

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang Bunyi (Akustik)

2.1.1. Pengertian gelombang bunyi (Akustik)

Gelombang bunyi adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal yang dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang bunyi ini adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik ini (Sutrisno, 1988). Gelombang bunyi ini merupakan vibrasi/getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Resnick dan Halliday , 1992).

Berbicara, tentang substansi yang menjalar apabila gelombang bunyi mencapai tapal batas maka gelombang bunyi tersebut akan terbagi dua yaitu sebagian energi ditransmisikan/diteruskan dan sebagian lagi direfleksikan/dipantulkan. Suatu penelitian mengenai terjadinya penjalaran bunyi, mendeteksi dan penggunaan bunyi sangat penting untuk mengetahui lebih lanjut akan pengalihan energi mekanik (Giancoli, 1998).

Binatang menggunakan gelombang bunyi/suara untuk memperoleh perubahan informasi dan untuk mendeteksi lokasi dari suatu objek. Misalnya ikan lumba-lumba, kelelawar, menggunakan gelombang bunyi untuk mengemudi dan menentukan lokasi makanan, apabila cahaya tidak cukup

untuk pengamatan. Manusia berusaha menggunakan gelombang bunyi sebagai pengganti cahaya (Ackerman *et al*, 1988).

2.1.2. Pengertian gelombang ultrasonik

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ini dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas, hal disebabkan karena gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik sehingga merambat sebagai interaksi dengan molekul dan sifat enersia medium yang dilaluinya (Bueche, 1986).

Karakteristik gelombang ultrasonik yang melalui medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*Strain*) dan tegangan (*Stress*). Proses kontinu yang menyebabkan terjadinya rapatan dan regangan di dalam medium disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya (Resnick dan Halliday , 1992).

Gelombang ultrasonik ini sering dipergunakan untuk pemeriksaan kualitas produksi di dalam industri. Di bidang kedokteran, frekuensi yang tinggi dari gelombang ultrasonik ini mempunyai daya tembus jaringan yang sangat kuat, sehingga sering digunakan untuk diagnosis, penghancuran/destruktif, dan pengobatan (Cameron and Skofronick, 1978).

2.1.3. Energi dan intensitas gelombang ultrasonik

Jika gelombang ultrasonik merambat dalam suatu medium, maka partikel medium mengalami perpindahan energi (Giancoli, 1998). Besarnya energi gelombang ultrasonik yang dimiliki partikel medium adalah :

$$E = E_p + E_k \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan : E_p = energi potensial (Joule)

E_k = energi kinetik (Joule)

Untuk menghitung intensitas gelombang ultrasonik perlu mengetahui energi yang dibawa oleh gelombang ultrasonik. Intensitas gelombang ultrasonik (I) adalah energi yang melewati luas permukaan medium $1 \text{ m}^2/\text{s}$ atau watt/m^2 (Cameron and Skofronick, 1978). Untuk sebuah permukaan, intensitas gelombang ultrasonik (I) diberikan dalam bentuk persamaan :

$$I = 1/2 \rho V A^2 (2 \pi f)^2 = 1/2 Z (A \omega)^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

ρ = massa jenis medium/jaringan (Kg/m^3) , f = frekuensi (Hz)

v = kecepatan gelombang ultrasonik (m/s^2) , V = volume (m^3)

A = amplitudo maksimum (m)

$Z = \rho v$ = impedansi Akustik ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)

$\omega = 2\pi f$ = frekuensi sudut (rad/s)

2.1.4. Intensitas gelombang ultrasonik dihubungkan dengan amplitudo dan frekuensi

Gelombang Ultrasonik merambat membawa energi dari satu medium ke medium lainnya, energi yang dipindahkan sebagai energi getaran dari partikel ke partikel pada medium tersebut. Besarnya energi yang dibawa partikel tersebut adalah :

$$E = \frac{1}{2} k A^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan ; $k = \text{konstanta} = 4 \pi^2 m / T^2 = 4 \pi^2 m f^2$

$T = \text{periode (s)}$

$A = \text{amplitudo geraknya (m)}$

$m = \text{massa partikel pada medium (kg)}$

Kemudian :

$$E = 2 \pi^2 m f^2 A^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika : $m = \rho V = \rho S l = \rho S v t = \text{massa (kg)}$

$V = \text{volume} = \text{luas} \cdot \text{tebal} = S l \text{ (m}^3\text{)}$

$S = \text{luas permukaan penampang lintang yang dilalui gelombang (m}^2\text{)}$

$l = v t = \text{jarak yang ditempuh gelombang dalam waktu t (m)}$

$v = \text{laju gelombang (m/s)}$

$t = \text{waktu (s)}$

maka ;

$$E = 2 \pi^2 \rho S v t f^2 A^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dari persamaan 2.5 diperoleh hasil bahwa energi yang dibawa oleh gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat amplitudo. Besarnya daya yang dibawa gelombang ultrasonik (P) adalah :

$$P = \frac{E}{t} = 2 \pi^2 \rho S v f^2 A^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Intensitas gelombang ultrasonik adalah daya yang dibawa melalui luas permukaan yang tegak lurus terhadap aliran energi (Giancoli, 1998), maka :

$$I = \frac{P}{S} = 2 \pi^2 \rho v f^2 A^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan 2.7 menyatakan hubungan secara eksplisit bahwa intensitas gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat amplitudo (A) dan dengan kuadrat frekuensi (f).

2.1.5. Intensitas gelombang ultrasonik dihubungkan dengan jarak

Gelombang ultrasonik yang keluar dari sumber transduser mengalir keluar ke semua arah dalam arah tiga dimensi. Gelombang ultrasonik merambat keluar, energi yang di bawanya tersebar ke permukaan yang makin lama makin luas, karena merambat dalam arah tiga dimensi, maka luas permukaan merupakan luasan permukaan bola dengan radius r adalah $4\pi r^2$. Berarti intensitas gelombang ultrasonik adalah :

$$I = \frac{\text{Daya}}{\text{luas}} = \frac{P}{4\pi r^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Jika keluaran daya P dari sumber konstan, maka intensitas berkurang sebagai kebalikan dari kuadrat jarak dari sumber :

$$I = \frac{1}{r^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Jika kita ambil dua titik dengan jarak r_1 dan r_2 dari sumber, maka $I_1 = P/4\pi r_1^2$ dan $I_2 = P/4\pi r_2^2$, sehingga :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan demikian, jika jarak digandakan misalnya ($r_1/r_2 = 2$), maka intensitas menjadi $1/4$ dari nilai mula-mula ($I_2/I_1 = (1/2)^2 = 1/4$).

Jika amplitudo gelombang ultrasonik berkurang terhadap jarak, maka amplitudo gelombang ultrasonik menjadi mengecil sebesar $1/r$ (Giancoli,

1998) karena intensitas sebanding dengan amplitudo maka akan sebanding dengan kebalikan dari kuadrat jarak, sehingga :

$$A = \frac{1}{r} \dots\dots\dots(2.11)$$

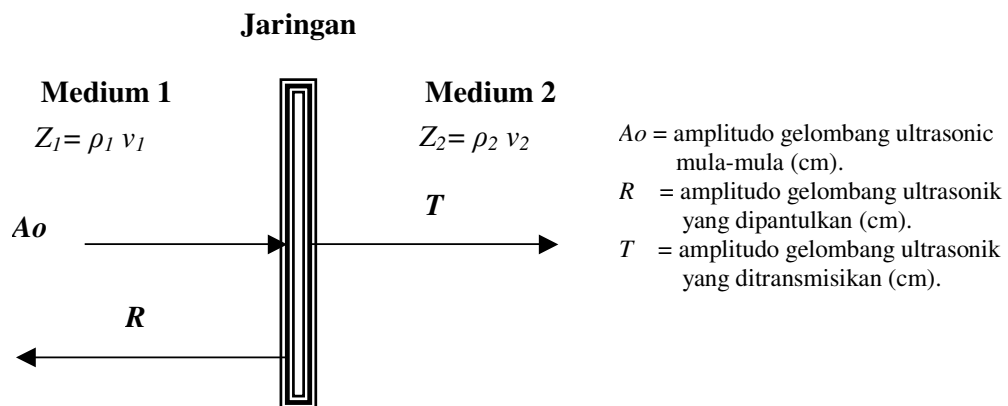
Jika kita ambil dua jarak yang berbeda dari sumber transduser, r_1 dan r_2 maka :

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{r_1}{r_2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Ketika gelombang ultrasonik dua kali lipat lebih jauh dari sumber transduser, maka amplitudo akan menjadi setengahnya (Giancoli, 1998).

2.1.6. Sifat gelombang ultrasonik

Gelombang ultrasonik mempunyai sifat memantul, diteruskan dan diserap oleh suatu medium/jaringan. Apabila gelombang ultrasonik ini mengenai permukaan jaringan, maka sebagian dari gelombang ultrasonik ini akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan/ditransmisikan seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Gelombang ultrasonik datang normal pada bidang batas medium 1 dan medium 2 (Cameron and Skofronick, 1978).

Mula-mula gelombang ultrasonik dengan amplitudo tertentu mengenai jaringan, kemudian gelombang ultrasonik tersebut akan dipantulkan permukaan jaringan.. Perbandingan amplitudo tekanan pantulan (R) terhadap amplitudo tekanan datang (A_o) bergantung pada impedansi akustik (Z) dari dua medium itu. Hubungan pernyataan itu adalah :

$$\frac{R}{A_o} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan : Z_1 dan Z_2 = impedansi akustik dari kedua medium ($\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$).

Telah dikemukakan bahwa gelombang ultrasonik sebagian akan diteruskan/ditransmisikan. Perbandingan antara amplitudo tekanan transmisi (T) dan amplitudo tekanan gelombang datang (A_o) adalah :

$$\frac{T}{A_o} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Pada hukum geometri diketahui bahwa cahaya bisa refleksi (pantul) dan refraksi (bias). Demikian pula pada gelombang ultrasonik dapat dipatahkan (didefraksi) dan gelombang ultrasonik yang masuk ke dalam jaringan akan menyebabkan efek friksi (*friction*). Penyerapan energi gelombang ultrasonik ini akan mengakibatkan berkurangnya amplitudo gelombang ultrasonik.

Nilai amplitudo gelombang ultrasonik pada jaringan dinyatakan dalam persamaan :

$$A = A_o^{-\alpha x} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan : A = amplitudo gelombang ultrasonik yang menetap pada jaringan dengan tebal x (m)

A_o = amplitudo gelombang ultrasonik mula-mula (m)

α = koefisien absorpsi jaringan (m^{-1})

x = tebal jaringan (m)

Nilai intensitas gelombang ultrasonik pada jaringan dinyatakan dalam persamaan :

$$I = I_0 e^{-2\alpha x} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan : I_0 = intensitas gelombang ultrasonik mula-mula (W/m^2)

I = intensitas gelombang ultrasonik (W/m^2)

α = koefisien absorpsi jaringan (m^{-1})

x = tebal jaringan (m)

2.1.7. Gelombang ultrasonik terhadap efek termal pada jaringan

Gelombang ultrasonik yang keluar dari sebuah sumber transduser akan memancarkan intensitas gelombang ultrasonik ke semua arah. Besarnya intensitas gelombang ultrasonik yang dipancar sumber transduser adalah :

$$I = \frac{\Delta E}{S\Delta t} = 1/2 \rho V A^2 (2\pi f)^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

Jika intensitas gelombang ultrasonik tersebut mengenai suatu permukaan jaringan akan terjadi perpindahan energi kalor yang menyebabkan pada jaringan timbul efek termal. Besarnya energi kalor yang diterima jaringan akibat intensitas gelombang ultrasonik adalah :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \kappa \cdot \frac{T_1 - T_2}{l} = \kappa \frac{\Delta T}{l} \dots\dots\dots (2.18)$$

Sehingga intensitas gelombang ultrasonik yang diterima jaringan akan sama dengan energi kalor yang diterima jaringan, yaitu :

$$\frac{\Delta E}{S\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$1/2 \rho V A^2 (2 \pi f)^2 = \kappa \frac{\Delta T}{l}$$

maka diperoleh besar ΔT adalah :

$$\Delta T = \frac{\rho v f^2 A^3 l}{\kappa} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan: ΔT = perubahan/kenaikan suhu ($^{\circ}$ C)

ρ = massa jenis medium/jaringan (kg/m^3)

f = frekuensi (Hz)

v = kecepatan gelombang ultrasonik di udara (m/s)

A = amplitudo maksimum (m)

V = volume (m^3)

$\omega = 2\pi f$ = frekuensi sudut (rad/s)

κ = konduktivitas termal jaringan ($\text{J/s.m.}^{\circ}\text{C}$)

$l = x$ = tebal jaringan (m)

Kenaikan suhu pada jaringan akibat energi kalor yang diterima jaringan juga dipengaruhi koefisien absorpsi yang dinyatakan dengan besarnya intensitas gelombang ultrasonik yang menetap pada jaringan yang dinyatakan pada persamaan 2.16.

Intensitas gelombang ultrasonik pada jaringan akan mengalami gesekan internal yang disebut dengan viskositas. Viskositas pada jaringan muncul karena ada tumbukan antara partikel di dalam jaringan. Besarnya viskositas pada suatu jaringan ditentukan oleh suatu konstanta pembanding yang didefinisikan sebagai koefisien viskositas (Giancoli, 1998) yang dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta = \frac{Fl}{vS} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan : F = gaya tumbukan antara molekul (N)

S = luas permukaan jaringan (m^2)

v = kecepatan partikel didalam jaringan (m/s)

l = jarak tumbukan antara molekul di dalam jaringan (m)

η = koefisien viskositas ($N.s/m^2$)

Dari persamaan 2.16, 2.19 dan 2.20 menyatakan bahwa efek termal terjadi karena adanya perubahan suhu yang dipengaruhi oleh massa jenis, impedansi jaringan, frekuensi gelombang ultrasonik dan tergantung kepada konduktivitas jaringan, koefisien absorpsi jaringan serta viskositas jaringan.

2.1.8. Gelombang ultrasonik terhadap efek kavitasi pada jaringan

Gelombang ultrasonik yang merambat ke dalam jaringan/zat cair akan mengalami efek kavitasi. Efek kavitasi terjadi karena tekanan lokal pada gelombang ultrasonik menurun sampai harga yang cukup rendah. Besar tekanan gelombang ultrasonik tersebut dinyatakan :

$$p = P - P_o \quad \dots\dots\dots (2. 21)$$

dengan : p = tekanan gelombang ultrasonik (N/m^2)

P = tekanan lokal/total sesaat (N/m^2)

P_o = tekanan lokal rata-rata/ keseimbangan (N/m^2)

Intensitas gelombang ultrasonik yang merambat akan membawa energi pada suatu luas permukaan per satuan waktu (Giangoli, 1998). Jika energi gelombang ultrasonik tersebut melalui jaringan akan melepaskan energi kalor sehingga terjadi pemanasan yang mengakibatkan suhu jaringan meningkat yang kemudian menimbulkan efek kavitasi. Besarnya pemanasan tergantung

pada variasi tekanan gelombang ultrasonik dan kecepatan partikel terhadap energi yang diberikan (Ackerman, *et al.*, 1988).

Hubungan perubahan antara intensitas dan tekanan gelombang ultrasonik yang mempengaruhi terjadinya efek kavitasi pada jaringan dinyatakan :

$$I = \frac{P^2}{2\rho v} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan : I = intensitas gelombang ultrasonik (W/m^2)

: ρ = tekanan gelombang ultrasonik (N/m^2)

P = tekanan lokal/total sesaat (N/m^2)

v = kecepatan gelombang ultrasonik (m/s)

Dan persamaan 2.22 menyatakan bahwa terjadinya pemanasan lokal akibat efek kavitasi pada jaringan tergantung pada intensitas gelombang ultrasonik dan adanya tekanan yang bervariasi.

2.1.9. Gelombang ultrasonik terhadap efek mekanik pada jaringan

Gelombang ultrasonik yang diterima jaringan akan mengalami gaya vibrasi internal antara molekul-molekul di dalam jaringan, sehingga pada jaringan akan timbul efek mekanik. Besarnya gaya vibrasi itu adalah :

$$\Sigma F = k \cdot x$$

$$F - f_k = k \cdot x$$

$$\rho V \cdot a - f_k = k \cdot x \dots\dots\dots(2.23)$$

Intensitas gelombang ultrasonik yang diterima jaringan adalah :

$$I = \frac{P}{S} = \frac{\Delta E}{S \Delta t} = 1/2 \rho V A^2 (2 \pi f)^2 = 1/2 Z (A \omega)^2$$

$$\text{Atau} \quad \rho v = \frac{2I}{(2\pi f A)^2} \dots\dots\dots(2.24)$$

Sehingga Intensitas gelombang ultrasonik yang diterima jaringan akan sama dengan gaya vibrasi yang diterima jaringan, maka di peroleh :

$$\frac{2I}{(2\pi f A)^2} \cdot a - f_k = k \cdot x$$

$$I = \frac{(k \cdot x + f_k)(2\pi f A)^2}{2a}$$

Jika $I = p/A$, maka :

$$p = \frac{(k \cdot x + f_k)(2\pi f A)^2}{2a} = \frac{(k \cdot x + f_k)(2\pi f A)^2}{2a}$$

$$\text{Atau} \quad \rho = \frac{k \cdot x 4\pi^2 f^2 A^2}{2a} + \frac{f_k 4\pi^2 f^2 A^2}{2a} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan : ρ = tekanan getaran vibrasi molekul dalam jaringan (N/m²)

k = konstanta getaran vibrasi (N/m)

f = frekuensi (Hz)

A = amplitudo maksimum (m)

$Z = \rho v$ = impedansi Akustik (kg/m².s)

$\omega = 2\pi f$ = frekuensi sudut (rad/s)

a = percepatan partikel/molekul dalam jaringan (m/s²)

f_k = gaya gesekan (N)

Dari persamaan 2.25 diperoleh bahwa efek mekanik akibat pemaparan gelombang ultrasonik tergantung pada percepatan partikel, getaran vibrasi tekanan dan gaya gesek serta tekanan pancaran.

2.2. Gelombang Bunyi Pada Insekta/Serangga

2.2.1. Sistem pendengaran

Pendengaran adalah tanggapan terhadap rangsangan vibrasi mekanik. Tidak semua rangsangan menghasilkan perasaan pendengaran. Agar dapat didengar, suatu bunyi harus cukup keras dan cukup tinggi intensitasnya sesuai daerah pendengaran (Ackerman *et al.*, 1988). Keadaan ini secara fisika dikatakan bahwa getaran bunyi itu harus berada di dalam daerah frekuensi yang dapat didengar.

Pada frekuensi yang terlalu rendah untuk didengar, getaran itu dapat dirasakan dengan alat peraba, diperlukan amplitudo yang jauh lebih besar agar dapat diraba daripada yang diperlukan untuk pendengaran. Getaran dengan frekuensi yang lebih tinggi dari daerah pendengaran tidak dapat dirasakan karena energinya sedemikian besar sehingga menyebabkan pemanasan lokal dan rasa sakit.

Hampir semua vertebrata mempunyai alat pendengaran yang mirip dengan telinga manusia. Sistem bunyi/akustik pada ikan dan amfibia tidak hanya dapat memberi tanggapan terhadap bunyi tetapi juga terhadap rangsangan kimia, gerak fluida, dan dalam beberapa hal terhadap rangsangan medan listrik. Sistem pendengaran pada reptilia dan keluarga burung lebih dekat pada telinga manusia. Secara rinci memang ada perbedaan, terutama tentang ukuran dan daerah frekuensinya (Ackerman *et al.*, 1988).

Banyak binatang lain, misalnya insekta, yang peka terhadap energi vibrasi yang berada di dalam daerah frekuensi yang cukup tinggi. Tetapi alat penerima dan mekanisme yang dapat menimbulkan tanggapannya berbeda.

Binatang bersel tunggal seperti paramesium dapat mengadakan tanggapan terhadap energi vibrasi. Jadi banyak macam sistem sensor yang peka terhadap energi vibrasi mekanik.

2.2.2. Komunikasi insekta/serangga

Komunikasi dapat didefinisikan sebagai perbuatan yang dilakukan untuk memberi informasi (Anonymous, 1989). Dengan demikian, semua metode komunikasi melibatkan pembuatan sinyal (informasi), transmisi, dan resepsi. Setiap kali terjadi pertukaran informasi, maka sukar secara langsung mengamati pembuatan dan transmisinya, tetapi yang utama adalah bahwa perpindahan informasi itu harus terjadi.

Biasanya, hal ini dapat dilakukan dengan mengamati perubahan perilaku atau perubahan faal penerima. Efek sinyal ini ada dua macam, yaitu langsung (segera setelah menerima sinyal) dan laten (memakan waktu cukup lama untuk mengamati tanggapannya, mungkin beberapa menit, jam, hari, bahkan dapat lebih lama lagi). Efek laten lebih sukar diamati daripada efek langsung.

2.2.3. Komunikasi insekta/serangga dengan gelombang bunyi

Setiap orang yang pernah mendengar bunyi jengkerik sadar bahwa insekta yang relatif begitu kecil dapat mengeluarkan bunyi yang cukup keras. Suatu sinyal bunyi adalah suatu gelombang tekanan yang digerakkan oleh adanya getaran (Cameron and Skofronick, 1978). Insekta mempunyai sinyal efektif dalam memancarkan bunyi dalam rentang frekuensi kHz, dan insekta kecil ada yang mampu memancarkan bunyi dengan frekuensi yang lebih tinggi lagi (Wilson, 1972). Akan tetapi otot-otot insekta tidak mampu bergeser

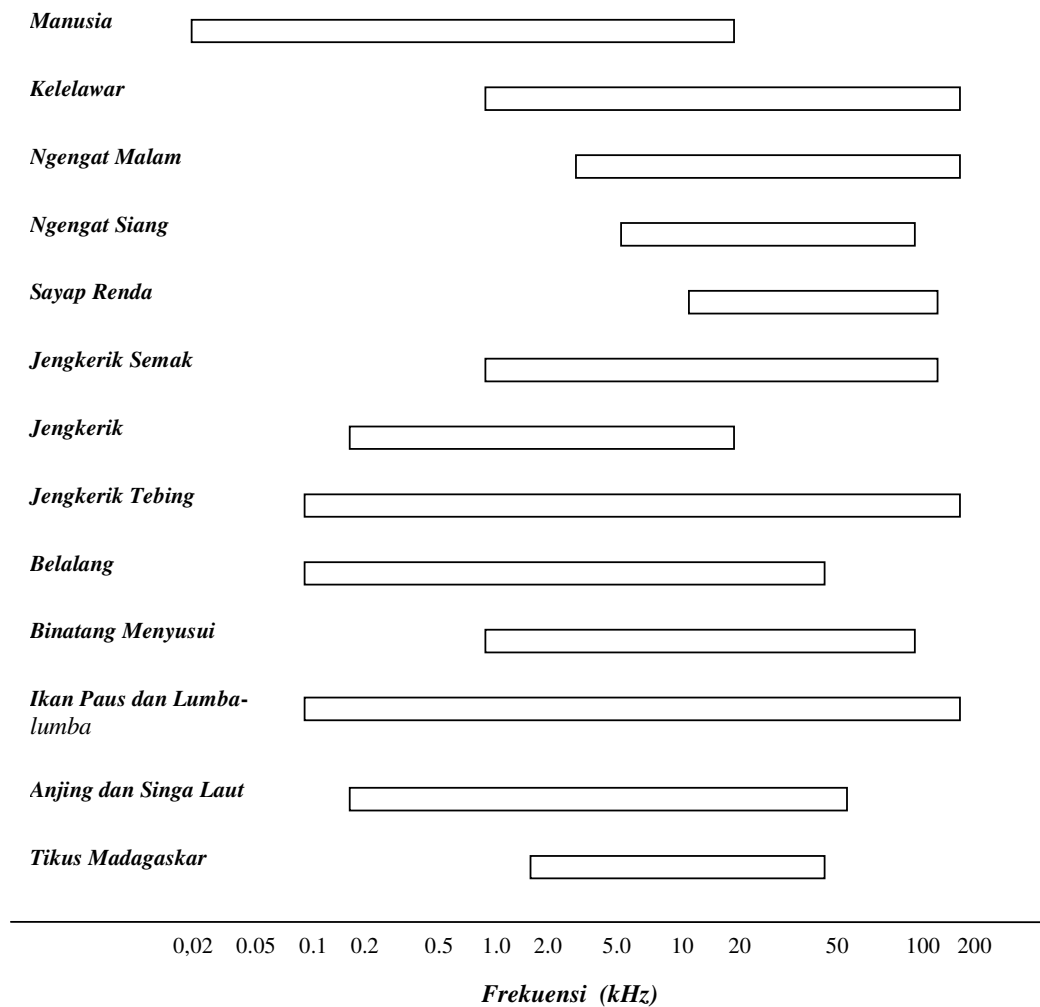
lebih cepat daripada 1 kHz, oleh sebab itu frekuensi pergeseran otot itu harus dilipatkan agar dapat menghasilkan sinyal. Misalnya, jengkerik memiliki selaput suara yang berbentuk keping lengkung yang bergetar setelah mengalami perubahan bentuk oleh otot-otot selaput, dan kembali ke bentuk asalnya. Jadi selaput suara melipatkan frekuensi pergeserannya dan memancarkan bunyi.

Unsur terakhir suatu generator bunyi kerap kali berupa sejenis pemandu bunyi, yaitu suatu struktur anatomi (atau lingkungan) untuk mengarahkan dan menguatkan bunyi. Pemandu bunyi semacam itu mirip dengan kotak tertutup (jengkerik), keping (belalang), atau terompet (gangsir). Rentang transmisi sinyal yang dapat didengar itu tergantung pada suhu, kelembaban udara, dan frekuensi sinyal. Jika suhu dan kelembaban udara dipertahankan konstan, maka makin tinggi frekuensi sinyal, makin besar penyerapannya di udara (Wilson, 1972).

Pada akhirnya, penerimaan sinyal bunyi sudah tentu membutuhkan telinga insekta. Hanya ada satu jenis mata insekta atau telinga mamalia, tetapi ada beberapa macam jenis telinga insekta. Ada dua bentuk telinga insekta yang paling lazim, yang keduanya dikaitkan dengan struktur telinga manusia yaitu reseptor rambut yang dilekatkan secara lentur dapat bergerak oleh pengaruh setiap getaran bunyi, terutama untuk mengukur gerakan dan organ timpani menggunakan selaput untuk mencatat tekanan dan gradien tekanan. Apabila bunyi diterima dan ditafsirkan, insekta dapat menghasilkan bermacam-macam tanggapan, yang meliputi; daya tarik seks, pertahanan wilayah, tanda bahaya, dan perubahan lintasan terbang untuk mempertahankan kelompoknya (Ackerman *et al.*, 1988).

2.2.4. Rentang frekuensi gelombang bunyi pada insekta/serangga

Dibandingkan perbedaan frekuensi yang dimiliki manusia dengan binatang, manusia memiliki rentang kepekaan akustik yang lebih pendek dan batas frekuensi atas yang relatif rendah yaitu sekitar 20 kHz. Dengan menggunakan skala logaritma, kita akan menggunakan istilah *ultrasonik* untuk menyatakan radiasi bunyi pada frekuensi di atas 20 kHz.



Gambar 2.2. Ketergantungan frekuensi pendengaran untuk bermacam-macam binatang (Sales and Pye,1974).

Keterangan : Pita gelap menunjukkan rentang kepekaan terbesar. Garis vertikal dekat 20 kHz menunjukkan batas frekuensi tinggi bagi manusia. Skala frekuensi adalah skala logaritma.

Skala Logaritma dari frekuensi itu ditunjukkan seperti pada Gambar 2.2 .

Dari gambar 2.2 tersebut menunjukkan bahwa insekta khususnya belalang mempunyai kepekaan di daerah rentang ultrasonik.

Penggunaan sinyal-sinyal oleh insekta ini sebenarnya hanya dapat direkam dengan menggunakan rangkaian listrik dengan memakai sistem piranti elektronik (Purwanto, 1986).

2.3. Morfologi Belalang Kembara

2.3.1. Struktur tubuh belalang kembara

Tubuh belalang kembara terbagi atas kepala, dada (toraks), dan perut (abdomen). Kepala belalang kembara memiliki sepasang sungut, mata tunggal dan majemuk, serta mulut yang terdiri dari bagian-bagian yang saling berhubungan.

Gambar 2.3. Bagian tubuh belalang kembara (Ikeda and Inaba, 1972).

Keterangan : 1: antene, 2: ocellus, 3: ocellus compositus (mata majemuk), 4 : Pronotun, 5: mesepisternum, 6: mesepimeron, 7: metepisternum, 8:metepimeron, pronotun, 9: sayap depan, 10: stigma (spiraculum), 11: arolium, 12: cakar, 13: tarsus, 14: tibia, 15: fenur, 16: trochanter, 17: coxa, 18: proepimeron, 19:

proepisternum, 20: mandibula, 21:labrum, 22: gena, 23: dahi. Angka romawi menunjukkan segmen abdomen.

Toraksnya memiliki tiga pasang kaki dan dua pasang sayap, Perutnya bersegmen dan memiliki lubang-lubang kecil, atau spirakel yang menyebabkan udara dapat masuk ke dalam tubuh. Bentuk struktur tubuh belalang kembara ini ditunjukkan seperti pada gambar 2.3.

2.3.2. Perilaku/*Etimologi* belalang kembara

Dalam kehidupan dan perkembangan koloni belalang kembara , dikenal ada tiga fase, yaitu ; *fase soliter*, *transien* dan *gregaria*. Perubahan fase tersebut dapat ditunjukkan seperti gambar 2.4 berikut ini :

Gambar 2.4. Fase perkembangan belalang kembara (Kalshoven, 1986).

Keterangan : a. fase gregaria, b. Fase Transien, c. fase soliter.

Fase soliter adalah suatu fase belalang kembara yang hidup secara individu dan tidak merugikan. Pada keadaan lingkungan menguntungkan bagi

kehidupan belalang kembara maka perkembangbiakannya menjadi pesat, kemudian individu-individu belalang kembara membentuk kelompok kecil. beberapa kelompok tersebut kemudian bergabung menjadi kelompok yang cukup besar dan disebut *fase transien*. Fase transien dapat berkembang menjadi kelompok belalang kembara dalam jumlah besar yang disebut *fase gregaria* atau *migratoria* dengan kemampuan merusak tanaman yang luar biasa. Kelompok yang besar tersebut tidak terjadi dalam waktu singkat, tetapi memerlukan waktu beberapa generasi; dan selama proses tersebut juga berlangsung proses perubahan fisiologi, bentuk, warna dan perilaku (Kalshoven, 1986).

Apabila kemudian keadaan lingkungan tidak menguntungkan bagi kehidupan belalang kembara terutama karena pengaruh curah hujan, tekanan musuh alami dan atau tindakan manusia melalui usaha pengendalian, maka kelompok yang besar menjadi kelompok kecil dan akhirnya kembali hidup terpisah secara individu sebagai *fase soliter*.

Beberapa perbedaan bentuk dan perilaku yang menonjol adalah : nimfa dan belalang kembara dewasa fase soliter berwarna agak hijau, tetapi fase gregaria berwarna jingga dengan bagian atas hitam. Pada fase soliter bentuk punggung di belakang kepala (*pronotum*) belalang kembara dewasa maupun nimfa lebih menonjol/menyembul, ukuran badannya lebih besar, nimfa dan imago tidak berkelompok dan tidak bermigrasi, stadium nimfa lebih lama, belalang dewasa hidup lebih lama, dan selang waktu bertelur lebih lama daripada fase gregaria.

Sebagai tanda bahwa belalang kembara jantan telah mencapai masak kelamin adalah sekali-sekali mengerik sambil mendekati ke arah betina.

Belalang kembara dapat kawin beberapa kali. Kawin pada umumnya terjadi pada malam hari yaitu mulai sore hingga pagi hari. Lamanya kawin rata-rata 11 jam yaitu berkisar antara 1 sampai 21 jam.

Belalang kembara dapat bertelur 5 sampai 9 kali. Telur diletakkan dalam bentuk paket telur di dalam tanah, rata-rata sedalam 62 mm dan permukaannya ditutup dengan tanah dengan menggunakan tungkai belakangnya.

Proses peletakan telur berlangsung selama satu jam. Dalam proses peneluran belalang kembara dapat memanjangkan abdomennya sampai dua kali. Tanah yang gembur dan lembab lebih disukai untuk bertelur. Gambar 2.5 adalah bentuk proses peletakan telur belalang kembara ke dalam tanah.

Gambar 2.5. Belalang kembara betina sedang meletakkan telur (Kashoven, 1986).

Proses peletakan telur berlangsung selama satu jam. Dalam proses peneluran belalang kembara dapat memanjangkan abdomennya sampai dua kali. Tanah yang gembur dan lembab lebih disukai untuk bertelur. Gambar 2.5 adalah bentuk proses peletakan telur belalang kembara ke dalam tanah.

Pada siang hari belalang kembara dewasa aktif terbang, namun kadang-kadang turun dan hinggap lalu makan tumbuhan yang dihinggapinya. Pada senja, malam hingga pagi belalang kembara dewasa tidak terbang (hinggap) dan makan tumbuhan yang dihinggapinya. Kelompok nimfa selalu berpindah dari satu tempat ke tempat lain sambil memakan tumbuhan yang dilewatinya. Selain itu nimfa memakan tumbuhan yang menjadi tempat bertengger pada waktu sore, malam dan pagi sebelum bermigrasi. Tanaman yang dihinggapi dan dimakan oleh belalang kembara dalam jumlah besar pada umumnya rusak atau habis dalam waktu yang sangat singkat. Tanaman padi habis seluruhnya, sedang tanaman jagung hanya tinggal batangnya.

Ada dua cara terbang yang dilakukan belalang kembara yaitu terbang lokal dan terbang berpindah tempat atau migrasi. Apabila kecepatan angin tinggi kelompok belalang terbang mengikuti arah angin. Dalam keadaan angin sepoi-sepoi arah terbang bisa berlawanan dengan arah angin dan berputar kembali. Jarak perpindahan yang dicapai dalam satu hari tidak terlampau jauh. Pada pagi hari kelompok belalang kembara mulai terbang setelah suhu udara meningkat mencapai 27°C. Waktu pagi dan sore hari pada umumnya cenderung terbang berputar secara lokal dan apabila terjadi hujan gerimis segera berhenti terbang dan malam hari belalang kembara berhenti terbang.

Kelompok nimfa bermigrasi dengan cara melompat dan berjalan. Pada malam hari nimfa istirahat bertengger pada tumbuhan rumput, semak, tanaman atau pada batu atau tanah yang menonjol (Sulthoni, 1993).

2.3.3. Siklus hidup dan perkembangbiakan belalang kembara

Siklus hidup belalang kembara rata-rata 76 hari. Stadia telur rata-rata 17 hari dan stadia nimfa 38 hari. Masa sebelum kawin yaitu sejak belalang menjadi dewasa (bersayap panjang dan bisa terbang) sampai dengan waktu kawin rata-rata selama 11 hari dan masa sejak kawin sampai bertelur yang pertama 10 hari atau masa pra bertelur 21 hari.

Masa aktif bertelur yaitu sejak betina meletakkan telur yang pertama sampai dengan mati rata-rata selama 63 hari. Umur belalang dewasa betina (sejak menjadi dewasa sampai mati) rata-rata 84 hari dan yang jantan 92 hari. Kemampuan hidup belalang kembara dewasa paling lama mencapai 140 hari. Dengan demikian dalam satu tahun terjadi beberapa generasi yang tumpang tindih.

Nisbah kelamin betina terhadap jantan adalah 1:1. Semakin tua umur belalang kembara, nisbah kelamin betina terhadap jantan semakin rendah. Hasil pemeliharaan belalang kembara pada tanaman makanan campuran jagung, padi dan rumput di Sumba Timur menunjukkan bahwa banyaknya paket telur yang diletakkan oleh setiap betina rata-rata 6 sampai 7 paket, dan tiap paket rata-rata berisi 40 butir. Sehingga tiap betina mampu meletakkan telur sebanyak 268 butir.

Hasil penelitian lain diketahui bahwa belalang kembara betina bertelur paling banyak 9 kali dengan interval bertelur antara 6 sampai 9 hari. Seekor

belalang kembara dapat bertelur sebanyak 200 sampai 270 butir, tetapi dapat pula mencapai 300 butir dan sebanyak-banyaknya 500 butir (Anonymous, 1999).

2.3.4. Ekologi belalang kembara

Belalang kembara hidup di daerah tertentu, pada vegetasi padang rumput dan keadaan iklim yang cukup kering. Di daerah Kotawaringin Barat dan Ketapang perkembangan populasi belalang kembara didukung oleh keadaan iklim dan cuaca yang cukup kering, juga karena tersedianya makanan yang berlimpah yaitu berupa alang-alang terutama daun-daun muda yang tumbuh dari rimpang merupakan makanan yang lebih baik bagi nimfa dan belalang kembara dewasa sehingga dapat mempertinggi daya bertahan hidupnya (Lorensius, 2001).

Belalang kembara yang hanya mendapatkan makanan tunggal berupa alang-alang akan menghasilkan populasi yang rendah, tetapi karena belalang kembara juga memakan tanaman budidaya (padi dan jagung) dan rerumputan lainnya maka populasinya menjadi tinggi dan berkembangbiak lebih cepat.

Belalang kembara cenderung memilih makanan yang lebih disukainya. Kebanyakan spesies tumbuhan dari famili Graminae lebih disukai terutama jagung, padi, sorgum, tebu, gelabah, alang-alang dan rerumputan lain. Selain itu belalang kembara dapat makan daun kelapa, bambu, kacang tanah, sawi, kubis daun. Sedangkan tanaman kacang hijau, kedelai, kacang panjang, ubi kayu, tomat, ubi jalar, dan kapas tidak disukai. Tanaman yang kurang disukai

seperti kacang tanah dapat dimakan sampai habis apabila dalam keadaan lapar (Anonymous, 1999).

2.4. Pengendalian Hama Belalang

Hama tanaman adalah semua organisme atau agensia biotik yang merusak tanaman atau hasil tanaman dengan cara-cara yang bertentangan dengan kepentingan manusia. Serangga, tungau, nematode, dan binatang lainnya yang merusak tanaman merupakan organisme pengganggu tanaman yang merugikan manusia (Adianto dan Soelaksono, 1987).

Pada dasarnya pengendalian hama adalah pengendalian populasi hama agar tetap di bawah satu tingkatan atau kerugian ekonomi (Wudianto, 2002). Strategi pengendalian hama bukanlah pemusnahan, pembasmian, atau pembrantasan, melainkan pembatasan aktivitas hama terhadap daya rusak tanaman. Hasil yang diharapkan dengan adanya pengendalian hama ini adalah memantapkan hasil yang telah dicapai oleh teknologi pertanian, mempertahankan kelestarian lingkungan, melindungi kesehatan produsen dan konsumen, menghemat biaya produksi, dan meningkatkan kesejahteraan petani (Anonymous, 1996).

Pada pelaksanaan pengendalian hama belalang dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu : teknik pengendalian secara biologis, teknik pengendalian secara mekanik/fisika, dan teknik pengendalian secara kimiawi. Teknik pengendalian secara biologis adalah pengendalian hama dengan menggunakan cara biologis, yaitu memanfaatkan musuh alami yang berupa parasitoid dan predator, pathogen : jamur, bakteri, virus dan nematode, serta hewan vertebrata. Teknik pengendalian secara mekanis/fisika adalah

pengendalian yang mengubah faktor lingkungan fisik menjadi di atas atau di bawah batas toleransi hama. Pada pengendalian ini hama diberantas atau dipindahkan secara langsung oleh manusia atau dengan bantuan alat. Di antara beberapa caranya adalah dengan memasang bunyi-bunyian, memasang perangkap, menangkap kemudian dibakar atau dengan membunuh langsung telur, larva, dan imago hama yang ditemui. Teknik pengendalian secara kimiawi adalah pengendalian yang menggunakan pestisida dan bahan-bahan kimia yang bisa digunakan untuk pengendalian hama. Misalnya penggunaan feromon yaitu senyawa kimia yang dikeluarkan oleh hewan yang menyebabkan rangsangan khas pada individu dari satu spesies yang menerimanya dan repellent (penolak serangga) yaitu senyawa yang menyebabkan serangga menjauh dengan cara membuat tanaman tidak menarik atau tidak enak (Wudianto, 2002). Bahan kimia lain yang biasa digunakan untuk membasmi hama belalang adalah Derris yang mengandung 2,2 % rotenon, dan obat-obat mutakhir seperti : BHC, HCH, Lindane, Aldrin dan biasanya penyemprotan hama belalang agar benar-benar efektif dilakukan dari udara dengan pesawat terbang (Soetedjo, 1989).

2.5. Rangkaian Listrik

2.5.1. Sumber tenaga (*Power supply*)

Pencatu daya atau sumber tenaga disebut juga *power supply*. *Power supply* merupakan sumber tenaga listrik penggerak untuk bekerjanya suatu alat/pesawat yang memakai tenaganya (Warsito, 1982). *Power supply* yang dibutuhkan pesawat radio, TV, amplifier dan kalkulator, dapat bersumber dari

batu baterai, akumulator mobil, atau tenaga listrik Ac volt yang bersumber dari listrik PLN.

Pesawat radio, televisi, tape, amplifier dan kalkulator memakai tegangan arus rata (DC volt amper) yang tegangannya rendah, sedang tegangan listrik PLN berarus kuat dan tinggi tegangannya serta tegangannya bukan tegangan arus rata., melainkan tegangan arus bolak-balik (AC volt). Oleh sebab itu jika pesawat tersebut harus memakai tegangan listrik PLN, terlebih dahulu tegangan listrik PLN diturunkan supaya sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh pesawat tersebut, kemudian diubah menjadi tegangan arus rata. Adapun cara menurunkan tegangan listrik PLN dan mengubahnya menjadi tegangan arus DC volt yaitu mempergunakan transformator tenaga dan silikon sebagai peratannya (*rectifying*).

Untuk pesawat yang belum mempunyai power supply yang bersumber dari tegangan listrik PLN, kita boleh memakai sumber tenaga DC volt yang dihasilkan oleh adaptor. Bentuk pencatu daya adaptor sederhana dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.6 berikut ini :

Gambar 2.6. Pencatu daya adaptor sederhana dan diagram (Warsito, 1982).

Adaptor merupakan sumber tenaga DC volt yang berasal dari proses kerja transformator tenaga dan dioda silikon. Transformator tenaga berguna untuk menurunkan tegangan bolak-balik dari PLN agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh alat/pesawat tersebut. Setelah tegangan bolak-balik itu diturunkan dengan transformator tenaga agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh suatu pesawat, lalu tegangan bolak balik yang rendah ini diratakan dengan dioda silikon sehingga menjadi tegangan rata (DC volt) (Purwanto, 1986).

2.5.2. Sistem adaptor memakai dioda lebih dari satu buah dengan transformator CT (*Center Tap*)

Sumber tenaga ini terbuat dari transformator dengan dua buah silikon. Rangkaian ini berguna untuk memperbesar arus yang dibutuhkan suatu pesawat/alat. Transformator yang digunakan pada rangkaian di bawah ini harus sebuah transformator tenaga yang gulungan sekundernya bercabang tengah. Transformator tenaga jenis ini dalam praktek dikenal dengan nama transformator CT (*Center Tap*). Untuk mengurangi suara dengung pada rangkaian power supply, maka kedua silikon diparalelkan dengan kondensator milar yang kapasitasnya 20.000 pf/50 volt.

Gambar 2.7. Pencatu daya yang memakai dua buah silikon (Warsito, 1982).

Sumber tenaga ini dipergunakan pada amplifier sistem OCL, yaitu amplifier yang pada penguat akhirnya tidak memakai output transformator dan kondensator elektrolit sebagai penyesuaian impedansi. Adapun gambar nyata dari diagram sirkuitnya ditunjukkan seperti pada gambar 2.8 berikut ini :

Gambar 2.8. Pencatu daya untuk amplifier OCL (Warsito, 1982)

Selanjutnya, jika dioda yang dipergunakan sebanyak 4 buah yaitu silikon 3A/100 V dan transformator yang dipergunakan CT 26V/3 A, maka gambar diagram sirkuitnya dapat ditunjukkan seperti gambar 2.9 berikut ini :

Gambar 2.9. Rangkaian pencatu daya untuk amplifier OCL (Warsito, 1982).

2.5.3. Pembangkit frekuensi memakai transistor dengan prinsip dasar flip-flop

Flip-flop (*multivibrator*) merupakan suatu rangkaian elektronika yang dapat membangkitkan arus bolak-balik yang dalam proses kerjanya terus-

menerus membangkitkan arus tukar sehingga arus yang dibangkitkan sebentar mengalir sebagai arus positif, kemudian mengalir sebagai arus negatif, dan seterusnya bertukar-tukar polaritas alirannya (Sumisjokartono, 1997). Tentu saja flip-flop harus diberi tegangan DC volt yang selanjutnya diubah menjadi AC volt (arus bolak-balik). Bentuk Rangkaian flip-flop dapat ditunjukkan seperti gambar 2.10 berikut :

Gambar 2.10. Proses kerja flip-flop (Sumisjokartono, 1997).

Proses kerja rangkaian flip-flop

Rangkaian Flip-flop seperti pada gambar 2.10 berfungsi sebagai pembangkit arus bolak-balik sehingga led 1 akan hidup padam dan seterusnya. Hendaknya diketahui bahwa led 1 yang dipasangkan pada rangkaian tersebut hidup padam karena flip-flop sebentar mengalirkan arus positif ke dioda (led), sebentar mengalirkan arus negatif dari arah yang berlawanan ke led, sehingga led yang hanya dapat hidup bila diberi arus searah (DC volt) dapat hidup karena mendapat tegangan arus yang polaritasnya bertukar-tukar arah kutubnya.

Transistor 1 (Tr_1) dan Transistor 2 (Tr_2) pada gambar 2.10 akan bekerja sebagai flip-flop jika tegangan basis emitor (BE) diberi tegangan muka maju kurang lebih 0,6 volt DC, di sini basis (B) diberi tegangan arus positif dan emitor (E) diberi tegangan arus negatif. Pada saat ini tegangan CE sekitar 0 volt hingga 2,4 volt DC. Apabila tegangan basis Tr_1 naik karena kondensator C_2 memberi tegangan positif, maka tegangan di kolektor (C) Tr_1 akan naik dan mengisi kondensator C_1 , akibatnya tegangan di kolektor Tr_2 naik karena basisnya mendapat tegangan positif yang berasal dari kondensator C_1 . Berhubung naiknya tegangan di kolektor Tr_2 , maka kondensator C_2 diisi dan seterusnya kondensator ini menambah tegangan basis Tr_1 sehingga tegangan di kolektor Tr_1 naik lagi. Proses kerja ini berjalan terus menerus seakan akan kedua transistor tersebut bertindak sebagai dua sakelar yang berfungsi menutup dan membuka bergantian dalam proses kerjanya.

Karena turun naiknya tegangan secara bergantian di kolektor-emitor Tr_1 dan Tr_2 maka membangkitkan tegangan arus bolak-balik, maka apabila kolektor kedua transistor tersebut dihubungkan dengan sebuah led maka led tersebut akan berkelip-kelip. Led sebenarnya hanya dapat hidup bila diberi arus searah, tetapi berhubung flip-flop membangkitkan tegangan arus bolak-balik yang polaritas tegangan arusnya saling bertukar-tukar, artinya kolektor kedua transistor tersebut mengalir tegangan arus positif dan arus negatif secara bergantian sehingga led 1 hidup padam.

Proses bekerjanya transistor 3 (Tr_3), yaitu sebelum sakelar ditekan tidak ada tegangan arus dari flip-flop yang mengalir ke basi Tr_3 . Pada saat ini kita atur potensiometer 50 k Ω samapi tegangan CE dan tegangan BE diatur

sesuai dengan permintaan tersebut. Jika kita tekan sakelarnya sehingga tegangan arus bolak balik dari flip-flop mengalir ke basis Tr_3 akibatnya basis Tr_3 sebentar mendapat tegangan positif dan sebentar mendapat tegangan negatif, sehingga tegangan kolektor emitor Tr_3 berubah-ubah polaritas kutub tegangannya dan berlaku bagaikan sakelar yang menutup serta membuka secara bergantian sehingga mempengaruhi kelap-kelip led 2. Pada saat mengukur CE dengan DC voltmeter sebelum basis Tr_3 mendapat tegangan arus dari flip-flop, tegangan CE pada Tr_3 sama dengan 0 volt, tetapi pada waktu sakelar itu ditekan, tegangan di CE turun-naik. Pada perumpamaan tersebut, yaitu bahwa sakelar membuka berarti mengalirnya tegangan arus dari kolektor Tr_3 ke led 2 sehingga led tersebut hidup, sebaliknya sakelar menutup berarti led 2 padam dan pada saat ini tegangan turun ke arah nol volt.

Prinsip kerja flip-flop ini banyak dipergunakan untuk membangkitkan frekuensi. Misalnya dipergunakan untuk membangkitkan bunyi, bel elektronik, *police alarm*, injektor sinyal, dan membangkitkan frekuensi inverter. Inverter merupakan suatu rangkaian elektronika yang dipergunakan untuk membangkitkan tegangan arus AC volt ampere dengan memakai sumber daya akumulator atau baterai, sehingga pesawat ini dapat digunakan untuk alat yang memakai sumber daya AC volt.

2.5.4. Model rangkaian listrik sebagai pembangkit frekuensi yang menggunakan rangkaian terpadu /IC (*Integrated Circuits*)

Integrated Circuit disingkat IC merupakan sebagian unit pesawat/alat yang berfungsi tertentu di dalam proses kerjanya (Anonymous, 1978). IC merupakan sebagian unit pesawat biasanya terbuat dari rangkaian

transistor, resistor, kondensator kecil dan dioda. Suatu rangkaian IC biasanya terdiri dari puluhan buah transistor dan resistor serta beberapa dioda dan kondensator kecil dirangkai menjadi suatu unit proses kerja dengan beberapa kaki terminal sampai puluhan kaki terminal.

Tujuan pembuatan IC oleh pabrik adalah untuk menyederhanakan suatu rangkaian alat/pesawat, untuk mengurangi efek sampingan seperti cacat bunyi karena distorsi, rumitnya suatu rangkaian pesawat, dan sebagainya.

Rangkaian pembangkit frekuensi gelombang ultrasonik terdiri 3 bagian utama, yaitu pembangkit gelombang persegi sederhana, sebuah penyangga (bufer) dan penguat pemancar pintu logika Nand. Rangkaian pembangkit gelombang sederhana terdiri dari 3 pintu logika Nand, sebuah resistor dan sebuah kapasitor seperti terlihat pada gambar 2.11.

Gambar 2.11. Rangkaian pembangkit gelombang persegi sederhana (RCA Power Devises, 1978).

Rangkaian ini menggunakan IC CMOS sebagai dasar rangkaian pembangkit gelombang persegi. Frekuensi-frekuensi digambarkan pada tegangan catu nominal 12 volt yang didasarkan pada resonansi rangkaian AC ; Osilator, dan besar tegangan yang melalui suatu rangkaian seri RLC dinyatakan dengan persamaan :

$$V_{rms} = I_{rms} Z$$

$$V_{rms} = I_{rms} (R^2 + (X_L - X_C)^2)^{1/2} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan : $Z = (R^2 + (X_L - X_C)^2)^{1/2} =$ impedansi rangkaian (Ω)

$X_L = 2 \pi f L =$ reaktansi induktif (Ω)

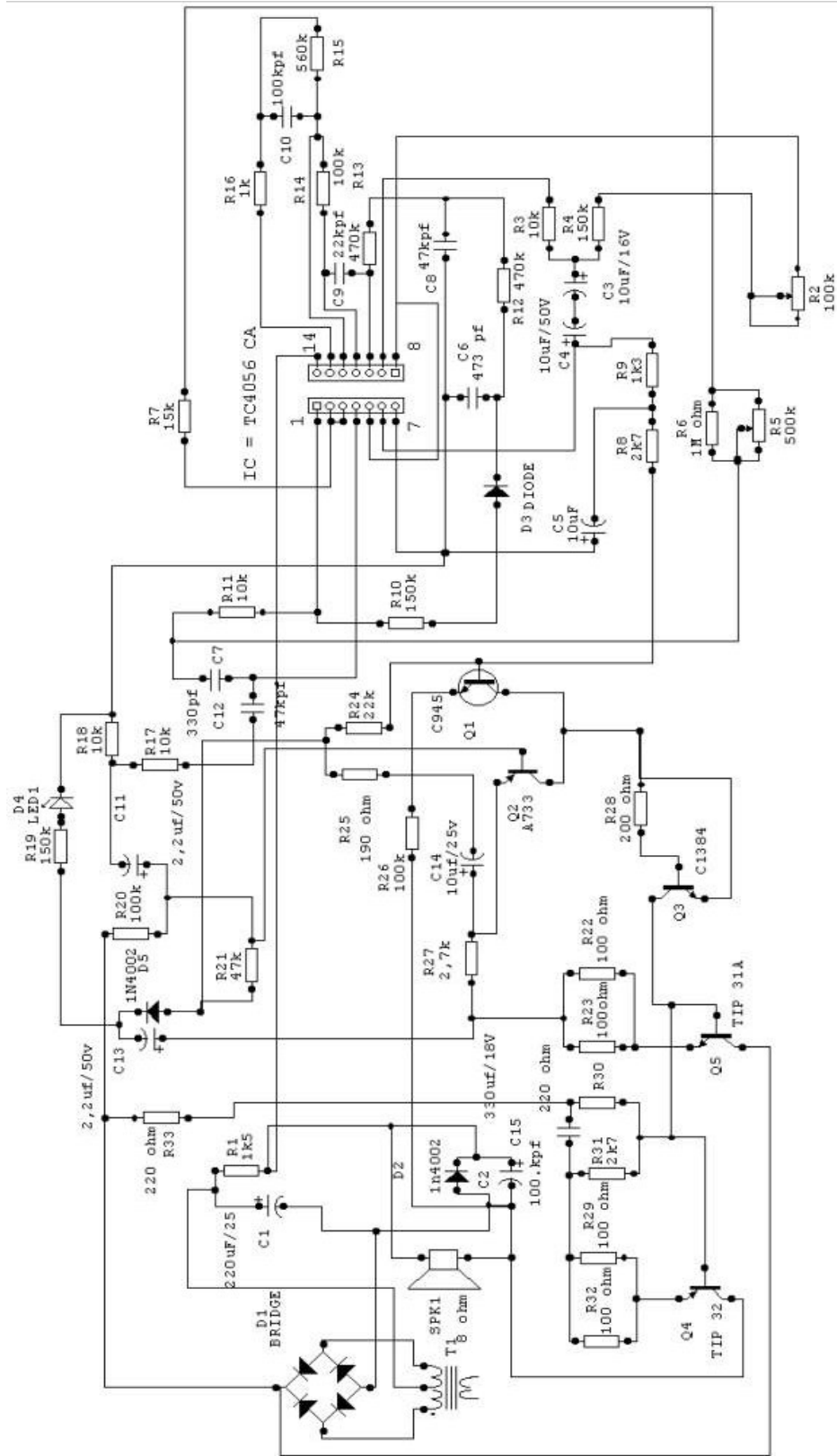
$X_C = \frac{1}{2\pi f C} =$ reaktansi kapasitif (Ω)

$I_{rms} =$ arus yang melalui rangkaian (A)

Pada frekuensi resonansi diperoleh bahwa $X_L=X_C$, sehingga impedansinya sama dengan resistif murni (R). Dengan adanya perubahan nilai resistor pada rangkaian akan mengalami perubahan tegangan sehingga akan mengalami perubahan frekuensi (Bueche, 1996).

Pada rangkaian pembangkit gelombang persegi sederhana, nilai R minimal yang diperbolehkan adalah 22 k Ω . Agar dapat berfungsi sebagai osilator gelombang persegi yang variabel atau berubah, maka R diganti dengan resistor tetap 22 k Ω yang dipasang berderet dengan potensiometer 1 M Ω serta diseri dengan sebuah switch untuk memperoleh satu frekuensi keluaran yang dibutuhkan. Rentangan keluaran frekuensi dari rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik ini, diatur dengan mengubah nilai R pada potensiometer . Hasil rentangan frekuensinya berada antara 20 kHz sampai 60 kHz,

Model rangkaian pembangkit frekuensi gelombang ultrasonik dari power supply, rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik dan pemancar/transmitter seperti disajikan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Model rangkaian pembangkit frekuensi gelombang ultrasonik dengan memakai IC (Sumisjokartono, 1997).

2.6. Landasan Empiris

2.6.1. Efek biologis gelombang ultrasonik

Salah satu usaha pengendalian hama belalang kembara dilakukan dengan metode mekanis/fisika disamping metode kimia dan metode biologi. Metode mekanis ini adalah pemanfaatan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ini dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas. Hal itu disebabkan karena gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik sehingga merambat sebagai interaksi dengan molekul dan sifat enersia medium yang dilaluinya (Bueche, 1986).

Karakteristik gelombang ultrasonik yang melalui medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*Strain*) dan regangan (*Stress*). Jarak antara rapatan dan regangan berikutnya atau regangan dan regangan berikutnya sama dengan panjang gelombang (λ). Proses kontinu yang menyebabkan terjadinya rapatan dan regangan di dalam medium disebabkan oleh perubahan partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya (Bueche, 1986, Resnick dan Halliday, 1992).

Kecepatan gelombang ultrasonik berbeda-beda untuk medium yang berlainan. Di dalam jaringan lunak, gelombang ultrasonik merambat secara longitudinal dengan kecepatan rata-rata 1.540 m/s (Cameron and Skofronick, 1978). Umumnya frekuensi yang digunakan untuk diagnostik berkisar antara

1 – 10 MHz, pada alat terapeutik berkisar antara 0,75 MHz – 3 MHz (Kurjak and Wisono, 1986).

Bahaya tidaknya pemaparan gelombang ultrasonik terhadap suatu medium tergantung pada intensitas, frekuensi dan total lama pemaparannya. Efek dari penggunaan gelombang ultrasonik terhadap kerusakan jaringan dapat disebabkan adanya efek termal, efek kavitasi dan efek mekanik

Efek termal merupakan absorpsi energi gelombang ultrasonik yang menyebabkan suhu jaringan meningkat. Besar absorpsi energi gelombang ultrasonik ini tergantung pada viskositas, massa jenis, dan impedansi jaringan, serta frekuensi gelombang yang diberikan. Gelombang ultrasonik yang melalui medium juga mengalami pengurangan energi, karena sebagian energinya diabsorpsi oleh medium akibatnya suhu medium meningkat. Kenaikan suhu medium tergantung pada besar koefisien absorpsinya dan intensitas gelombang yang melaluinya (Sabbagha, 1980).

Efek kavitasi yaitu terjadinya gelembung gas di dalam jaringan akibat penggunaan gelombang ultrasonik untuk pemanasan lokal dengan tekanan yang bervariasi, sehingga di dalam cairan tubuh terbentuk gelembung gas mikro. Gas di dalam gelembung mikro ini dapat memuai jika dilalui gelombang ultrasonik tinggi. sehingga mengakibatkan difusi gas yang tidak seimbang. Jaringan lunak mamalia adalah zat cair yang dapat menimbulkan kavitasi akibat pemaparan gelombang ultrasonik intensitas tinggi (Sabbagha, 1980). Ada dua macam kavitasi yang terjadi dari pemaparan gelombang ultrasonik ini, yaitu kavitasi stabil dan tidak stabil. Efek kavitasi stabil terjadi jika gelembung gas mikro tumbuh sampai ukuran tertentu lalu beresonansi pada frekuensi gelombang ultrasonik. Amplitudo osilasinya jauh lebih besar

daripada amplitudo getaran partikel di dalam zat cair sebelum ada gelembung gas mikro. Jaringan disekitar gelembung gas mikro ini mengalami tegangan yang sangat besar sehingga mengakibatkan kerusakan molekul dan membran sel. Efek kavitas yang tidak stabil lebih merusak jaringan sel. Pada tekanan rendah, gelombang ultrasonik dengan intensitas tinggi mengakibatkan timbulnya gelembung kavitas. Tekanan tinggi menyebabkan pecahnya gelembung, sehingga energi yang serupa dengan gelombang kejut mengakibatkan kerusakan jaringan sel (Sabbagha, 1980).

Efek mekanik merupakan gelombang ultrasonik yang merambat di dalam medium yang mengakibatkan adanya getaran partikel di dalam medium itu. Getaran ini terjadi pada semua intensitas, sehingga dapat menyebabkan efek mekanik terhadap partikel di dalam jaringan. Efek mekanik ini dapat menimbulkan percepatan partikel, getaran tekanan, tekanan pancaran dan gaya gesek (Sabbagha, 1980).

2.6.2. Mekanisme interaksi gelombang ultrasonik dalam medium

Interaksi gerak gelombang ultrasonik dalam suatu medium berhubungan dengan tingkat intensitas. Efek biologis gelombang ultrasonik disebabkan oleh salah satu atau kombinasi efek termal, efek kavitas dan efek mekanik. Kalor menimbulkan pelebaran pembuluh darah merangsang aktivitas sel, peningkatan permeabilitas membran sel dan kapiler. Umumnya kalor dan kavitas hanya berhubungan dengan intensitas tinggi.

Perusakan sel-sel biologis dalam suspensi terjadi apabila ada kavitas. Telah diduga bahwa apakah parameter medan akustik lain atau mungkin pemanasan yang berkaitan dengan kavitas dapat menyebabkan perusakan

sel. Misalnya diakui bahwa tekanan akustik yang dasar atau barangkali kecepatan dan percepatan partikel lokal dapat menyebabkan perubahan sel (Sutiono, 1982).

Jika intensitas berkas sonik ditingkatkan maka terjadi sejumlah efek yang berhubungan tidak linear atau tidak sederhana dengan tekanan akustiknya. Efek-efek ini antara lain penyearahan tekanan dan kecepatan bolak-balik yang mengakibatkan terjadinya arus aliran kontinu. Makin besar intensitas gelombang, tegangan longitudinal makin besar. Bila radiasi gelombang ultrasonik merambat melalui jaringan biologis, maka tegangan pada membran mikroorganisme pada medium tersebut makin besar sehingga probabilitas kematian/inaktivasi mikroorganisme menjadi besar. Untuk mematikan/inaktivasi mikroorganisme digunakan gelombang ultrasonik berfrekuensi tinggi. Makin tinggi frekuensi makin kecil panjang gelombangnya sehingga makin pendek jarak rapatan dan tegangan. Gelombang ultrasonik berinteraksi dengan jaringan terutama dengan getaran mikroskopik partikel jaringan (Cameron and Skofronick, 1978).

Jika radiasi gelombang ultrasonik merambat melalui membran mikroorganisme maka di sekitar membran timbul daerah rapatan dan tegangan yang menyebabkan beda tekanan pada bidang batas sehingga terjadi tegangan di bidang batas tersebut. Bila melampaui ambang tekanan pada mikroorganisme maka membran atau sitoplasma rusak sehingga mikroorganisme mengalami kematian atau inaktivasi.