BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Refleks

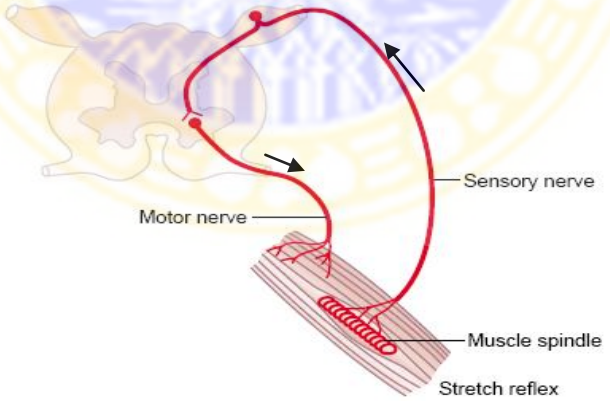
Gerak pada umumnya terjadi secara sadar namun, ada pula gerak yang terjadi tanpa disadari yaitu gerak refleks. Impuls pada gerakan sadar melalui jalan panjang, yaitu dari reseptor, ke saraf sensori, dibawa ke otak untuk selanjutnya diolah oleh otak, kemudian hasil olahan otak berupa tanggapan, dibawa oleh saraf motorik sebagai perintah yang harus dilaksanakan oleh efektor. Gerak refleks berjalan sangat cepat dan tanggapannya terjadi secara otomatis terhadap rangsangan, tanpa memerlukan kontrol dari otak (Robinson, 2002). Jadi dapat dikatakan gerak refleks terjadi tanpa dipengaruhi kehendak atau tanpa disadari terlebih dahulu. Contoh gerak refleks misalnya berkedip, bersin, atau batuk.

Pada gerak refleks, impuls melalui jalan pendek atau jalan pintas, yaitu dimulai dari reseptor penerima rangsang, kemudian diteruskan oleh saraf sensori ke pusat saraf, diterima oleh sel saraf penghubung (asosiasi) tanpa diolah di dalam otak langsung dikirim tanggapan ke saraf motor untuk disampaikan ke efektor, yaitu otot atau kelenjar. Jalan pintas ini disebut lengkung refleks. Gerak refleks dapat dibedakan atas refleks otak bila saraf penghubung (asosiasi) berada di dalam otak, misalnya, gerak mengedip atau mempersempit pupil bila ada sinar dan refleks sumsum tulang belakang bila set saraf penghubung berada di dalam sumsum tulang belakang misalnya refleks pada lutut (Sherwood, 2001).

Adapun pengertian dari refleks adalah suatu bentuk respon segera, baik motorik maupun sekretorik terhadap impuls dari saraf sensorik aferen. Refleks merupakan suatu jalur saraf sederhana, dimana stimulus akan disampaikan ke *medulla spinalis*. Dari *medulla spinalis*, sinyal akan disampaikan baik ke otak maupun ke saraf eferen sebagai pemegang kendali otot-otot yang terpengaruh oleh stimulus. Dengan demikian, tanpa adanya intervensi dari otak, otot dapat berkontraksi sebagai respon dari stimulus (Robinson, 2002). Tidak adanya intervensi dari otak, membuat refleks dapat terjadi secara cepat di luar kesadaran.

2.1.1 Lengkung Refleks

Alur sistem refleks dimulai dari rangsangan yang diterima suatu reseptor sampai terjadinya respon yang dilakukan oleh efektor. Suatu sistem alur tersebut dinamakan dengan lengkung refleks atau *reflex arc*, yang dilukiskan pada Gambar 2.1.



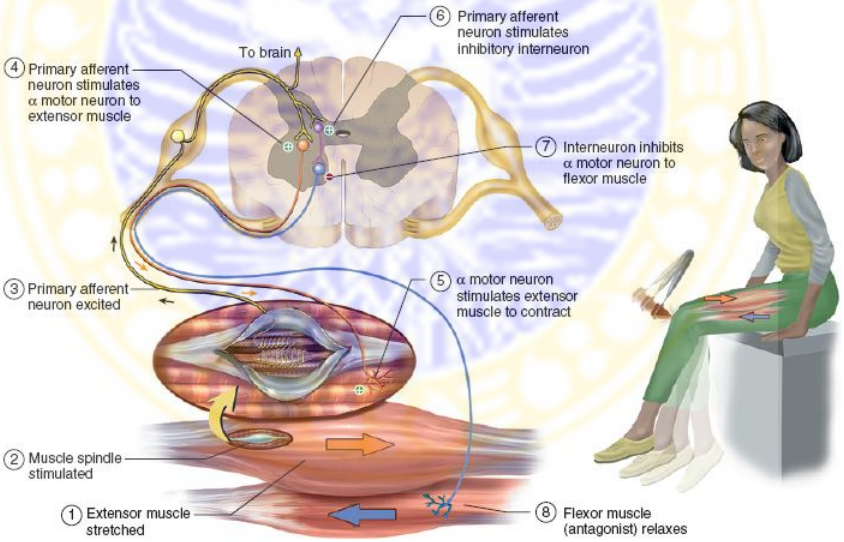
Gambar 2.1. Contoh lengkung refleks pada refleks regang (Guyton, 2006)

Lengkung refleks ini terdiri dari alat indra, serat saraf aferen, satu atau lebih sinaps yang terdapat di susunan saraf pusat atau di ganglion simpatis, serat saraf eferen, dan efektor.

Adapun kegiatan dalam lengkung refleks ini dimulai pada reseptor sensorik, sebagai potensial reseptor yang besarnya sebanding dengan kuat rangsang. Potensial reseptor ini akan membangkitkan potensial aksi yang bersifat gagal atau tuntas pada saraf aferen. Frekuensi potensial aksi yang terbentuk akan sebanding dengan besarnya potensial generator. Pada sistem saraf pusat (SSP), terjadi lagi respon yang besarnya sebanding dengan kuat rangsang yang berupa potensial eksitasi pascasinaps (*Excitatory Postsynaptic Potential=EPSP*) dan potensial inhibisi postsinaps (*Inhibitory Postsynaptic Potential=IPSP*) dihubungan-hubungan saraf (sinaps). Respon yang timbul di serat eferen juga berupa repon yang bersifat gagal atau tuntas. Bila potensial aksi ini sampai ke efektor, maka akan terjadi lagi respon yang besarnya sebanding dengan kuat rangsang. Bila efektornya berupa otot polos, maka akan terjadi sumasi respon sehingga dapat mencetuskan potensial aksi di otot polos. Akan tetapi, di efektor yang berupa otot rangka, respon bertahap tersebut selalu cukup besar untuk mencetuskan potensial aksi yang mampu menghasilkan kontraksi otot. Perlu ditekankan bahwa hubungan antara neuron aferen dan eferen biasanya terdapat di sistem saraf pusat, dan kegiatan di dalam lengkung refleks ini dapat dimodifikasi oleh berbagai masukan dari neuron lain yang juga bersinap pada neuron eferen tersebut (Sherwood, 2001).

Refleks dapat terjadi secara monosinaps, disinaps, maupun polisinaps. Apabila saraf sensorik (SN) langsung berhubungan dengan saraf motorik (MN), maka dikatakan refleks monosinaps. Monosinaps berarti ”satu sinapsis”; dengan demikian hanya terdapat satu hubungan dalam *spinal cord*, yakni antara SN

dengan MN, pada refleks monosinaps. Contohnya adalah pada *knee-jerk reflex* dapat dilihat pada Gambar 2.2, di mana SN pada *muscle spindle m. quadriceps femoris* terhubung langsung dengan MN pada serabut otot *m. quadriceps femoris*, mengakibatkan kontraksi otot tersebut. Sedangkan disinaps menandakan adanya penghubung interneuron (I) antara SN dan MN di dalam *spinal cord*, sehingga ada dua sinapsis yang terjadi dalam busur refleks disinaps. Disinaps dapat terjadi sebagai pelengkap dari monosinaps. Suatu pergerakan selalu berkaitan dengan kontraksi dan relaksasi dua otot yang bekerja berlawanan. *Knee-jerk* refleks melibatkan kontraksi *m. quadriceps femoris* dan relaksasi otot *Hamstring* (Ganong, 2006).



Gambar 2.2. *Reflex arc* dari *knee-jerk reflex* menunjukkan adanya keterlibatan interneuron dalam relaksasi otot *hamstring* (Ganong, 2006)

Relaksasi otot *Hamstring* melibatkan interneuron sebagai penghubung SN dan MN, sehingga dapat dikatakan ”setengah” dari *knee-jerk reflex* terjadi secara disinaps. Refleks polisinaps terjadi apabila SN dan MN terhubung oleh lebih dari satu interneuron (Tamarkin, 2006). Sehingga ada dua lintasan di dalam *medulla*

spinalis ketika refleks, yakni langsung ke anterior motorneuron melalui lintasan monosinaptik, atau melalui satu atau lebih interneuron sebelum berjalan ke *motor neuron* (Guyton, 2006). Refleks somatik (refleks yang mempengaruhi otot) pada umumnya terjadi secara polisinaps, seperti halnya *flexor reflex*, refleks jalan, refleks lari, loncat, memegang, menggaruk, serta banyak lagi gerakan anggota tubuh yang terjadi secara reflektoris. Tipe refleks terbagi menjadi tiga, yakni refleks tendon (*deep or tendon reflexes*), refleks kulit (*superficial or skin reflexes),* dan refleks viseral (*organic or visceral reflexes*). Tiga jenis refleks ini harus ada pada orang sehat, dan pada kasus refleks viseral harus terjadi dikedua sisi bagian tubuh.

2.1.2 Refleks Regang

Bila suatu otot rangka dengan persarafan yang utuh direnggangkan, akan timbul kontraksi. Respons ini disebut refleks regang. Rangsangannya adalah regangan pada otot, dan responnya berupa kontraksi otot yang direnggangkan. Reseptornya adalah kumparan otot (*muscle spindle*). Impuls yang timbul akibat peregangan kumparan otot yang dihantarkan ke SSP melalui serat - serat sensorik langsung bersinaps dengan neuron motorik otot yang teregang itu. *Neurotransmitter* disinaps yang berada di SSP ini adalah *glutamate*. Refleks-refleks regang merupakan contoh refleks monosimpatik yang paling dikenal dan paling banyak diteliti (Sherwood, 2001).

Jika suatu otot keseluruhan diregangkan secara pasif, maka serat-serat intrafusal di dalam gelendong-gelendong otot juga teregang, sehingga terjadi peningkatan pembentukan potensial aksi di dalam serat saraf aferen yang ujung-

ujung sensoriknya berakhir di serat-serat gelendong yang teregang tersebut. Neuron aferen secara langsung bersinaps dengan neuron motorik alfa yang mempersarafi serat-serat ekstrafusal otot yang sama, sehingga terjadi kontraksi otot itu. Refleks regang ini berfungsi sebagai mekanisme umpan balik negatif untuk menahan setiap perubahan pasif panjang otot, sehingga panjang optimal dapat dipertahankan (Ganong, 2002).

Contoh klasik refleks regang adalah refleks tendon *patella* atau *knee-jerk reflex*. Otot - otot ekstenson lutut adalah *m. quadriseps femoris*, yang membentuk anterior paha dan melekat ke tibia (tulang kering) tepat di bawah lutut melalui tendon *patella*. Pengetukan tendon ini, menggunakan sebuah palu karet akan secara pasif meregangkan otot-otot kuadriseps dan mengaktifkan reseptor-reseptor gelendongnya. Refleks regang yang terjadi menimbulkan kontraksi otot ekstensor ini, sehingga lutut mengalami ekstensi dan mengangkat tungkai bawah dengan cara yang khas. Pemeriksaan ini dilakukan secara rutin sebagai pemeriksaan pendahuluan pada fungsi sistem saraf. Refleks *patella* yang normal mengindikasikan bahwa sejumlah komponen saraf dan gelendong otot, masukan aferen, neuron motorik, keluaran eferen neuromuskulus, dan otot itu sendiri dapat berfungsi normal. Refleks ini juga mengindikasikan adanya keseimbangan antara masukan eksitorik dan inhibitorik ke neuron motorik dari pusat - pusat yang lebih tinggi di otak (Ganong, 2002).

Tujuan utama refleks regang adalah menahan kecenderungan peregangan pasif otot-otot ekstensor yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi ketika seseorang berdiri tegak. Setiap kali sendi lutut cenderung melengkung akibat gravitasi, otot-

otot kuadriseps teregang. Kontraksi yang terjadi pada otot ekstensor ini akibat refleks regang dengan cepat meluruskan lutut, menahan tungkai tetap terekstensi, sehingga orang yang bersangkutan tetap berdiri tegak (Ganong, 2002).

Subbab 2.1 Refleks dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang refleks dan titik pemberian stimulus dalam pengukuran refleks regang berada pada tendon pasien. Selain itu subbab ini digunakan untuk mengetahui respon refleks setelah dilakukan pemberian stimulus tegangan dengan menggunakan *electrical stimulator*. Agar stimulasi dari *electrical stimulator* dapat efektif untuk menstimulasi otot rangka melalui elektroda permukaan membutuhkan gelombang monofasik dan amplitudo hingga ± 100 V (Winfried *et. al*, 2002).

2.2 Pemeriksaan Neurologis

Pemeriksaan neurologis (*neurological examination)* biasanya diawali dengan evaluasi *neurological history* dari pasien, karena hal tersebut menjadi dasar dalam pemeriksaan neurologis. Dengan pemberian pertanyaan-pertanyaan kepada pasien, seorang pemeriksa mampu membuat suatu hipotesis berkaitan dengan letak lesi, jenis lesi, dan profil penyakit: apakah tergolong akut, sub-akut, kronis, progresif, atau paroksimal (Pourmand, 2008). Apabila hipotesis masih belum dapat ditemukan, maka pemeriksa disarankan untuk mencari tahu lebih jauh mengenai historis dari pasien.

Pemeriksaan neurologis bersifat kompleks, dan tidak umum bagi sebagian besar pasien, karena itu seorang pemeriksa harus menjelaskan dengan baik prosedur pemeriksaan yang akan dilakukan, apa yang ingin diperoleh, serta

bagaimana pemeriksaan dapat membantu dalam mencari pokok masalah pada pasien. Dalam pemeriksaan neurologis, ada beberapa elemen yang harus diperiksa, yakni keadaan mental, saraf kranial, motorik, refleks, sensorik, koordinasi, serta gaya berjalan (*gait)* (Drislane, 2002). Elemen-elemen tersebut dapat dilihat lebih jelas pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Elemen–elemen dalam pemeriksaan neurologis (Drislane, 2002)

Mental Status	
Attention	*Serial backward tasks (month of the year, digit span).*
Language	*Fluency of speech, repetition, comprehension of commands, naming object, reading, writing.*
Memory	*Three words in 5 minutes.*
Visuospatial function	*Drawing clock, copying complex figure.*
Negect	*Line bisection, double simultaneous stimulation.*
Frontal lobe function	*Generating word lists, learning a motor sequence.*
Cranial Nerves	
II	*Visual aculty, fields, pupils, funduscopic exam.*
III, IV, VI	*Extraocular movement.*
V, VII	*Facial sensation and movement.*
IX, X, XII	*Palate and tongue movement.*
Motor	
Bulk	*Palpation for acrophy.*
Tone	*Evaluation for rigicity, spasticity.*
Power	*Observational tests (pronator drift, arising from chair, walking on heels, and toes), direct confrontation strength testing*
Reflexes	
Muscle stretch reflexes	***Biceps, brachioradialis, triceps, knee, ankle.***
Babinski sign	*Stroking lateral sole of foot.*
Sensory	
Pinprick and temperature	*Pin, cold tunning fork.*
Vibration and joint position sense	*Tunning fork and moving digits.*
Coordination	
Accuracy of targeting	*Finger – to – nose, heel – to – shin.*
Rhythm of movement	*Rapid alternating movement, rhytmic finger or heel tapping.*
Gait	
Stance	*Narrow or wide base.*
Romberg's sign	*Steadiness with food together and eyes closed.*
Stride and arm swing	*Assessment for shuffling, decreased arm swing.*
Ataxia	*Ability to tandem walk.*

Dari Tabel 2.1 yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada elemen pemeriksaan neurologis *reflexes* yang difokuskan pada *muscle stretch reflexes* telah dijelaskan dalam sub bab 2.1.1.

2.2.1 Uji Refleks

Uji refleks menjadi salah satu tes yang penting dan harus dilakukan pada pemeriksaan neurologis, terutama apabila seseorang diduga memiliki kelainan neurologis. Uji refleks digunakan untuk mengukur keberadaan dan tingkat kekuatan beberapa refleks pada tubuh, sehingga dapat diperkirakan tingkat integritas dari sirkuit saraf yang terlibat. Uji yang sederhana biasanya dilakukan hanya untuk mengecek integritas *spinal cord,* sedangkan uji yang lebih kompleks dan lebih lengkap dapat dilakukan untuk mendiagnosis keberadaan serta lokasi dari kerusakan *spinal cord* ataupun penyakit *neuromuscular* (Robinson, 2002).

Uji refleks paling sederhana adalah uji refleks monosinap, yang tergolong dalam refleks regang (*stretch reflex*) seperti halnya *knee-jerk reflex* dan *ankle-jerk reflex.* Sedangkan uji refleks yang lebih kompleks dapat dilakukan uji refleks polisinaps yang melibatkan respon dari beberapa bagian dari tubuh (*whole body reaction*) dengan berbagai rangsangan, seperti halnya cahaya dan suara. Apabila terdapat lesi pada sistem piramidal di atas motor neuron, anterior motor neuron masih berfungsi dan masih dapat mensarafi otot rangka, sehingga refleks masih dapat terjadi. Namun apabila lesi terjadi pada motor neuron, maka tidak ada *discharge* impuls pada saraf motorik, sehingga otot rangka mengalami atropi serta arefleksi. Hal ini dapat terjadi pada penderita poliomyelitis ataupun fraktur vertebra.

Kepentingan klinis dari refleks, bergantung pada lokasi refleks (Tabel 2.1) dan informasi yang diberikan, yakni mengenai integritas saraf sensorik maupun motorik pembentuk busur refleks. Untuk mengetahui tingkatan segmen dari beberapa refleks dapat dilihat pada Tabel 2.2. Dalam penelitian ini tingkatan segmen refleks yang digunakan adalah *deep reflexes* untuk mengetahui uji refleks regang (*knee jerk reflex*) dan juga mengetahu fungsi persarafan yang ada pada L3 dan L4.

Tabel 2.2. Tingkatan Segmen dari Beberapa Refleks (Drislane, 2002)

Deep Reflexes	***Superficial Reflexes***
Ankle jerk S1, 2	*Plantar Reflex S1, 2*
Knee jerk L3, 4	*Abdominal Reflexes T7-11*
Biceps jerk C5, 6	*Cremasteric Reflex L1*
Triceps jerk C7, 8	
Radial jerk C6	
Jaw jerk pons	

Pada uji refleks regang, terdapat angka 0 hingga +4 yang melambangkan tingkat refleks *(Reflex Grade)*, dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. *Grading Scale* Refleks (Drislane, 2002)

Grade	**Deskripsi**
0	Arefleksia
+1 / +	Hiporefleksia
+2 / ++	Normal
+3 / +++	Hiperefleksia
+4 / ++++	Hiperefleksia dengan klonus

Dari Tabel 2.3 untuk nilai 0 berlaku apabila orang coba tidak merespon rangsangan yang diberikan, bahkan setelah melakukan *jendrassik maneuver* yaitu mengalihkan perhatian orang coba agar tidak berupaya untuk menahan refleks. Nilai +1 untuk hiporefleksia, ditandai dengan adanya kontraksi otot, tetapi tidak ada kontraksi pada sendi. Nilai +2 untuk refleks normal, ditandai dengan adanya

kontraksi otot dan sendi. Apabila refleks terjadi lebih cepat dari biasanya, atau berlangsung lebih hebat, maka dikatakan mengalami hiperrefleksia (+3), karena ada perluasan stimulus di otot bukan di tendon pasien. Angka +4 diperoleh apabila hiperefleksia disertai dengan *clonus*, yakni respon refleks yang berulang dan ritmis apabila tendon diregangkan secara manual (Wang *et.al*, 2005).

Penurunan respon refleks pada pasien bisa menjadi tanda adanya kerusakan saraf pada tulang belakang dan saraf perifer. Neuropati seperti yang terjadi pada palsi radial atau polineuropati HIV dan sindrom Guillain-Barré, juga menyebabkan respon refleks berkurang. Disisi lain, pasien dengan *hyperreflexia* dengan klonus atau tanda babinski memiliki lesi neuron motorik pada sistem saraf pusat, seperti yang terlihat pada pasien dengan tumor otak, stroke atau beberapa sclerosis (Wang *et al*, 2005). *Grading* skala refleks dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan pasien yang akan diberikan stimulus tegangan yaitu pada pasien arefleksia (tidak ada kontraksi otot dan sendi) dan pasien normal (ada kontraksi otot dan sendi) atau *grading* skala refleks +2. Dengan memeriksa pasien yang arefleksia dan normal akan memudahkan dalam pengukuran level ambang tegangan stimulasi refleks.

2.3 *Electrical stimulator*

Electrical stimulator adalah suatu instrumen elektronik yang dapat menghasilkan gelombang listrik dengan bentuk gelombang, frekuensi dan daya tertentu. *Electrical stimulator* banyak digunakan dalam bidang medis untuk terapi maupun fisioterapi yang berfungsi untuk perbaikan dan pemulihan keseimbangan biopotensial di dalam tubuh manusia. *Electrical stimulator* dalam penelitian ini

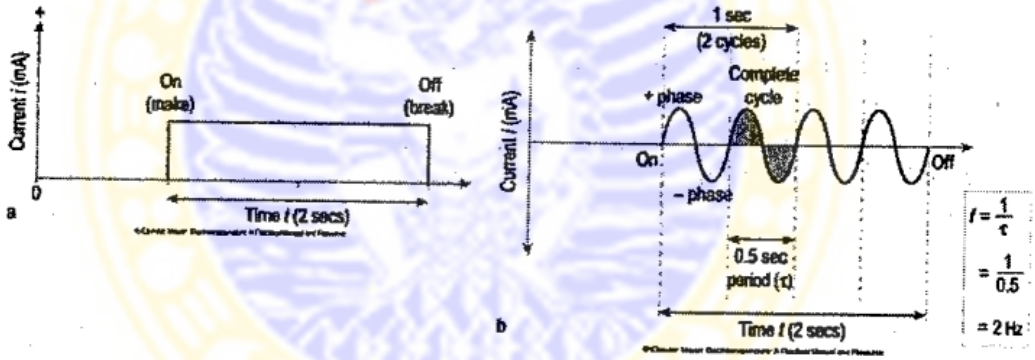
digunakan untuk memberikan stimulasi tegangan yang berupa efek kejut, sehingga pasien memberikan respon geraknya ketika diberikan stimulasi ini. *Electrical stimulator* yang dibuat ini nantinya akan menggunakan pulsa kotak *monophasic* dengan kontrol level tegangan stimulasi. Adapun parameter dari *electrical stimulator* agar dapat menghasilkan rangsangan yang berupa efek kejut (Eric *et.al.* , 2004) yaitu :

a. Lebar pulsa minimum 20 µs.
b. Tegangan stimulasi puncak (Vp) minimal antara 0 – 200 Volt.
c. Frekuensi maksimal 20 Hz.

Terapi dengan menggunakan *electrical stimulator* menggunakan arus listrik. Arus listrik yang digunakan adalah arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC). Arus searah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu arus searah tetap (s*mooth* DC) atau arus searah pulsasi (*pulsating* DC). Arus bolak-balik merupakan arus yang berpulsasi dan memiliki gelombang positif dan negatif (Kenyon, 2003). Pada arus searah pulsasi (*pulsating* DC) dan arus bolak-balik dikenal adanya pembagian jenis gelombang listrik seperti gelombang siku (*square wave*), gelombang segi (*spike wave*), gelombang sinusoid dan lain-lain. Dalam penggunaan *electrical stimulator* dianjurkan untuk memakai gelombang siku dan gelombang *spike*. Gelombang sinusoid kurang dianjurkan karena dapat menimbulkan panas di jaringan sehingga membakar daerah yang diberi terapi (Tanny, 2004).

Arus DC adalah arus yang berasal dari baterai, arus ini selalu mengalir melalui sirkuit dengan arah yang sama (Gambar 2.3a). Namun baterai dapat juga

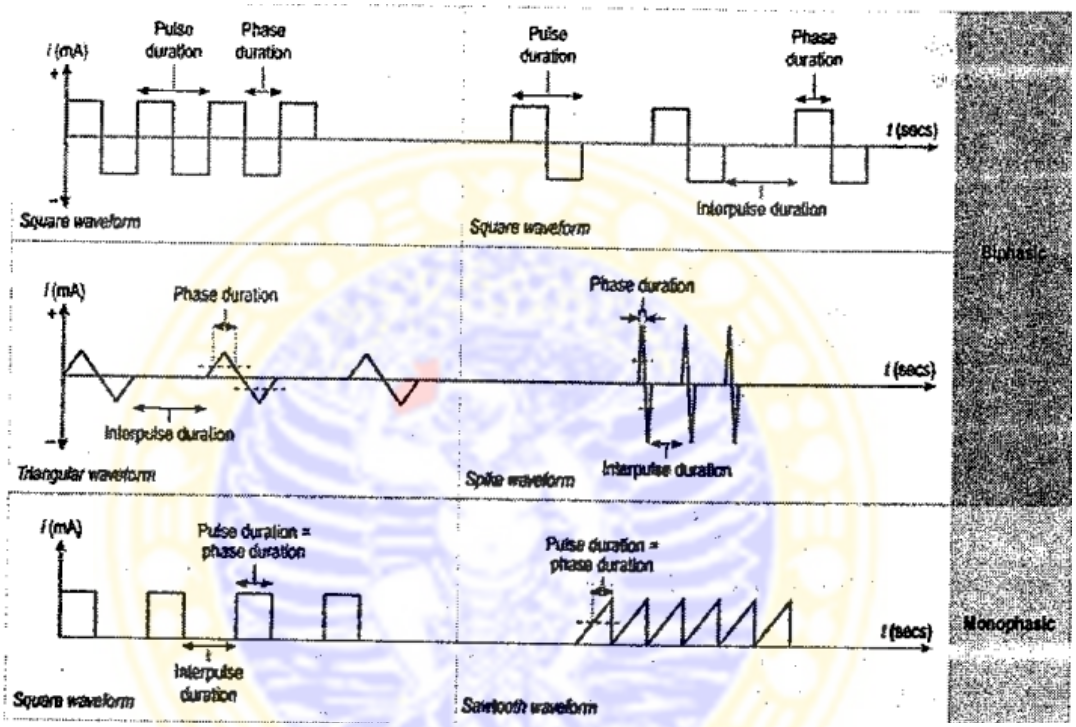
digantikan dengan sumber arus AC, sehingga polaritas di sirkuit bergantian, dan ion atau elektron akan mengalir ke satu sisi dan kemudian ke sisi yang lain, dan mengulangi siklus yang sama. Transisi antara kedua siklus tersebut tidak terjadi tiba-tiba, melainkan ion melambat, berhenti, dan kemudian mengumpulkan momentum dalam arah yang berlawanan (Gambar 2.3b). AC adalah arus sinusoidal, dimana setiap siklusnya memiliki fase positif dan fase negatif yang sama. Adapun durasi dari siklus gelombang disebut periode, dan jumlah perubahan siklus disebut frekuensi gelombang. Frekuensi mungkin relatif rendah (*low*) atau tinggi (*high*).



Gambar 2.3. Arus AC dan DC (a) arus searah (DC) (b) Sebuah gelombang sinus arus bolak balik (AC), frekuensi = jumlah siklus per detik atau f = 1 / t (Mayor, 2007).

Gelombang *monophasic* tidak selalu sinusoidal dan siklusnya halus (*smooth cycle*) terdiri dari pulsa, yang dapat berbentuk persegi atau persegi panjang, gigi gergaji, tringular, atau *spike* trapesium, eksponensial dan sebagainya. Masing -masing bentuk tersebut memiliki *rise time* yang berbeda dan karakteristik waktu peluruhan yang berbeda pula. Pulsa terdiri dari fase bipolar yang kontinyu, atau dipisahkan oleh interval pendek. Untuk pulsa persegi panjang

total waktu untuk pulsa lengkap disebut sebagai durasi pulsa dan masing-masing bentuk pulsa memiliki durasi fase sendiri. Waktu antara pulsa disebut sebagai *interval interpulse*. Untuk bentuk gelombang *non-rectangular*, pulsa durasi didefinisikan sebagai durasi pada 50% dari amplitudo maksimum (Gambar 2.4).

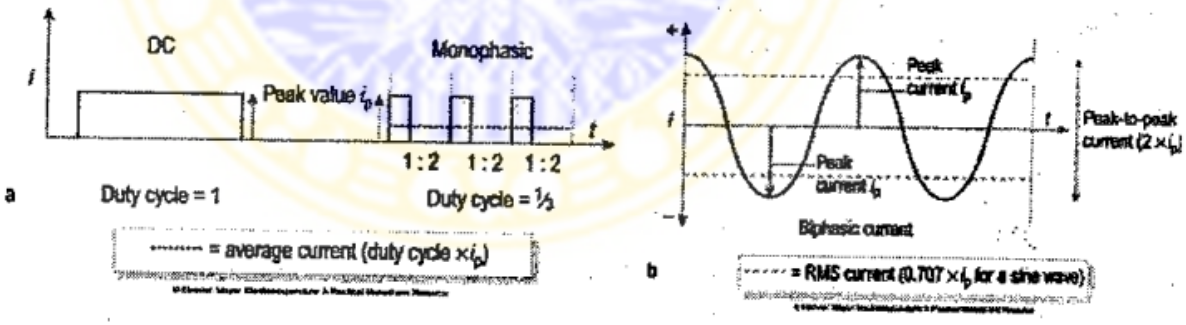


Gambar 2.4. Gelombang dan varian durasi pulsa dan bentuk gelombang *biphasic* dan *monophasic* pulsa kontinyu dan pulsa yang dipisahkan oleh *interval interpulse* (Mayor, 2007).

Duty cycle gelombang didefinisikan sebagai rasio waktu '*on*' (durasi pulsa) sampai waktu total '*on*' dan '*off*' sebelum memulai pulsa berikutnya atau durasi pulsa dijumlahkan dengan *interpulse interval*. Frekuensi gelombang diukur dalam satuan yang disebut hertz (Hz), atau siklus per detik. Dalam konteks stimulator listrik frekuensi rendah adalah frekuensi yang kurang dari 10 siklus per detik (<10 Hz), dan frekuensi tinggi adalah sekitar 5-200 Hz. Namun, dalam *electrotheraphy* yang digunakan di Eropa sebagai frekuensi rendah apabila kurang dari 1 kHz,

frekuensi menengah apabila antara 1-10 kHz, dan frekuensi tinggi apabila lebih dari 10 kHz, sedangkan di Cina frekuensi tinggi apabila untuk 100 kHz (Mayor, 2007). Pada penelitian ini *elektro stimulator* yang dibuat menggunakan frekuensi rendah yaitu antara 1–20Hz, hal ini telah dijelaskan oleh Eric *et.al.* (2004) dalam penelitiannya tentang pembuatan rangkaian *functional electrical stimulator* (FES).

Dalam arus DC, ketika arus adalah *monophasic*, amplitudo dapat didefinisikan dalam berbagai amplitudo puncak.(Gambar 2.5). Amplitudo puncak DC adalah perbedaan antara nilai terbesar dan nol, sedangkan untuk amplitudo puncak ke puncak dalam arus *monophasic* diukur antara nilai-nilai terbesar yang positif dan negatif. Nilai rata-rata DC r*ectangular* untuk pulsa kontinyu adalah hasil dari *duty cycle* dan nilai puncak. Untuk *interval interpulse* yang lama, ada perbedaan yang besar antara puncak dan nilai rata-rata, tegangan *output* puncak yang tinggi tidak menjamin rangsangannya kuat (Mayor, 2007).



Gambar 2.5. Amplitudo. (a). Puncak dan nilai rata-rata DC dan pulsa *monophasic*, menunjukkan rata-rata arus = *cycle* x *peak duty cyle* saat ini.(b). Puncak, puncak ke puncak dan nilai I_{rms} saat gelombang sinus, menunjukkan I_{rms} = 0.707 x *peak*, dengan gelombang sinus dan pulsa *monophasic* (Mayor, 2007).

Secara garis besar dapat dikatakan bahwa apapun bentuk gelombangnya, arus yang masuk ke dalam tubuh tidak boleh lebih dari 1 mA (Mayor, 2007). Arus bolak-balik dan arus searah pulsasi ternyata memberikan rangsangan yang cukup

dalam tubuh manusia sehingga jenis arus ini sering dipakai dalam elektrostimulator (Kenyon, 2003). Dalam penggunaannya dikenal bentuk rangsang kontinyu, rangsang *dense disperse* dan rangsang diskontinyu.

Frekuensi yang digunakan berkisar antara beberapa Herts (Hz) sampai dengan 10 Khz, disesuaikan dengan tujuan perangsangan. Cara merangsang dapat dilakukan melalui elektroda atau dengan melalui jarum. Bila melalui jarum, harus diperhatikan mana jarum yang dihubungkan dengan elektroda positif dan mana jarum yang dihubungkan dengan elektroda negatif. Bila tidak menggunakan jarum, biasanya menggunakan suatu lempengan elektroda yang berbeda-beda diameternya tergantung kebutuhan.

2.4 Mikrokontroller ATMega 8535

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus. Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Beberapa tahun terakhir, mikrokontroler sangat banyak digunakan terutama dalam pengontrolan robot. Seiring perkembangan elektronika, mikrokontroler dibuat semakin kompak dengan bahasa pemrograman yang juga ikut berubah. Salah satunya adalah mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) ATMega 8535 yang menggunakan teknologi RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) dimana program berjalan lebih cepat karena hanya membutuhkan satu siklus *clock* untuk mengeksekusi satu instruksi program. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu kelas *ATTiny*, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya.

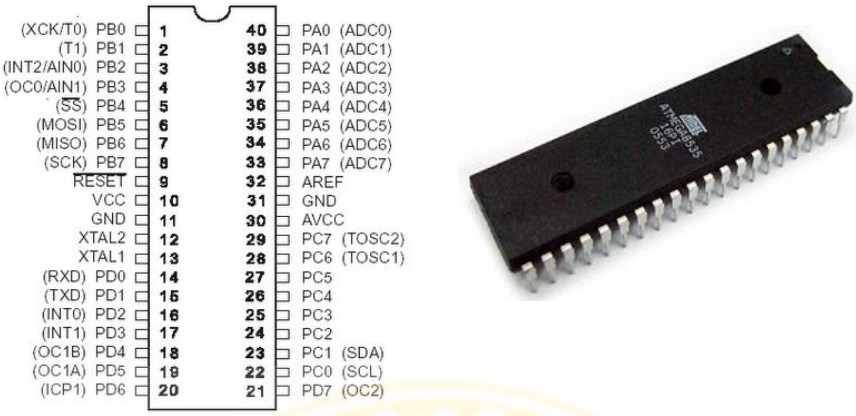
Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama. Mikrokontroler AVR ATMega 8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATMega 8535 telah dilengkapi dengan ADC *internal*, EEPROM *internal*, *Timer/Counter*, PWM, *analog comparator*, dan lain-lain (Heryanto, 2008). Gambar IC mikrokontroler ATMega 8535 beserta dengan bagian *port* dapat dilihat pada Gambar 2.6. Untuk lebih detail mengenai IC mikrokontroler ATMega 8535 dapat dilihat dalam *datasheet* yang ada pada Lampiran 1.

2.4.1 Fitur

Fitur-fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATMega 8535 adalah :

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *port* A, B, C, dan D.
2. ADC *internal* sebanyak 8 saluran.
3. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah register.
5. SRAM sebesar 512 *byte*.
6. Memori *Flash* sebesar 8 Kb dengan kemampuan *Read While Write*
7. *Port* antar muka SPI.
8. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi.
9. Antar muka komparator analog.
10. *Port USART* untuk komunikasi serial.
11. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis *RISC* dengan kecepatan maksimal

16 MHz.



Gambar 2.6. AVR ATMega 8535 (Heryanto, 2008)

2.4.2 Konfigurasi Pin

AVR ATMega 8535 mempunyai 32 pin I/O yang semuanya dapat digunakan untuk operasi logika. Tiap-tiap pin akan bertegangan +5 volt saat berlogika *high* dan bertegangan 0 volt saat berlogika *low* (Winoto. A, 2010). Secara terperinci fungsi-fungsi dari tiap pin akan dijelaskan sebagai berikut :

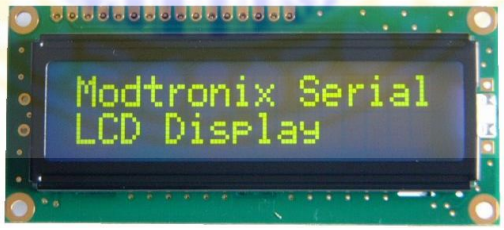
1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
2. GND merupakan pin *Ground.*
3. *Port* A (PA0...PA7) merupakan pin *input* atau *output* dua arah dan pin masukan ADC.
4. *Port* B (PB0...PB7) merupakan pin *input* atau *output* dua arah.
5. *Port* C (PC0...PC7) merupakan pin *input* atau *output* dua arah dan dan akan dihubungkan dengan pin pada LCD.
6. *Port* D (PD0...PD7) merupakan pin *input* atau *output* dua arah dan pin fungsi khusus.
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock eksternal*.

9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC.

Dalam penelitian ini mikrokontroler ATMega 8535 digunakan untuk mengatur level tegangan stimulus yang dimasukkan melalui *keypad*, pendeteksian gerakan respon sudut, dan pengolah data level tegangan stimulasi yang akan ditampilkan di LCD.

2.5 LCD

LCD adalah sebuah *display dot matrix* yang difungsikan untuk menampilkan tulisan berupa angka atau huruf sesuai dengan yang di inginkan (sesuai dengan program yang digunakan untuk mengontrolnya). Modul LCD *Character* dapat dengan mudah dihubungkan dengan mikrokontroler seperti ATMega 8535 (Andrianto, 2008). LCD yang akan digunakan ini mempunyai lebar tampilan 2 baris 16 kolom atau biasa disebut sebagai LCD karakter 2x16 dengan 16 pin konektor, yang didifinisikan pada Tabel 2.4.



Gambar 2.7. LCD Karakter 2x16

Jalur EN dinamakan *enable*. Jalur ini digunakan untuk memberitahu LCD sedang mengirimkan sebuah data. Untuk mengirimkan data ke LCD, maka melalui program EN harus dibuat logika *low* (0) dan diatur pada dua jalur kontrol yang lain RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, mengatur EN dengan logika *high* (1) dan tunggu untuk sejumlah waktu tertentu (sesuai dengan

datasheet dari LCD tersebut) dan berikutnya mengatur EN ke logika *low* (0) lagi. Jalur RS adalah jalur r*egister select*. Ketika RS berlogika *low* (0), data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti *clear screen*, posisi kursor dll). Ketika RS berlogika *high* (1), data yang dikirim adalah data teks yang akan ditampilkan pada tampilan LCD (Andrianto, 2008).

Sebagai contoh, untuk menampilkan huruf “T” pada layar LCD maka RS harus diatur pada logika *high* (1).Jalur RW adalah jalur kontrol *Read/Write*. Ketika RW berlogika *low* (0), maka informasi pada bus data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika *high* ”1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika *low* ”0”. Dalam penelitian ini LCD digunakan untuk inisialisasi awal, dan menampilkan level tegangan stimulus yang menghasilkan refleks kepada pasien.

Tabel 2.4. 16 pin konektor pada LCD 2x16 *(*Andrianto, *2008)*

PIN	NAMA	FUNGSI
1	V_{SS}	*Ground voltage*
2	V_{CC}	-5V
3	V_{EE}	*Contrast voltage*
4	RS	*Register select* 0 = *Instruction register* 1 = *Data register*
5	RW	*Read/write* 0 = *Write mode* 1 = *Read mode*
6	E	*Enable* 0 = *Start to latch data to LCD character* 1 = *Disable*
7	DB0	LSB
8	DB1	-
9	DB2	-
10	DB3	-
11	DB4	-
12	DB5	-
13	DB6	-
14	DB7	MSB
15	BPL	*Back plan light*
16	GND	*Ground Voltage*

2.6 Sensor *Knee Joint*

Knee joint (sendi lutut) merupakan bagian dari ekstrimitas inferior yang menghubungkan tungkai atas (paha) dengan tungkai bawah. Fungsi dari sendi lutut ini adalah untuk mengatur pergerakan pada kaki. Gerakan yang dapat

dilakukan oleh sendi ini yaitu gerakan fleksi, ekstensi dan juga rotasi. Sistem mekanik pada sensor ini digunakan untuk membuat sudut tuas potensiometer berputar sesuai dengan perubahan yang dihasilkan oleh sudut refleks *knee joint*. Adapun mekanik sensor terdiri dari dua lengan mekanik yang mempunyai panjang lengan yang hampir sama. Badan potensiometer terletak pada salah satu lengan mekanik dan tuas potensiometer berada pada lengan yang lain. Besar perubahan resistansi pada potensiometer bergantung pada gerakan lengan (Agung, 2009).

Data yang diperoleh dari sensor berupa tegangan yang dihasilkan oleh potensiometer akan diubah menjadi sinyal digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) yang ada dalam mikrokontroler ATMega 8535. Pendeteksian gerakan sendi dengan menggunakan sensor *knee joint* dapat dilakukan dengan cara mengubah tuas potensiometer yang dihasilkan oleh ayunan kaki menjadi tegangan. Adapun formulasi perubahan nilai tegangan setiap pergeseran derajat adalah sebagai berikut:

$$V° = \frac{Vref}{\Delta\theta} \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana : V° = Tegangan per perubahan derajat potensiometer
Vref = Tegangan referensi potensiometer
θ = Perubahan derajat potensiometer

Setelah itu terdapat proses perhitungan quantisasi ADC menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$Quantisasi\ ADC = \frac{Vref}{Level\ resolusi\ ADC} \quad \text{.....(2.2)}$$

Sensor *knee joint* dalam penelitian ini digunakan untuk mendeteksi adanya gerakan sendi yang diolah menjadi ADC di dalam mikrokontroller ATMega 8535.

2.7 Resistansi Tubuh Manusia

Berjalannya arus listrik melalui tubuh manusia biasanya ditentukan oleh resistensi kulit, yang berkisar dari sekitar 1 KΩ untuk kulit basah, dan sekitar 500 KΩ untuk kulit kering. Hambatan internal dari tubuh kecil, yaitu antara 100-500 Ω (Saputra, 2010). Resistansi tubuh manusia terhadap aliran listrik berubah-ubah sesuai dengan kondisinya. Resistansi tubuh manusia terdapat hampir pada semua kulit tubuh. Kulit tubuh terdiri atas 2 (dua) lapisan, lapisan luar dan lapisan dalam. Lapisan luar tersusun dari sel-sel sisik (*scally cell*) yang mempunyai resistansi yang tinggi pada keadaan kering, bersih dan tidak sobek. Untuk kulit lapisan dalam, karena adanya cairan tubuh, memiliki resistansi relatif lebih rendah, yakni sekitar 300 Ω (Saputra, 2010) .

Apabila kulit dalam kondisi kering, resistansi menjadi tinggi dan cukup untuk melindungi dari bahaya sengatan listrik. Tetapi untuk mendapatkan kondisi kulit yang benar-benar kering adalah hal yang jarang dijumpai. Kecenderungannya setiap orang akan mengeluarkan keringat walaupun hanya sedikit. Oleh karena itu dianggap bahwa tubuh selalu basah, resistansi listrik menjadi rendah. Selain itu, resistansi tubuh juga dipengaruhi oleh jenis kelamin. Wanita dewasa memiliki resistansi tubuh yang berbeda dengan laki-laki dewasa. Resistansi tubuh wanita dewasa lebih rendah dibanding resistansi tubuh laki-laki dewasa. Oleh karena itu arus listrik yang mengalir ke tubuh wanita dewasa cenderung lebih besar (Mayor, 2007).

Dalam penelitian ini, resistansi tubuh akan diukur untuk kulit kering yaitu sekitar 500 KΩ. Dan pasien yang dipilih adalah yang berjenis kelamin perempuan

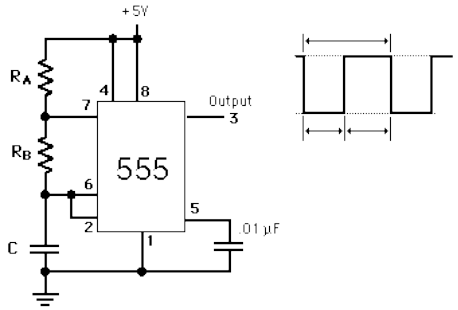
sehingga resistansi tubuhnya lebih rendah dibandingkan dengan resistansi tubuh laki-laki. Karena resistansinya lebih rendah sehingga arus yang mengalir ke tubuh perempuan dewasa cenderung lebih besar dibandingkan dengan laki-laki (Mayor, 2007).

2.8 Komponen Pendukung

2.8.1 IC LM 555

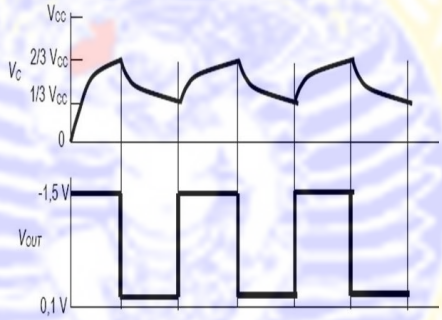
Multivibrator adalah rangkaian yang dapat menghasilkan sinyal kontinyu, yang digunakan sebagai pewaktu dari rangkaian-rangkaian digital sekuensial. Dengan *input clock* yang dihasilkan oleh sebuah *multivibrator*, rangkaian seperti *counter*, *shift register* maupun *memory* dapat menjalankan fungsinya dengan benar. *Multivibrator astable* adalah *oscillator free running* yang bergerak didua level digital pada frekuensi tertentu dan *duty cycle* tertentu. *Multivibrator* merupakan jenis osilator relaksasi yang sangat penting. Rangkaian osilator ini menggunakan rangkaian RC dan menghasilkan gelombang kotak pada keluarannya (Rudi, 2010).

Multivibrator Astable dapat dibuat dari IC timer 555. Dinamakan 555 karena di dalam *chip* IC terdapat tiga buah resistor yang masing-masing bernilai 5 KΩ terpasang dari V_{CC} hingga *ground*. Fungsi dari ketiga resistor ini adalah sebagai pembagi tegangan. Apabila IC 555 tersebut digunakan sebagai multivibrator *astable*, maka rangkaian yang dibuat adalah seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.8. IC LM 555 sebagai *Astable Multivibrator*
(www.national.com/ds/LM/LM555.pdf)

Sedangkan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh IC 555 sebagai m*ultivibrator* a*stable* adalah pada Gambar 2.9.



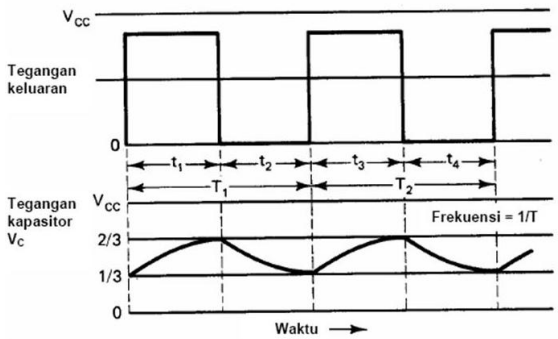
Gambar 2.9. Bentuk Gelombang IC LM 555 sebagai *Astable Multivibrator*
(www.national.com/ds/LM/LM555.pdf)

Setelah t_{HI} dan t_{LO} didapatkan, maka nilai dari d*uty cycle* dan frekuensinya dapat dicari dari persamaan yang tersaji dalam Lampiran 8. Jika digunakan sebagai *astable multivibrator*, IC 555 berlaku sebagai osilator RC. Bentuk gelombang dan frekuensi keluaran utamannya ditentukan oleh rangkaian RC. Gambar 2.9 memperlihatkan rangkaian *astable multivibrator* menggunakan IC LM555.

Pada Gambar 2.8 diperlukan dua resistor, sebuah kapasitor dan sebuah sumber daya. Keluaran diambil dari pin 3. Pin 8 sebagai $+V_{CC}$ dan pin 1 adalah *ground*. Tegangan DC dapat sebesar 5 – 15 V. Resistor R_A dihubungkan antara

$+V_{CC}$ dan terminal pengosongan (pin 7). Resistor R_B dihubungkan antara pin 7 dengan terminal ambang pada pin 6. Kapasitor dihubungkan antara ambang pintu dan *ground*. Pemicu (pin 2) dan ambang pintu (pin 6) dihubungkan bersama. Saat daya mula-mula diberikan, kapasitor akan terisi melalui R_A dan R_B. Ketika tegangan pada pin 6 ada sedikit kenaikan di atas dua pertiga V_{CC}, maka terjadi perubahan kondisi pada komparator 1. Ini akan me-*reset flip-flop* dan keluarannya akan bergerak ke positif. Keluaran (pin 3) bergerak ke "tanah" dan basis 1 Q berprategangan maju. 1 Q mengosongkan C lewat R_B ke *ground* (Rudi, 2010).

Ketika tegangan pada kapasitor C turun sedikit di bawah sepertiga V_{CC} , ini akan memberikan energi ke komparator 2. Antara pemicu (pin 2) dan pin 6 masih terhubung bersama. Komparator 2 menyebabkan tegangan positif ke masukan set dari *flip-flop* dan memberikan keluaran negatif. Keluaran (pin 3) akan bergerak ke harga $+V_{CC}$. Tegangan basis 1 Q berpanjar mundur. Ini akan membuka proses pengosongan (pin7). Kapasitor mulai terisi lagi ke harga V_{CC} lewat R_A dan R_B. Proses akan berulang mulai titik ini. Kapasitor C akan terisi dengan harga berkisar antara sepertiga dan dua pertiga $V_{CC.}$ Perhatikan gelombang yang dihasilkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Bentuk Gelombang *Astable Multivibrator* (www.national.com/ds/LM/LM555.pdf)

Frekuensi keluaran *astable multivibrator* dinyatakan sebagai f=1/T. Ini menunjukkan sebagai total waktu yang diperlukan untuk pengisian dan pengosongan kapasitor C.

Waktu pengisian ditunjukkan oleh jarak t_1 dan t_3. Waktu pengosongan diberikan oleh t_2 dan t_4. Dalam satu putaran atau satu periode pengoperasian waktu yang diperlukan adalah sebesar :

$$T = t_1 + t_2$$
$$T = t_3 + t_4$$

Nisbah resistansi R_A dan R_B sangat penting untuk pengoperasian *astable multivibrator*. Jika R_B lebih dari setengah harga R_A, maka rangkaian tidak akan berosilasi. Harga ini menghalangi pemicu untuk jatuh dari harga $2/3V_{CC}$ ke $1/3V_{CC}$. Ini berarti IC tidak mampu untuk memicu kembali secara mandiri atau tidak siap untuk operasi berikutnya (Rudi, 2010). Untuk lebih detail mengenai IC LM555 dapat dilihat dalam *datasheet* pada Lampiran 2. Dalam penelitian ini rangkaian *astable multivibrator* dengan menggunakan IC LM 555 berfungsi sebagai pembangkit pulsa *monophasic square*.

2.8.2 IC 4001

IC 4011 merupakan rumpun dari IC yang berbahan silikon oksida logam komplementer atau CMOS (*Complementary Metal Oxide Silikon*). IC 4001 merupakan keluarga IC yang terbuat dari kombinasi MOSFET moda peningkatan kanal P dan N. Konstruksi jenis ini mempunyai sejumlah keuntungan khusus bila dibandingkan dengan IC TTL (Roger, 2000). Keuntungan–keuntungan IC 4001 adalah :

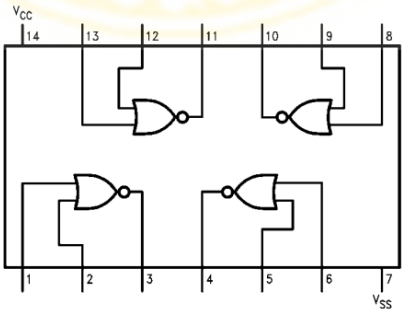
a. Konsumsi daya sangat rendah (sekitar 10 nW).

b. Dapat beroperasi pada tegangan +3 sampai +18 Volt.

c. Kekebalan desah sangat bagus (45% dari tegangan catu).

Keuntungan–keuntungan di atas menunjukkan bahwa IC CMOS 4001 adalah logika yang dipilih untuk sistem yang murah dan konsumsi daya rendah, terutama yang dipakai dalam lingkungan yang banyak desah listriknya dan kecepatan operasi bukan merupakan pertimbangan pokok. Piranti–piranti IC CMOS bekerjanya tidak seperti IC TTL, kerugian yang dimiliki CMOS adalah impedansi keluaran relatif tinggi yang berarti. CMOS tidak dapat menggerakkan beban dengan kapasitas besar (Roger, 2000).

Dalam Gambar 2.11 tersebut dapat dilihat pada pin 1, 2, 5, 6, 8, 9, 12, dan 13 difungsikan sebagai *input*. Pada pin 3, 4, 10, dan 11 difungsikan sebagai *output*. Pin 7 digunakan sebagai *ground* dan pin 14 sebagai VCC yang diberi *supply* +12V. Untuk lebih detail mengenai IC 4001 dapat dilihat dalam *datasheet* yang ada pada Lampiran 3. Dalam penelitian ini, penggunaan komponen IC 4001 digunakan untuk membalik atau menotkan sinyal yang keluar dari IC LM 555.

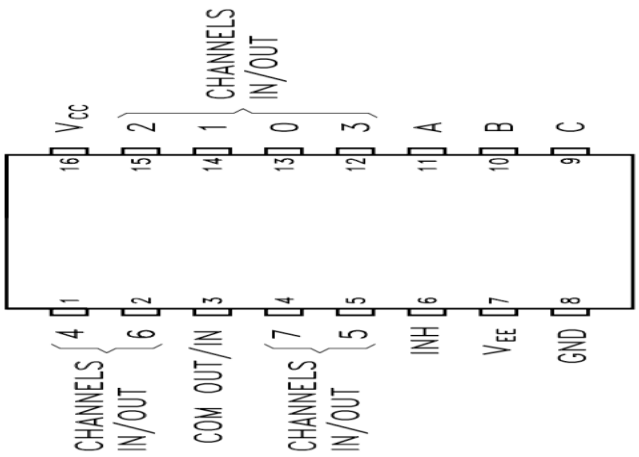


Gambar 2.11. Skema IC 4001

2.8.3 IC CD4051BC

Komponen pendukung ini merupakan IC analog yang dapat difungsikan sebagai *multiplexer* atau sebagai *demultiplexer*. Komponen ini memiliki 8 *input signal analog* yang dapat difungsikan sebagai keluaran. Pada penelitian ini, IC CD4051BC difungsikan sebagai *multiplexer*, yaitu rangkaian logika yang menerima delapan *input* data dan mendistribusikan *input* tersebut ke satu *output* yang tersedia, adapun konfigurasi IC ini dapat dilihat pada Gambar 2.12 (Widodo, 2005).

Pada Gambar 2.12 tersebut dapat dilihat pada pin 1, 2, 4, 5, 12, 13, 14, dan 15 difungsikan sebagai *output*. Pada pin 4 difungsikan sebagai *output* yang terhubung ke resistor sebagai pembagi tegangan. Pada pin 9, 10, dan 11 sebagai pengatur logika *output* yang diatur oleh *keypad* di mikrokontroler ATMega 8535. Penggunaan pin 9, 10, dan 11 yang hanya mampu menghasilkan 3 bit saja sehingga hanya ada 8 kondisi inilah yang menjadi dasar dalam pengaturan level tegangan stimulasi ke dalam 8 variasi saja. Pada pin 6, 7, 8 sebagai *ground*, dan pin 16 sebagai Vcc yang terhubung ke *supply* 12 Volt. Untuk lebih detail mengenai IC CD 4051BC dapat dilihat dalam *datasheet* yang ada pada Lampiran 4. Penggunaan komponen ini digunakan untuk mengaktifkan pemilihan relay sebagai saklar pembagi tegangan untuk mengatur amplitudo stimulus refleks.



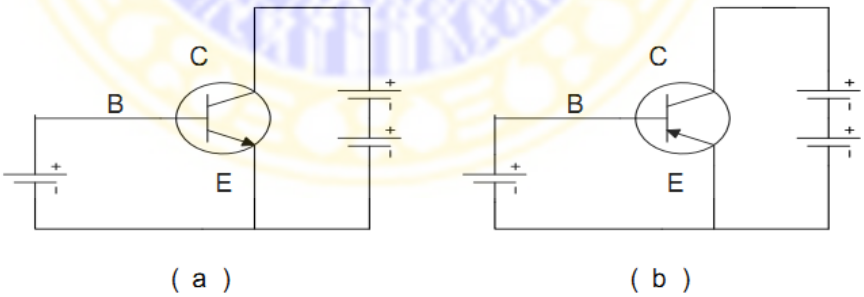
Gambar 2.12. Konfigurasi Pin CD 4051BC

2.8.4 Transistor

Transistor adalah suatu monokristal semikonduktor dimana terjadi dua pertemuan P-N, dari sini dapat dibuat dua rangkaian yaitu P-N-P dan N-P-N. Dalam keadaan kerja normal, transistor harus diberi polaritas sebagai berikut :

a. Pertemuan *Emitter*-Basis diberi polaritas dari arah maju seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 (a).

b. Pertemuan Basis-Kolektor diberi polaritas dalam arah mundur seperti pada Gambar 2.13 (b).



Gambar 2.13. Dasar Polaritas Transistor (Widodo, 2005)

Transistor adalah suatu komponen yang dapat memperbesar level sinyal keluaran sampai beberapa kali sinyal masukan. Sinyal masukan disini dapat berupa sinyal AC maupun DC. Prinsip dasar transistor sebagai penguat adalah arus kecil pada basis mengontrol arus yang lebih besar dari kolektor melewati

transistor. Transistor berfungsi sebagai penguat ketika arus basis berubah. Perubahan arus yang kecil pada basis mengontrol perubahan besar pada arus yang mengalir dari kolektor ke emitter, pada saat inilah transistor berfungsi sebagai penguat (Widodo, 2005). Dalam penelitian ini transistor C945 dan C2073 berfungsi sebagai penguat tegangan yang akan masuk ke trafo IT191. Untuk lebih detail mengenai spesifikasi transistor C945 dan C2073 dapat dilihat dalam *datasheet* yang ada pada Lampiran 5 dan Lampiran 6.

Transistor juga bisa berfungsi sebagai saklar dengan memanfaatkan daerah penjenuhan (saturasi) dan daerah penyumbatan (*cut-off*). Pada daerah saturasi nilai resistansi penyambungan kolektor emitter secara ideal sama dengan nol atau kolektor terhubung langsung (*short*). Ini menyebabkan tegangan kolektor emitter Vce=0 pada keadaan ideal. Dan pada daerah *cut-off*, nilai resistansi persambungan kolektor emitter secara ideal sama dengan tak terhingga atau terminal kolektor dan emitter terbuka yang menyebabkan tegangan Vce sama dengan tegangan sumber Vcc (Widodo, 2005). Dalam penelitian ini menggunakan transistor BD139 sebagai saklar (*switching*) untuk mengaktifkan multiplexer yang terhubung dengan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengatur tegangan stimulus refleks. Untuk lebih detail mengenai spesifikasi transistor BD139 dapat dilihat dalam *datasheet* yang ada pada Lampiran 7.

2.8.5 Trafo IT 191

Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi bersama (*mutual induction*) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan induksi

yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu *path* yang mempunyai relaktansi yang rendah. Kedua kumparan tersebut mempunyai *mutual induction* yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (tegangan AC), fluks bolak-balik yang timbul di dalam inti besi dihubungkan dengan kumparan yang lain akan menyebabkan atau menimbulkan GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi yang sesuai dengan induksi elektromagnet dari hukum faraday. Bila arus bolak balik mengalir pada induktor, maka akan timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) (Areva, 2008).

Transformator digunakan untuk mengubah tegangan yaitu untuk menaikkan dan menurunkan tegangan, menyesuaikan impedansi, menggabungkan, dan menyekat sirkuit (Yumita, 2003). Dalam penelitian ini, transformator IT191 digunakan sebagai beban pada penguat akhir yang berfungsi sebagai penaik tegangan (*step-up*) dari 12V menjadi 355V pada blok rangkaian *electrical stimulator*. Selain sebagai penguat tegangan, transformator IT191 juga berfungsi untuk mengisolasi rangkaian sebelumnya dari kebocoran arus sehingga tidak berinteraksi langsung dengan pasien.

2.8.6 Relay

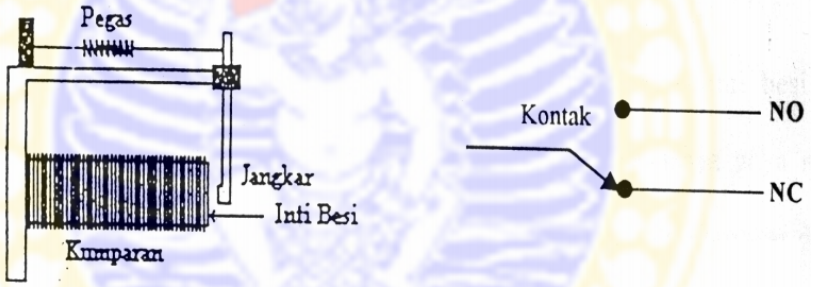
Relay adalah alat elektromagnetik yang digunakan dan dioperasikan sebagai saklar (*switch*) listrik. *Relay* akan bekerja jika ada masukan sinyal listrik seperti tegangan atau arus. Pada *relay* terdapat dua bagian utama yaitu koil dan kontak, koil terdiri dari kumparan yang merupakan lilitan kawat tembaga dimana kumparan tersebut akan dialiri arus listrik agar dapat menghasilkan medan magnet pada inti besi. Inti besi ini akan dililitan oleh kumparan untuk menghasilkan

medan magnet, sehingga inti besi koil juga memiliki jangkar yang terbuat dari besi lunak yang digunakan untuk mengaktifkan kontak rel setelah tertarik pada inti besi (Widodo, 2005).

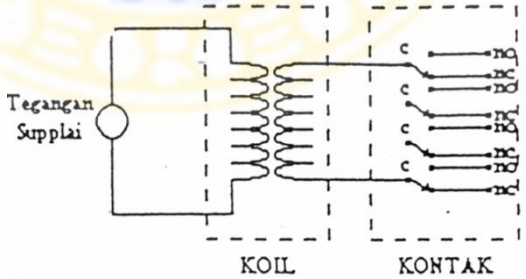
Sedangkan pada kontak yang merupakan saklar atau *switch* terdapat dua macam kondisi dari kontak tersebut yaitu :

a. *Normally Open* (NO), yaitu kontak akan aktif pada saat koil di*supply* tegangan.

b. *Normally Close* (NC), yaitu kontak akan aktif pada saat koil tidak di *supply* tegangan.



(a) Koil Relay (b) Kontak Relay



(c) Skema Relay

Gambar 2.14. Koil Relay, Kontak Relay, Dan Skema Relay (Widodo, 2005)

Adapun prinsip kerja dari *relay* adalah apabila *relay* bagian koil di*supply* tegangan dimana besar tegangan yang akan di*supply* harus sesuai dengan tegangan yang dibatasi oleh koil *relay*, maka arus akan mengalir pada kumparan.

Akibatnya pada inti besi yang dililiti oleh kumparan akan timbul medan magnet, setelah inti besi bersifat magnetis maka jangkar akan tertarik ke inti besi sehingga akan mengaktifkan kontak *relay*. Jangkar dapat ditarik dari inti besi jika gaya magnet pada inti besi dapat mengalahkan gaya pegas pada jangka yang melawannya, besarnya gaya megnet ditetapkan oleh kuat medan magnet yang ada di dalam udara diantara jangkar dan inti besi, adapun gaya magnet ini bergantung pada banyaknya lilitan kumparan dari arus kuat yang ada pada kumparan (Widodo, 2005).

Dalam penelitian ini, digunakan *relay* DC yang tegangan kerja koilnya sebesar 12V tipe HRS4H-S-DC12V yang mampu meneruskan tegangan AC hingga 120V dan tegangan DC hingga 24V pada arus maksimal sebesar 10A. Komponen ini digunakan sebagai saklar pembagi tegangan untuk mengatur level tegangan stimulus refleks dengan mekanisme kontak untuk mengaktifkan saklar ini menggunakan transistor BD139. Adapun gambar komponen pendukung *relay* dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Gambar 2.15 . *Relay* (Widodo, 2005)

2.9 Pemrograman Bahasa C

Pemrograman mikrokontroler AVR dapat menggunakan *low level language* (*assembly*) dan *high level language* (C, Basi, Pascal, JAVA, dll) tergantung *compiler* yang digunakan. Bahasa pemrograman yang dipakai untuk mikrokontroler pada sistem ini adalah bahasa C dengan menggunakan *software compiler CodeVision* AVR. Bahasa C memiliki keunggulan dibanding bahasa *assembler* yaitu *independent* terhadap *hardware* serta lebih mudah untuk menangani *project* yang besar. Bahasa C memiliki keuntungan-keuntungan yang dipunyai oleh bahasa mesin (*assembly*), hampir semua operasi yang dapat dilakukan oleh bahasa mesin, dapat dilakukan oleh bahasa C dengan penyusunan program yang lebih sederhana dan mudah (Heryanto, 2008).

2.9.1 Struktur Penulisan Bahasa C

Untuk dapat memahami bagaimana suatu program ditulis, maka struktur dari program harus dimengerti terlebih dahulu. Tiap bahasa komputer mempunyai struktur program yang berbeda. Struktur dari program memberikan gambaran secara luas, bagaimana bentuk dari program secara umum. Struktur dari bahasa C dapat dilihat sebagai kumpulan dari sebuah atau lebih fungsi–fungsi. Fungsi pertama yang harus ada di bahasa C sudah ditentukan namanya, yaitu bernama *main*(). Suatu fungsi di bahasa C dibuka dengan kurung kurawal terbuka ({) dan ditutup dengan kurung kurawal tertutup (}). Diantara kurung kurawal dapat dituliskan statemen–statemen program C (Heryanto, 2008).

2.9.2 Dasar - Dasar Pemrograman Bahasa C

Data merupakan suatu nilai yang biasa dinyatakan dalam bentuk konstanta atau variabel. Konstanta menyatakan nilai yang tetap, sedangkan variabel menyatakan nilai yang dapat diubah-ubah selama eksekusi berlangsung. Data berdasarkan jenisnya dapat dibagi menjadi lima kelompok, yang dinamakan sebagai tipe data dasar. Kelima tipe data dasar adalah:

1. Bilangan bulat (*integer*)
2. Bilangan real presisi-tunggal
3. Bilangan real-presisi ganda
4. Karakter
5. Tidak bertipe (*void*)

Kelima tipe dasar tersebut memiliki besar nilai dan rentan nilai tertentu, besar dan nilai rentan pada tipe dasar tersebut (Heryanto, 2008). Dalam penelitian ini pemrograman bahasa C digunakan untuk menuliskan sintak program yang digunakan untuk pengontrolan pada mikrokontroler ATMega 8535.

2.10 *Compiler Code Vision* AVR

Agar suatu program dalam bahasa pemrograman dapat dimengerti oleh mikrokontroler, program haruslah diterjemahkan dahulu ke dalam kode mesin. Adapun penerjemah yang digunakan bisa berupa c*ompiler*. *Compiler* adalah jenis penerjemah yang menerjemahkan baris per baris instruksi program dalam bahasa C hingga menjadi program yang *executable* (dapat dieksekusi secara langsung) (Andrianto, 2008).

CodeVisionAVR merupakan software *C-cross compiler*, dimana program dapat ditulis menggunakan bahasa C. Dengan menggunakan pemrograman bahasa C diharapkan waktu disain (*developing time*) akan menjadi lebih singkat. Setelah program dalam bahasa C ditulis dan dilakukan kompilasi tidak terdapat kesalahan maka proses *download* dapat dilakukan. Mikrokontroler AVR mendukung sistem *download* secara ISP (*In-System Programming*) (Andrianto, 2008). Dalam penelitian ini menggunakan *compiler code vision* AVR yang berfungsi untuk menterjemahkan penulisan program bahasa C kedalam bahasa mesin sehingga menjadi program yang *executable* dan dapat secara langsung di*download* ke mikrokontroler ATMega 8535.