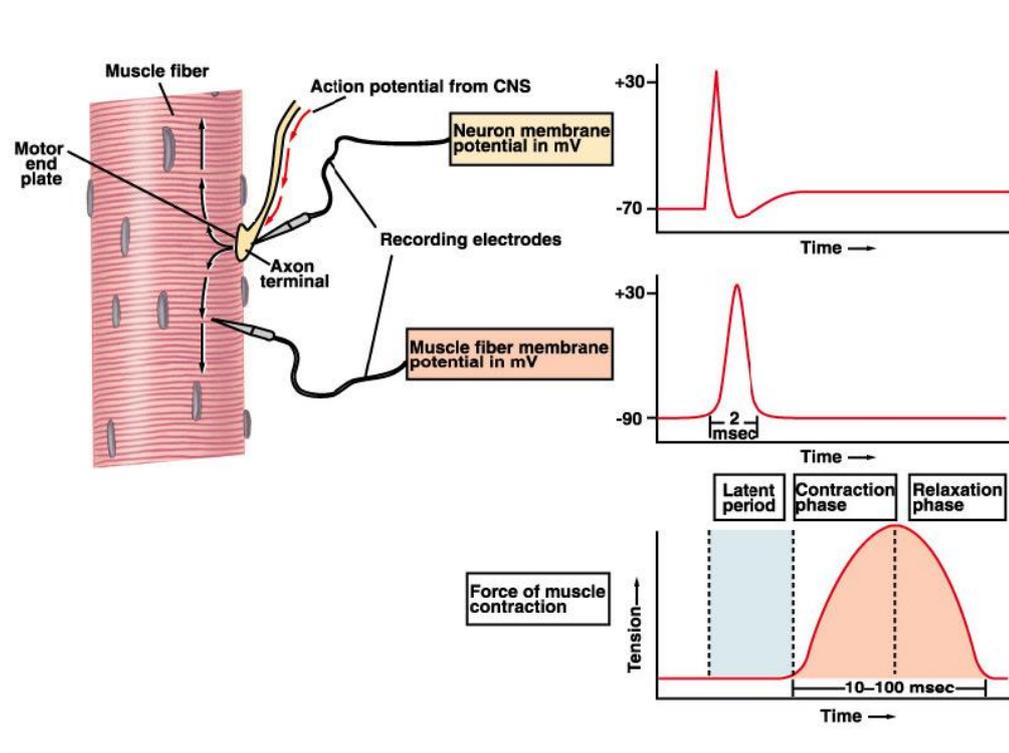


Gambar 2.5 Elektroda pada flexor dan extensor gorup

(Sumber : Dokumentasi RSUD dr Soetomo)

Di dalam banyak penghantar, pembawa muatannya adalah elektron. Sedangkan di dalam cairan elektrolit yang merupakan bagian terbesar suatu jaringan organisme, arus dibawa oleh ion positif dan ion negatif, meskipun karena beberapa ion bergerak lebih cepat dari yang lain, maka penghantaran oleh salah satu jenis ion biasanya lebih menonjol. Ion positif dan negatif melintas dengan arah yang berlawanan (Reitz,1993 dalam Terecia,2005)

Suatu jaringan tersusun atas sel-sel yang bentuk dan fungsinya sama, dimana sel-sel tersebut terdiri dari membran sel yang memiliki resistansi tertentu. Maka pemberian tegangan listrik akan menimbulkan arus listrik yang besarnya sebanding dengan tegangan dan berbanding terbalik terhadap resistansi. Pada tiap kontraksi akan menghasilkan potensial yang berbeda, dapat diketahui perbedaan potensial pada beberapa kondisi seperti pada Gambar 2.6.

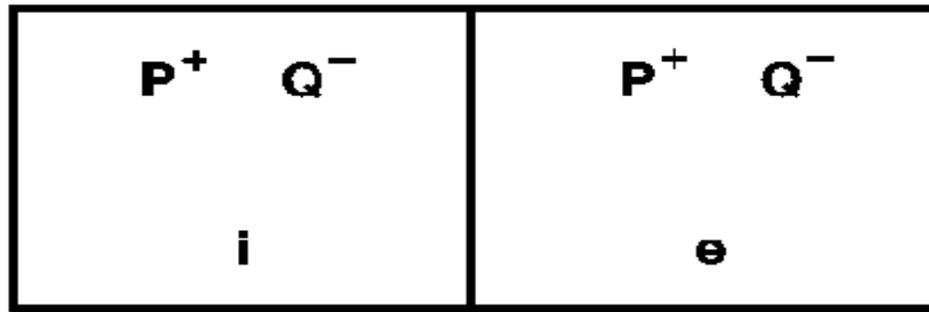


Gambar 2.6 Potensial Listrik Pada Otot (Chalimatus, 2009)

Pada potensial aksi terjadi akibat perbedaan konsentrasi ion di ruang intraseluler dibandingkan ekstraseluler sehingga menyebabkan terjadinya difusi ion dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, laju difusi tergantung pada perbedaan konsentrasi dan permeabilitas membran sel (yang tergantung pada kerapatan saluran terbuka dan resistensi saluran). Besarnya beda potensial bergantung pada besarnya perbandingan konsentrasi ion potasium antara sisi dalam dan sisi luar membran sel dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Nernst. (Chalimatus, 2009)

Sebagaimana diketahui bahwa membran memiliki sifat selektif permeabilitas. Dengan kata lain, ion tertentu dapat melewati membran dengan mudah sedangkan beberapa ion tertentu lebih sulit atau bahkan tidak dapat

melewati membran sel. Hal ini dikarenakan komposisi ionik antara daerah intraseluler dan ekstraseluler sangat berbeda. Dengan demikian, persamaan Nernst-Planck adalah ekspresi yang sesuai untuk pemeriksaan aliran ion melintasi membran biologis. (Chalimatus, 2009)



Gambar 2.7 Proses perpindahan ion (Chalimatus, 2009)

Konsentrasi sebuah sel diilustrasikan pada Gambar 2.7 suatu sel merupakan dua kompartemen yang dipisahkan oleh membran selektif permeabel. Konsentrasi P^+ di kompartemen i lebih tinggi daripada kompartemen e (tetapi Q tidak permeabel). Sehingga P^+ akan berdifusi dari i ke e (Q tidak dapat menyebar dari i ke e). Ion dalam larutan mengalami difusi signifikan di mana pun ada perubahan yang signifikan dalam konsentrasi antara lokasi terdekat. Karena komposisi ion di luar dan di dalam sel sangat berbeda dan letak yang berdekatan (hanya dipisahkan oleh membran tipis), maka gradien konsentrasi tinggi sering terjadi. (Chalimatus, 2009)

Hasil difusi diakumulasi dalam muatan positif pada e (gaya elektrostatis di dalam muatan membran) meninggalkan kelebihan muatan negatif yang sama besarnya pada i (berada pada sisi membran akibat gaya elektrostatis). Hasilnya adalah perbedaan potensial, V_m , terkait dengan muatan AP^+ oleh kapasitansi

membran C_m (dimana $V_m = AP + / C_m$). Untuk ketebalan membran d ada juga medan listrik $E = V_m / d = AP + / (Cd)$. Medan listrik diarahkan dari e dengan i , dan itu jelas meningkat besarnya sebagai AP^+ yang berdifusi dari i ke e . Meningkatnya medan listrik semakin menghalangi difusi lebih lanjut sampai tercapainya kesetimbangan. (Gabriel, 2012)

2.4 Jaringan Otot

2.4.1 Struktur Otot

Semua organisme mempunyai kemampuan mengubah ukuran atau bentuknya dengan cara kontraksi atau pengembangan bagian tubuh tertentu. Sel-sel khusus yang dapat berkontraksi ini disebut jaringan otot (Ackermen, et al., 1979 dalam Terecia, 2005).

Otot tersusun dari banyak ikatan serabut otot yang disebut fasikuli, sedangkan serabut otot tersusun dari banyak fibril yang disebut myofibril. Myofibril terdiri dari segmen-segmen yang disebut sarkomer. Di dalam sarkomer terdapat dua macam miofilamen yaitu filament tipis dan filament tebal (Terecia, 2005).

Semua sel-sel otot mempunyai kekhususan yaitu untuk berkontraksi. Terdapat lebih dari 600 buah otot pada tubuh manusia. Sebagian besar otot-otot tersebut dilekatkan pada tulang-tulang kerangka tubuh oleh tendon, dan sebagian kecil ada yang melekat di bawah permukaan kulit. (Guyton, 2006)

2.4.2 Fungsi Sistem Muskuler/Otot:

Pergerakan, otot menghasilkan gerakan pada tulang tempat otot tersebut melekat dan bergerak dalam bagian organ internal tubuh. Penopang tubuh dan mempertahankan postur. Otot menopang rangka dan mempertahankan tubuh saat berada dalam posisi berdiri atau saat duduk terhadap gaya gravitasi. Produksi panas, kontraksi otot-otot secara metabolis menghasilkan panas untuk mempertahankan suhu tubuh normal. (Terecia, 2005)

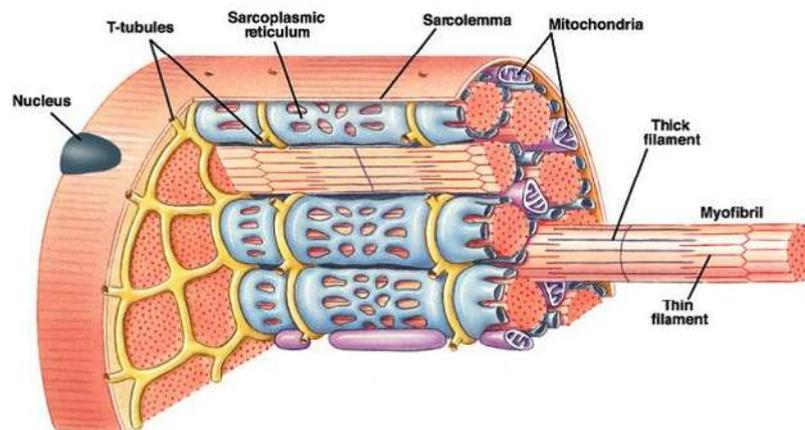
2.4.3 Ciri-ciri Sistem Muskuler/Otot:

Kontraktilitas, serabut otot berkontraksi dan menegang, yang dapat atau tidak melibatkan pemendekan otot. Eksitabilitas, serabut otot akan merespons dengan kuat jika distimulasi oleh impuls saraf. Ekstensibilitas, serabut otot memiliki kemampuan untuk menegang melebihi panjang otot saat rileks. Elastisitas, serabut otot dapat kembali ke ukuran semula setelah berkontraksi atau meregang. (Terecia, 2005)

2.4.4 Jenis Otot

Otot rangka, merupakan otot lurik, volunter, dan melekat pada rangka. Serabut otot sangat panjang, sampai 30 cm, berbentuk silindris dengan lebar berkisar antara 10 mikron sampai 100 mikron. Setiap serabut memiliki banyak inti yang tersusun di bagian perifer. Kontraksinya sangat cepat dan kuat. Otot skelet disusun oleh bundel-bundel paralel yang terdiri dari serabut-serabut berbentuk

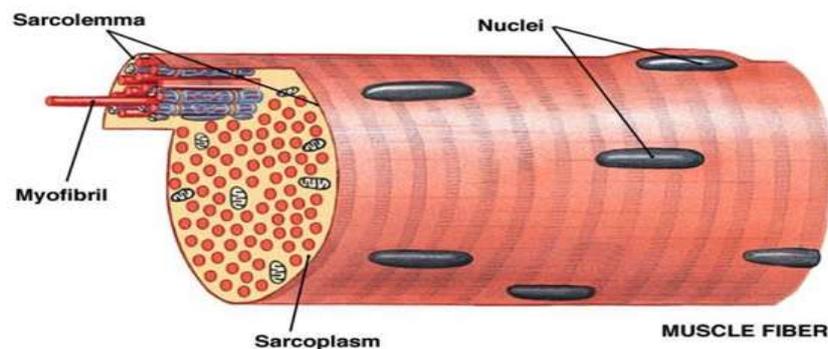
silinder yang panjang, disebut myofiber /serabut otot. Setiap serabut otot sesungguhnya adalah sebuah sel yang mempunyai banyak nukleus ditepinya. Cytoplasma dari sel otot disebut sarcoplasma yang penuh dengan bermacam-macam organella, kebanyakan berbentuk silinder yang panjang disebut dengan myofibril. Myofibril disusun oleh myofilament yang berbeda-beda ukurannya : yang kasar terdiri dari protein myosin, yang halus terdiri dari protein aktin/actin. (Guyton, 2006). Perhatikan skema penyusun otot rangka pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Penyusun Otot Rangka (Guyton, 2006)

Otot Polos merupakan otot tidak berlurik dan involunter. Jenis otot ini dapat ditemukan pada dinding berongga seperti kandung kemih dan uterus, serta pada dinding tuba, seperti pada sistem respiratorik, pencernaan, reproduksi, urinarius, dan sistem sirkulasi darah. Serabut otot berbentuk spindel dengan nukleus sentral. Serabut ini berukuran kecil, berkisar antara 20 mikron (melapisi pembuluh darah) sampai 0,5 mm pada uterus wanita hamil. Kontraksinya kuat dan lamban. Sarcoplasmanya terdiri dari myofibril yang disusun oleh myofilamen-myofilamen (gambar 2.8). Otot polos unit ganda ditemukan pada dinding

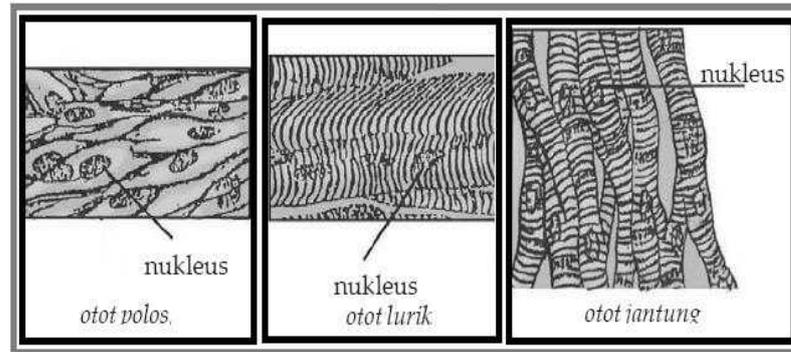
pembuluh darah besar, pada jalan udara besar traktus respiratorik, pada otot mata yang memfokuskan lensa dan menyesuaikan ukuran pupil dan pada otot erector pili rambut yang berfungsi otot penegak bulu (kondisi saat merinding, dsb). Otot polos unit tunggal (viseral) ditemukan tersusun dalam lapisan dinding organ berongga atau visera. Semua serabut dalam lapisan mampu berkontraksi sebagai satu unit tunggal. Otot ini dapat bereksitasi sendiri atau miogenik dan tidak memerlukan stimulasi saraf eksternal untuk hasil dari aktivitas listrik spontan. (Guyton, 2006)



Gambar 2.9 Skema Otot Polos (Guyton 2006)

Otot Jantung, merupakan otot lurik, disebut juga otot serat lintang involunter. Otot ini hanya terdapat pada jantung. Bekerja terus-menerus setiap saat tanpa henti, tapi otot jantung juga mempunyai masa istirahat, yaitu setiap kali berdenyut. (Guyton, 2006)

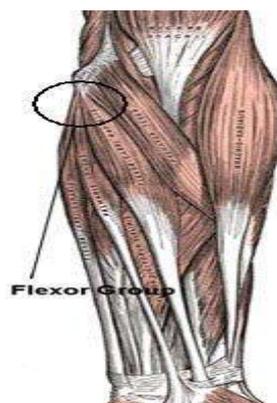
Perbedaan dari ketiga jenis otot dapat dilihat dari nukleus, bentuk otot dan struktur otot penyusunnya. (Guyton, 2006) (Gambar 2.10)



Gambar 2.10 Perbedaan Otot Polos, Otot Lurik, Otot Jantung (Guyton, 2006)

2.4.5 Kelompok Otot Fleksor

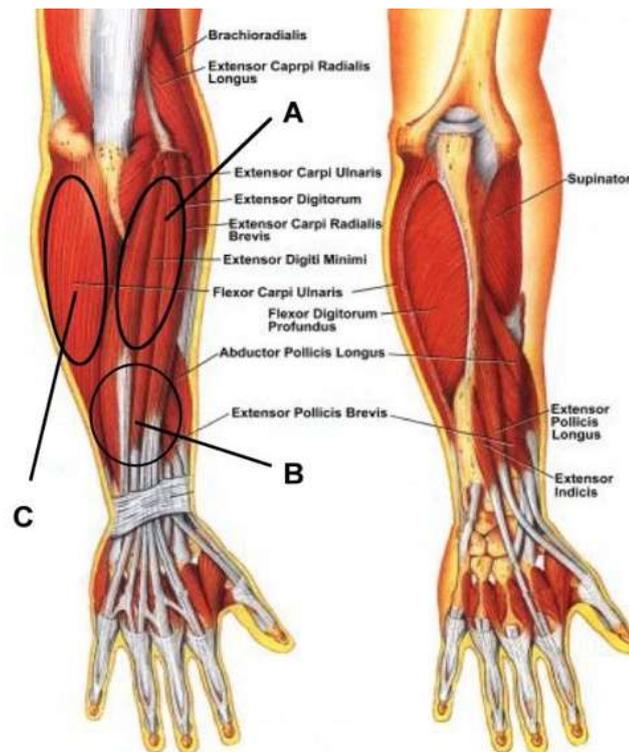
Pada kelompok otot fleksor terdapat berbagai macam jenis serabut otot yang menghasilkan potensial listrik dan gerak fleksi. Pada Gambar 2.11, dapat diketahui berbagai macam otot flexor yang terdapat pada otot pergelangan tangan. Pada proses perekaman sinyal otot pergelangan tangan dalam kondisi fleksi dilakukan pada otot pangkal flexor group (Gambar 2.11), karena potensial listrik yang dihasilkan pada pangkal otot lebih besar dan lebih mudah ditangkap oleh elektroda. (Paulsen, 2013)



Gambar 2.11 Kelompok Otot Fleksor (Paulsen,2013)

2.4.6 Otot Ekstensor Group

Pada kelompok otot ekstensor terdapat banyak sekali serabut otot ekstensor (Gambar 2.12), penyusun dari otot extensor group dapat dibedakan dengan penyusun otot flexor group dari sisi ukuran ototnya. Pada susunan otot extensor group terdapat banyak serabut otot yang lebih besar dibanding otot flexor group, sehingga dalam perekaman sinyal otot extensor dapat dilakukan pada beberapa point. Pada Gambar 2.12 terdapat point A,B dan C, point tersebut adalah titik yang dapat dilakukan penyadapan sinyal EMG. (Paulsen, 2013)



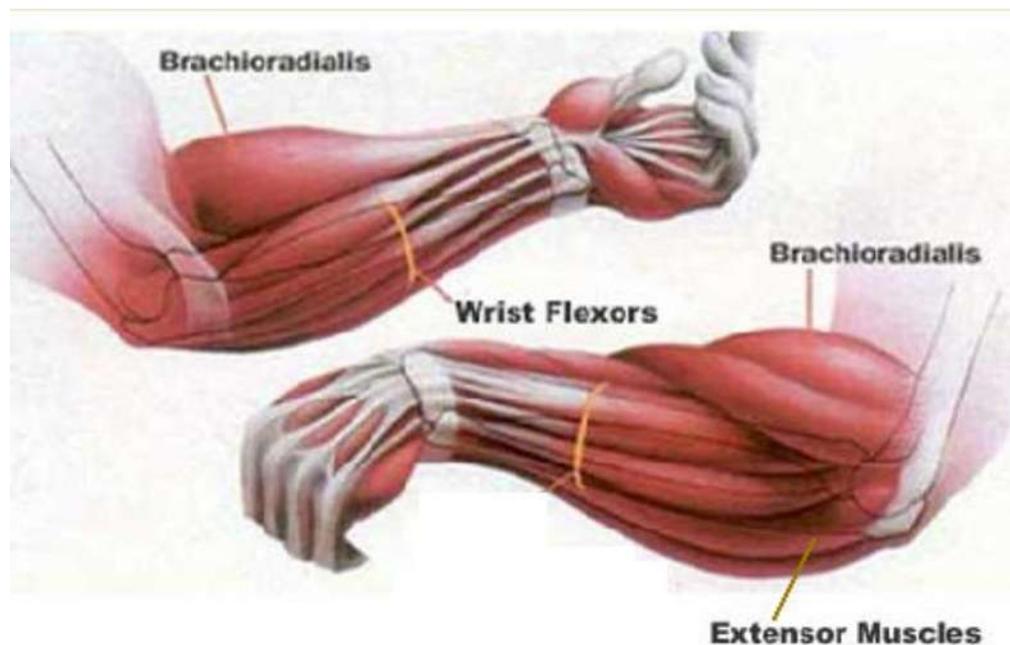
Gambar 2.12 Kumpulan Otot Extensor (Paulsen, 2013)

Pada proses penyadapan terdapat beberapa perilaku yang harus dilakukan oleh orang coba untuk mendapatkan besarnya nilai sinyal EMG, perilaku yang

diberikan sesuai dengan kondisi anatomi secara sagital. (Subaidah,2008) (Gambar 2.13)

Pada penyadapan sinyal dalam kondisi flexi, orang coba harus berkontraksi dengan menggerakkan pergelangan tangan ke arah tegak lurus dengan bidang sagital atau menekuk ke atas. (Subaidah ,2008)

Sedangkan pada kondisi extensi gerakan yang dilakukan adalah berlawanan arah dengan bidang sagital atau menekan/menekuk ke bawah. (Subaidah, 2008) (Gambar 2.13)



Gambar 2.13 Pergerakan Otot Flexor dan Extensor (Guyton, 2006)

2.5 Definisi Sehat

Pengertian konsep sehat memiliki arti yang tubuh yang sehat adalah ketika kedaannya sedang fit, berfungsi secara normal dari organnya dan juga tanpa adanya gangguan ataupun rasa sakit yang dirasakan. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, sehat adalah keadaan seluruh badan serta bagian-bagiannya bebas dari sakit. Menurut UU Kesehatan No 23 tahun 1992, sehat adalah keadaan sejahtera dari badan, jiwa, dan sosial yang memungkinkan setiap orang hidup produktif secara sosial dan ekonomis. Menurut *World Health Organization* (WHO), sehat adalah keadaan sejahtera secara fisik, mental, dan sosial bukan hanya sekedar tidak adanya penyakit maupun cacat. (Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, 2010)

2.6 MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik, merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan assembler (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB). (Proakis, 2007)

MATLAB telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi *toolbox* yang berisi fungsifungsi tambahan untuk aplikasi khusus . MATLAB bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila Anda telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN. (Proakis, 2007)

MATLAB merupakan merk software yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc, merupakan software yang paling efisien untuk perhitungan numeric berbasis matriks. Dengan demikian jika di dalam perhitungan kita dapat menformulasikan masalah ke dalam format matriks maka MATLAB merupakan software terbaik untuk penyelesaiannya. (Proakis, 2007)

MATLAB (MATrix LABoratory) yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dll. Sehingga Matlab banyak digunakan pada : (Proakis, 2007)

- Matematika dan komputansi
- Pengembangan dan algoritma
- Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe
- Analisa data, eksplorasi dan visualisasi
- Analisis numerik dan statistik

- Pengembangan aplikasi teknik

MATLAB memiliki bagian dari Window Matlab, diantaranya: (Proakis, 2007)

1. *Current Directory*

Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab. Kita dapat mengganti direktori ini sesuai dengan tempat direktori kerja yang diinginkan. *Default* dari alamat direktori berada dalam *folder works* tempat program files Matlab berada.

2. *Command History*

Window ini berfungsi untuk menyimpan perintah-perintah apa saja yang sebelumnya dilakukan oleh pengguna terhadap matlab.

3. *Command Window*

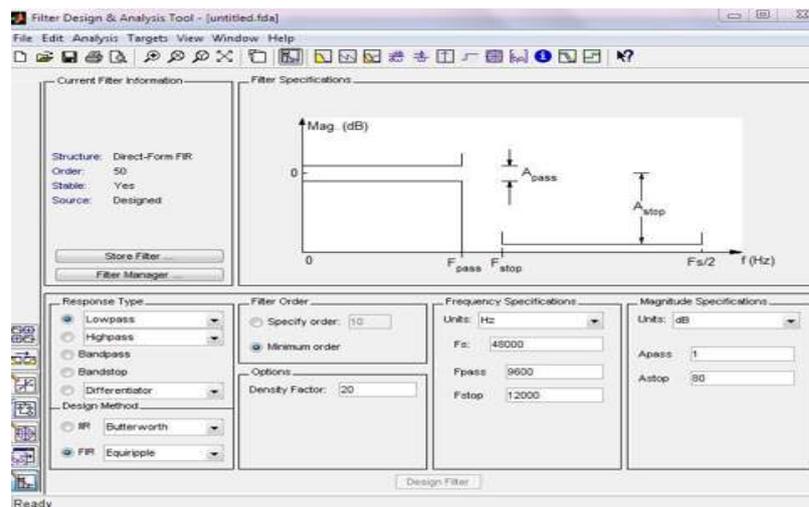
Window ini adalah *window* utama dari Matlab. Disini adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variable, menjalankan proses-proses, serta melihat isi variable.

4. *Workspace*

Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian matlab. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka user dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan double klik pada variable tersebut. Matlab secara otomatis akan menampilkan *window "array editor"* yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih user.

FDAtool merupakan grafik *interfacing* dalam matlab yang digunakan sebagai pemrosesan sinyal dan analisisnya. Filter digital seperti FIR (*Finite-duration Impulse Response* = Tanggapan Impulse Durasi-berhingga) dan IIR

(*Infinite-duration Impulse Response* = Tanggapan Impulse Durasi-tak-berhingga) akan sangat mudah dibuat jika menggunakan tool ini. Filter digital dapat dibuat dengan menggunakan Fdatool ini dengan mengetikkan dalam comment window (`>>fdatool`) maka akan muncul menu filter yang akan digunakan seperti pada Gambar 2.14 (Proakis, 2007)



Gambar 2.14 Fdatool Matlab (Sumber : Dokumentasi Pemrograman)

2.7 Filter Digital

Filter digital adalah proses komputasi (algoritma) yang mengubah satu sekuen angka $x[n]$ yang merepresentasikan input ke sekuen $y[n]$ yang merepresentasikan output. Yang dimaksud dengan komputasi disini adalah memperformasikan fungsi integrasi, diferensiasi, dan estimasi. (Terecia, 2005)

Pengolahan sinyal digital menggunakan transformasi diskrit, transformasi yang sering digunakan adalah transformasi z yang merupakan prosedur deret sinyal masukan $x(n)$ menjadi deret sinyal keluaran $y(n)$. Filter digital bekerja berdasarkan data masukan diskrit dari cuplikan-cuplikan sinyal kontinu, yang kemudian diubah oleh konverter analog ke digital menjadi data digital biner, data

data digital inilah yang nanti dapat dimanipulasi kinerja dan spektrum sinyalnya dengan prosesor digital. (Rusmawati, 2006)

Filter digital memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan pasangannya filter analog, baik dalam performa yang lebih tinggi dengan transition zone yang lebih kecil, ketahanan, serta fleksibilitas dalam menentukan range kerjanya (Smith, 1997 dalam Chalimatus,2008).

Terdapat dua metoda untuk mendisain sebuah filter digital. Metoda pertama dengan menggunakan proses konvolusi antara sinyal input dengan impulse response dari filter yang dikehendaki, filter jenis ini disebut filter FIR (Finite Impulse Response). Metoda kedua adalah dengan proses rekursif, yang merupakan kelanjutan dari metoda konvolusi. Bila dalam proses konvolusi perhitungan dilakukan dengan hanya menggunakan sampel input saja, maka dalam proses rekursif perhitungan dilakukan dengan sampel input yang dijumlahkan dengan sampel output sebelumnya. Hal ini membuat impulse response filter menjadi sangat panjang mendekati titik tak berhingga (infinity), oleh karena itu filter jenis ini disebut filter *Infinite Impulse Response* (IIR). (Smith, 1997 dalam Chalimatus, 2008)

Keuntungan filter IIR antara lain adalah membutuhkan koefesien yang lebih sedikit untuk respon frekuensi yang curam sehingga dapat mengurangi jumlah waktu komputasi. (Proakis, 2007)

Fungsi transfer filter IIR adalah: (Proakis, 2007)

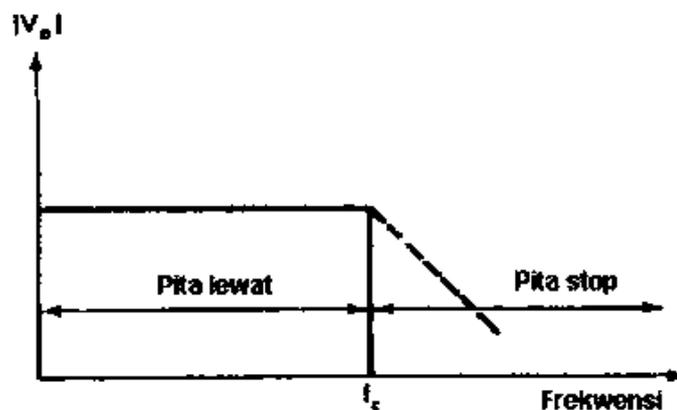
$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N}}$$

dimana:

- $H(z)$ merupakan fungsi transfer dari filter IIR
- a_1, a_2, \dots, a_N merupakan koefisien *feed back* dari filter IIR
- b_0, b_1, \dots, b_N merupakan koefisien *feed forward* dari filter IIR

Adapun fungsi dari filter antara lain : (Rokhana, 2009)

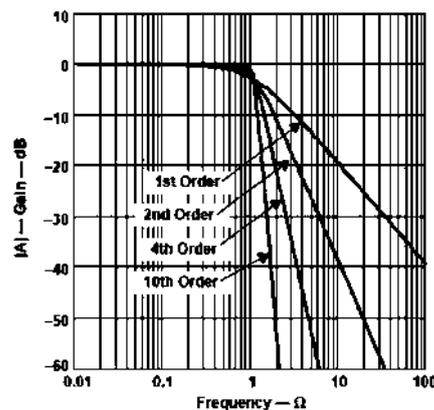
- Melewatkan frekuensi dalam rentang tertentu (disebut pita lolos atau passband), dan meredam sinyal masukan diluar daerah frekuensi pita lolosnya disebut stopband
- Memisahkan frekuensi rendah dengan frekuensi tinggi
- Memisahkan komponen arus searah dengan arus bolak-balik. Pada LPF frekuensi di bawah f_c akan dilewatkan, sedangkan di atasnya akan dilemahkan. Pada Gambar 2.15 diperlihatkan karakteristik frekuensi terhadap amplitudo dari LPF, garis putus-putus menunjukkan contoh bagaimana filter menyimpang dari idealnya. Untuk mendapatkan kinerja yang optimum sesuai dengan aplikasi tertentu, maka filter dapat dibuat sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan.



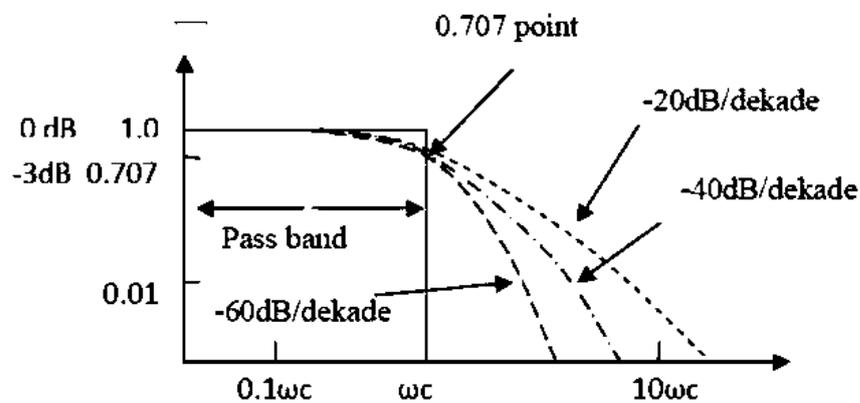
Gambar 2.15 Bentuk Sinyal LPF (Rokhana, 2009)

2.8 Butterworth Low-Pass Filter

Filter butterworth menghasilkan tanggapan frekuensi yang datar pada daerah passband dan redaman yang meningkat secara monotonik pada stopband. Oleh karena itu, *Butterworth low-pass filter* sering digunakan sebagai anti-aliasing filter dalam aplikasi konverter data di mana tingkat sinyal yang tepat diperlukan di seluruh sinyal passband. (Proakis, 2007)



Gambar 2.16 Bentuk Tanggapan Gain Dari Butterworth Low-Pass Filter Terhadap Sumbu Frekuensi. (Proakis, 2007)



Gambar 2.17 Bentuk Respon Frekuensi (Proakis, 2007)

Pada Gambar 2.17 menunjukkan ideal (garis solid) dan praktikal (garis putus-putus) respon-respon frekuensi dari filter butterworth. Karakteristik dari sebuah Filter butterworth tidak didesain untuk menyimpan sudut fasa konstan

pada frekuensi cut off, pelemahan sebesar -3dB pada frekuensi cut-off dan frekuensi diatas f_c pelemahan menjadi -20dB/decade/order. (Proakis, 2007)

Konfigurasi Butterworth adalah salah satu konfigurasi standar dari filter rekursif baik dalam bentuk analog maupun digital. Konfigurasi ini menekankan pada aproksimasi karakteristik lowpass dengan hasil respons yang mendekati titik nol dengan halus dan rata (smooth and flat). (Subaidah,2008)

Filter Butterworth didefinisikan melalui persamaan fungsi *magnitude* $H(\omega)$ sebagai berikut: (Proakis, 2007)

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2N}}$$

di mana N adalah nilai orde filter.

Jelas dari rumus di atas bahwa fungsi *magnitude butterworth* adalah fungsi frekuensi (ω) yang menurun secara monoton, dengan nilai maksimumnya dari unity terjadi pada saat $\omega = 0$. Untuk $\omega = 1$, nilai magnitude adalah sama dengan $1/2$ untuk semua nilai N. Dengan demikian, filter Butterworth dalam bentuk normal memiliki frekuensi cut-off sebesar 3 dB. Gambar 1. menunjukkan plot dari karakteristik *magnitude* dari filter ini sebagai fungsi frekuensi (ω) untuk beberapa tingkatan orde. Nampak bahwa semakin tinggi tingkatan orde, karakteristik filter Butterworth semakin mendekati filter ideal. (Proakis, 2007)

2.9 *Fast Fourier Transform (FFT)*

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan suatu operasi matematika yang digunakan dalam pemrosesan sinyal untuk mengubah data dari daerah waktu

menjadi daerah frekuensi. Pada FFT ini terdapat frekuensi sebagai sumbu horizontal dan beda potensial sebagai sumbu vertikal. (Rokhana, 2009)

Fast Fourier Transform (FFT) diterapkan dalam beragam bidang dari pengolahan sinyal digital dan memecahkan persamaan diferensial parsial menjadi algoritma-algoritma untuk penggandaan bilangan integer dalam jumlah banyak. Ada pun kelas dasar dari algoritma FFT yaitu decimation in time (DIT) dan decimation in frequency (DIF). Garis besar dari kata Fast diartikan karena formulasi FFT jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode perhitungan algoritma. (Rokhana, 2009)

Metode FFT memerlukan sekitar 10000 operasi algoritma matematika untuk data dengan 1000 observasi, 100 kali lebih cepat dibandingkan dengan metode sebelumnya. Penemuan FFT dan perkembangan personal komputer, teknik FFT dalam proses analisa data menjadi populer, dan merupakan salah satu metode baku dalam analisa data. Satu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi adalah *Transformasi Fourier*. (Mariam, 2006)

FFT dalam pengolahan isyarat meliputi periode dan frekuensi : (Weimer, 2005)

1. Periode

Secara umum periode didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk sebuah isyarat atau gelombang mencapai suatu gelombang penuh dan dapat menentukan nilai periodesitasnya. Perlu dicermati bahwa pengertian ini berlaku untuk isyarat monokromatis, isyarat yang dimaksud adalah gelombangnya bersifat tunggal, pasti memiliki sebuah priode. Dengan

demikian isyarat itu dikenal dengan istilah priodis, pengamatan dapat dilakukan dengan memantau gelombang kita dapat mengetahui nilai yang terkandung dalam isyarat serta periodenya.

2. Frekuensi

Ada periode, maka ada frekuensi diartikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik (second) akan menjadi Hertz (1-per second) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Yang dikenal dengan spektrum frekuensi. Pengertian frekuensi ini juga berlaku untuk gelombang monokromatis.

Keluaran EMG sering disebut dengan profil EMG. Profil EMG tersebut berupa grafik fungsi potensial terhadap waktu. Profil EMG merupakan superposisi gelombang yang mana merupakan gabungan dari banyak gelombang dengan frekuensi-frekuensi tertentu. Analisis transformasi fourier dibutuhkan di sini untuk membantu mempermudah penentuan gelombang-gelombang dengan frekuensi tertentu yang merupakan pembentuk gelombang keluaran EMG tersebut. (Weimer, 2005)

Hasil keluaran EMG dapat dianalisa menggunakan metode Fast Fourier Transform dengan menggunakan persamaan :

$$Y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k)W^{nK}, w = e^{-j2\pi / N}$$

Dimana ;

N : Jumlah cuplikan atau data, untuk FFT (nilai N harus 2^n)

t cuplik : lama pencuplikan

Δf : Nilai penambahan tiap frekuensi

A : Magnitude atau amplitudo dari tiap komponen frekuensi

Y : Nilai hasil FFT yang berupa bilangan kompleks

X : Nilai dari data

F_s : Frekuensi Sampling

T_s : Waktu sampling /delay tiap pencuplikan /periode cuplikan

n : Nomer data untuk Y

k : Nomer data untuk X

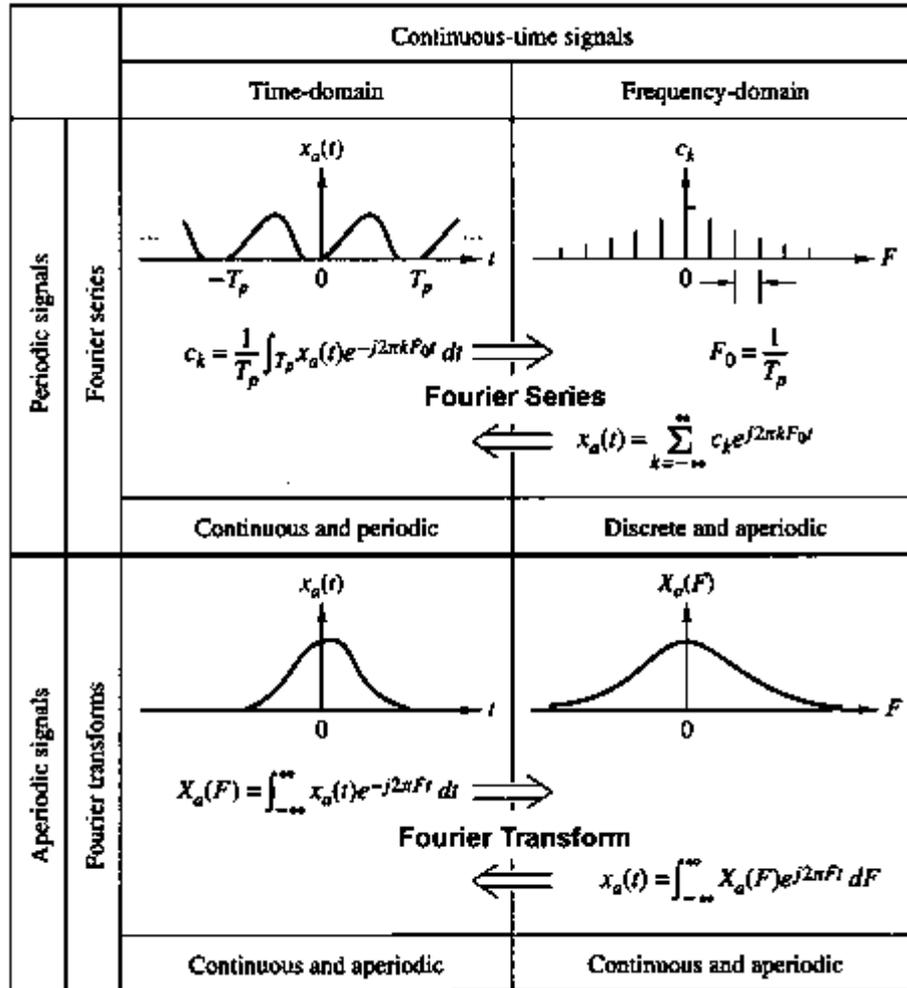
Dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$

$$\Delta f = 1/t \text{ cuplik}$$

$$t \text{ cuplik} = N \cdot T_s \text{ atau } t \text{ cuplik} = N \cdot 1/f_s$$

dengan nilai $A = \frac{1}{N/2} \text{abs}(Y)$

Penjelasan dari analisa sinyal FFT dapat dilihat pada Gambar 2.14 dimana sinyal asli yang berdomain waktu diubah menjadi sinyal yang berdomain frekuensi.



Gambar 2.18 Analisis dan Sintesis Formula Transformasi Fourier (Proakis, 2007)

Transformasi fourier dapat mentransformasikan grafik beda potensial (V) terhadap waktu (t) menjadi grafik beda potensial (V) terhadap frekuensi (f). Seperti telah disebutkan sebelumnya, dengan mengasumsikan bahwa sinyal keluaran EMG merupakan gabungan dari banyak gelombang dengan frekuensi yang berbeda-beda maka transformasi fourier dapat digunakan untuk mencari frekuensi-frekuensi gelombang pembentuk profil EMG tersebut. Sumbu horizontal dari hasil FFT menunjukkan frekuensi-frekuensi dari gelombang pembentuk profil EMG dan sumbu vertikal menunjukkan intensitas dari frekuensi gelombang pendukung tersebut. (Subaidah, 2008)

2.10 Analisa Data Uji Beda-T

Pada analisa data dilakukan uji statistik dengan menggunakan Uji Beda-T, uji ini digunakan untuk menentukan apakah dua sample yang tidak berhubungan memiliki rata-rata yang berbeda, serta menentukan apakah kedua jenis data tersebut (flexi dan extensi) mempunyai nilai rata-rata yang sama ataukah tidak secara signifikan. Pada uji statistik tersebut sekaligus menentukan ada atau tidaknya korelasi sinyal otot pergelangan tangan dalam kondisi flexi terhadap sinyal otot pergelangan tangan dalam kondisi extensi, sampel akan diuji menggunakan program Minitab dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$). Kriteria uji yang digunakan adalah apabila nilai (*p-value*) lebih besar daripada nilai α maka tidak ada beda nyata signifikan antara keduanya (H_0 diterima). Hipotesis statistik merupakan pernyataan sementara tentang satu populasi atau lebih. Dalam statistika, pengujian hipotesis merupakan bagian terpenting untuk mengambil keputusan. Dengan melakukan pengujian hipotesis seorang peneliti akan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan dengan menyatakan penolakan atau penerimaan terhadap hipotesis. Kebenaran hipotesis secara pasti tidak pernah diketahui kecuali jika dilakukan pengamatan terhadap seluruh anggota populasi. Untuk melakukan hal ini sangatlah tidak efisien apalagi bila ukuran populasinya sangat besar. (Usma, 2003)

Penarikan sejumlah sampel acak dari suatu populasi, diamati karakteristiknya dan kemudian dibandingkan dengan hipotesis yang diajukan merupakan suatu langkah melakukan uji hipotesis. Apabila sampel acak ini memberikan indikasi yang mendukung hipotesis yang diajukan maka hipotesis tersebut diterima, sedangkan bila sampel acak itu memberikan indikasi yang

bertentangan dengan hipotesis yang diajukan, maka hipotesis tersebut ditolak.
(Usman,2003)

Dalam pengujian hipotesis ada dua jenis tipe kesalahan yaitu kesalahan jenis I dan kesalahan jenis kedua. Kesalahan jenis I adalah kesalahan yang terjadi akibat menolak H_0 padahal H_0 benar, sedangkan kesalahan jenis II adalah kesalahan yang terjadi akibat menerima H_0 padahal H_1 benar. Secara ringkas tabel dari dua jenis tipe kesalahan tersebut adalah : (Usman, 2003)

	H_0 benar	H_0 salah
Terima H_0	Keputusan benar	Galat jenis II
Tolak H_0	Galat jenis I	Keputusan benar

$$\begin{aligned} \text{Galat jenis I} &= P(\text{menolak } H_0 \mid H_0 \text{ benar}) \\ &= \alpha \\ &= \text{taraf nyata} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Galat jenis II} &= P(\text{menerima } H_0 \mid H_0 \text{ salah}) \\ &= \beta \end{aligned}$$

Suatu uji hipotesis statistik yang alternatifnya bersifat satu-arah dinyatakan sebagai :

$$H_0 : \theta = \theta_0$$

$$H_1 : \theta > \theta_0$$

atau

$$H_0 : \theta = \theta_0$$

$$H_1 : \theta < \theta_0$$

disebut uji satu arah.

Sedangkan uji hipotesis statistik yang alternatifnya bersifat dua-arah seperti

$$H_0 : \theta = \theta_0$$

$$H_1 : \theta \neq \theta_0$$

disebut uji dua arah.

H_0 selalu dituliskan dengan tanda kesamaan, sehingga menspesifikasi suatu nilai tunggal. Dengan cara ini peluang melakukan galat jenis I dapat dikendalikan.

Langkah-langkah pengujian hipotesis :

1. Nyatakan hipotesis nol (H_0), yaitu $H_0 : \theta = \theta_0$
2. Pilih hipotesis alternatif H_1 yang sesuai.
3. Tentukan taraf nyatanya (α).
4. Pilih statistik uji yang sesuai dan tentukan wilayah kritisnya.
5. Hitung nilai statistik uji berdasarkan data sampel.
6. Ambil keputusan :
 - a. Tolak H_0 bila nilai statistik uji terletak dalam wilayah kritis,
 - b. Terima H_0 bila nilai statistik uji jatuh di luar wilayah kritis.